TUGAS AKHIR - TF 141581

RANCANG BANGUN SISTEM SWITCHING OTOMATIS DAN AKUISISI DATA PADA MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM UNTUK STAND ALONE SMALL PV BEREFLEKTOR

MUHAMMAD ARDIANSYAH
NRP.02311440000030

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

FINAL PROJECT - **TF141581**

DESIGN OF AUTOMATIC SWITCHING SYSTEM AND DATA ACQUIZITION ON MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM FOR STAND ALONE SMALL PV WITH REFLECTOR

MUHAMMAD ARDIANSYAH
NRP.02311440000030

Supervisors
Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:
Nama : Muhammad Ardiansyah
NRP : 02311440000030
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "Rancang Bangun Sistem *Switching* Otomatis dan Akuisisi Data Pada *Mobile Hybrid Solar Tracking System* Untuk *Stand Alone Small* PV Bereflektor" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. 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, 27 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Ardiansyah

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM *SWITCHING* OTOMATIS DAN AKUISISI DATA PADA *MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM* UNTUK *STAND ALONE SMALL* PV BEREFLEKTOR

TUGAS AKHIR

Oleh:
Muhammad Ardiansyah
NRP : 02311440000030

Surabaya, 27 Juli 2018

Menyetujui,
Pembimbing

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

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Fisika

Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM *SWITCHING* OTOMATIS DAN AKUISISI DATA PADA *MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM* UNTUK *STAND ALONE SMALL* PV BEREFLEKTOR

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
Muhammad Ardiansyah
NRP. 02311440000030

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

SURABAYA
Juli, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM *SWITCHING* OTOMATIS DAN AKUISISI DATA PADA *MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM* UNTUK *STAND ALONE SMALL* PV BEREFLEKTOR

Nama Mahasiswa : Muhammad Ardiansyah
NRP : 02311440000030
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.

Abstrak

Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya mempunyai peran penting sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan sangat potensial di Indonesia. Untuk memaksimalkan efisiensi energi tenaga surya dibutuhkan *hybrid solar tracker*. Namun, dalam banyak kasus sistem ini tidak dipantau secara rinci dan dikelola secara *user-friendly* sehingga perlu dibangun sistem akuisisi data yang mudah dan murah. Sistem ini berhasil dirancang untuk akuisisi data dan *switching* otomatis pada *hybrid solar tracker* menggunakan mikrokontroler Arduino yang dilengkapi dengan perangkat sensor arus dan tegangan untuk keluaran PV, sensor LDR dan CMPS10 sebagai kontrol *hybrid solar tracker*. Dari penelitian ini diperoleh parameter *switching* pada *hybrid solar tracker* adalah intensitas cahaya matahari yang memengaruhi besar tegangan LDR, dengan tegangan *threshold* sebesar 3,5 volt. Untuk sistem transmisi data menggunakan modul 3DR telemetri dengan hasil jarak maksimal pengiriman data sejauh 120 meter apabila lokasi dengan penghalang dan 350 meter apabila lokasi tanpa penghalang. Dengan adanya *switching* otomatis pada *solar tracker* dapat meningkatkan efisiensi keluaran PV *tracker* dengan reflektor yang mampu mencapai 51,56% dibandingkan terhadap *PV fixed* dengan selisih energi sebesar 183,88 Wh. Energi yang dihasilkan oleh PV *tracker* dengan reflektor adalah 540,47 Wh, dan konsumsi energi komponen utama sebesar 71,68 Wh, sehingga energi yang dapat disimpan sebesar 468,79 Wh.

Kata kunci : *Hybrid Solar Tracker, Switching* Otomatis, Sistem Akuisisi Data, 3DR Telemetri

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF AUTOMATIC SWITCHING SYSTEM AND DATA ACQUIZITION ON MOBILE HYBRID SOLAR TRACKING SYSTEM FOR STAND ALONE SMALL PV WITH REFLECTOR

Name **: Muhammad Ardiansyah**
NRP **: 02311440000030**
Study Program **: S1 Teknik Fisika**
Supervisor **: Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.**

Abstract

The use of Solar Power Plants has an important role as a potential source of eco-friendly renewable energy in Indonesia. A hybrid solar tracker is required to maximize the energy efficiency of solar power. However, in many cases, this system is undetailed monitored and is not user-friendly managed. Therefore, a simple and low-cost data acquisition system is needed. This system is successfully designed for data acquisition and automatic switching on the hybrid solar tracker using Arduino equipped with voltage and current sensor devices for PV output, LDR sensor and CMPS10 as the hybrid solar tracker control. The result reveals that the sunlight intensity with 3.5 volts threshold voltage becomes the switching parameter on hybrid solar tracker which affects the LDR voltage. The maximum distance of data transmission systems using telemetry 3DR module for blocked location is 120 meters, while for the unblocked location is 350 meters. The existence of the automatic switching on the solar tracker may increase the output efficiency of the hybrid solar tracker PV with reflector can reach 51,56% compared to the fixed PV, with an energy deviation of 183,88 Wh. The energy generated by the tracker PV is 540,47 Wh, while the energy consumption of the main component is 71,68 Wh. Therefore, the energy that can be stored is 468,79 Wh.

Keyword : Hybrid Solar Tracker, Automatic Switching, Data Acquisition, 3DR Telemetry

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

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

1. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes**.** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T. selaku dosen penguji rasa pembimbing yang selalu memberikan motivasi dan membimbing penulis agar dapat menyelsaikan tugas akhir.
5. Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
6. Rekan-rekan TAwan Bu Ronny dan Pak Imam, dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis “Fisis Ceria” 2014, dan 2015 yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
8. Teman-teman seperjuangan TA yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

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

Surabaya, 27 Juli 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME ..... **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 Permasalahan 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Tugas Akhir 4
1.5 Sistematika Laporan 4
BAB II DASAR TEORI **7**
2.1 Solar Tracker 7
2.2 Panel Surya 8
2.3 Posisi Matahari 9
2.4 Sistem Akuisisi Data 13
2.5 Sensor LDR 14
2.6 Sensor Suhu DS18B20 15
2.7 CMPS 10 16
2.8 Sensor ACS712 16
2.9 Sensor Tegangan 17
2.10 *Realtime* DS3231 17
2.11 Modul *Micro* SD 18
2.12 Arduino Mega 2650 19
2.13 Dasar Radio Frekuensi 20
2.14 3DR Radio Telemetry 21
2.15 Visual Basic 22
BAB III METODE PENELITIAN **25**
3.1 Diagram Alir 25
3.2 Studi Literatur 26

3.3 Pengumpulan Data Spesifikasi 26
3.4 Perancangan *Hybrid Solar Tracker* 29
3.5 Perancangan dan Pengujian Sensor 30
3.6 Perancangan Sistem *Switching* Otomatis *Hybrid Solar Tracker* 32
3.7 Pengujian Sistem *Switching* Otomatis 33
3.8 Perancangan Sistem Akuisisi Data 34
3.9 Pengujian Sistem Akuisisi Data 36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Hasil Perancangan Alat Ukur Radiasi Matahari Dengan Menggunakan Sensor LDR 39
4.2 Hasil Uji Sensor 41
4.3 Hasil Uji Sistem *Switching* Otomatis 54
4.4 Hasil Uji Penyimpanan Micro SD 55
4.5 Uji Radio Telemetri 56
4.6 Hasil Uji Sistem Akuisisi Data 59
4.7 Hasil Uji Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker* 63
4.8 Analisa Konsumsi Energi dan Peningkatan Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker* 72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 77
5.1 Kesimpulan 77
5.2 Saran 77
DAFTAR PUSTAKA 79
LAMPIRAN **83**
Lampiran A. **83**
Lampiran B. **89**
Lampiran C. **92**
Lampiran D. **93**
Lampiran E. **94**
Lampiran F. **98**
Lampiran G. **106**
Lampiran H. **108**
Lampiran I.. ..... **112**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Solar Tracker dua sumbu [9] 7
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Sel Surya [11] 8
Gambar 2.3 Posisi Matahari Pada Koordinat Horizontal 11
Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Akuisisi Data [14] 14
Gambar 2.5 *Voltage Devider* Pada LDR [15] 15
Gambar 2.6 Modul Sensor DS18B20 15
Gambar 2.7 Modul CMPS10 [15] 16
Gambar 2.8 Modul Sensor ACS712 16
Gambar 2.9 Modul Sensor Tegangan 17
Gambar 2.10 RTC (*Real Time Clock*) 18
Gambar 2.11 Modul Micro SD 18
Gambar 2.12 *Board Arduino Mega* [19] 19
Gambar 2.13 3DR *Radio Telemetry* 915 MHz 22
Gambar 2.14 Halaman Awal *software* Visual Basic 2015 22
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian 25
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Pengendalian Hybrid (Active-Passive) Solar Tracker 29
Gambar 3.3 Desain Perancangan *Solar Tracker* 29
Gambar 3.4 *Hardware Solar Tracker* 30
Gambar 3.5 Pengambilan Data Perancangan Alat Ukur Intensitas Radiasi Matahari Berbasis Sensor LDR 31
Gambar 3.6 Pengujian Sensor *Voltage* 32
Gambar 3.7 Diagram alir sistem *switching* otomatis 33
Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem Akuisisi Data *Hybrid Solar Tracker* 34
Gambar 3.9 Rangkaian Radio Telemetry 35
Gambar 3.10 Jendela Program *interface Visual Basic* yang Dirancang 36
Gambar 4.1 Grafik Hasil Perancangan Alat Ukur Intensitas Radiasi Matahari 40
Gambar 4.2 Hasil Uji Sensor Tegangan PV *Tracker* 42
Gambar 4.3 Hasil Uji Sensor Tegangan Motor 1 (*azimuth*) 43
Gambar 4.4 Hasil Uji Sensor Tegangan Motor 2 (Elevasi) 44
Gambar 4.5 Hasil Uji Sensor Tegangan Kontroller 45
Gambar 4.6 Hasil Uji Sensor Tegangan Baterai 46

Gambar 4.7 Hasil Uji Sensor Tegangan PV *Fix*.....47
Gambar 4.8 Hasil Uji Sensor Arus PV *Tracker* 48
Gambar 4.9 Hasil Uji Sensor Arus Motor 1 (*azimuth*).....48
Gambar 4.10 Hasil Uji Sensor Arus Motor 2 (elevasi) 49
Gambar 4.11 Hasil Uji Sensor Arus Kontroller 49
Gambar 4.12 Hasil Uji Sensor Arus Baterai 50
Gambar 4.13 Hasil Uji Sensor Arus PV *Fix*.....50
Gambar 4.14 Hasil Uji *Tracking* Tegangan 4 LDR.....54
Gambar 4.15 Hasil Uji Penyimpanan Data Pada *Serial Monitor* Arduino 55
Gambar 4.16 Hasil Uji Penyimpanan Data Pada MicroSD.....56
Gambar 4.17 Lokasi Uji Telemetri Tanpa Halangan 57
Gambar 4.18 Lokasi Uji Telemetri dengan Halangan.....58
Gambar 4.19 Setup Eksperimen dan Sistem Akuisisi Data *Hybrid Solar Tracker*.....60
Gambar 4.20 Tampilan *Interface* Sistem Akuisisi Data menggunakan *Visual Basic* 2015 61
Gambar 4.21 Tampilan *Data Logger* Pada *Microsoft Excel* 62
Gambar 4.22 Respon *Output* tegangan LDR.....64
Gambar 4.23 Grafik Hasil Respon Arus *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed* 65
Gambar 4.24 Grafik Hasil Respon Tegangan *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed*.....66
Gambar 4.25 Grafik Hasil Respon Daya *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed* 67
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Output Arus *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Solar Tracker* 69
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Output Tegangan *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Solar Tracker*.....70
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Daya yang Dihasilkan *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Tracker* 71

Gambar 4.29 Grafik Besar Daya yang Dibutuhkan Komponen Utama pada *Hybrid Solar Tracker* Dengan Reflektor.....72
Gambar 4.30 Grafik Besar Daya yang Dibutuhkan Komponen Utama pada *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor 73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai n penentuan sudut deklinasi.....11
Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi Gelombang Elektromagnetik.....21
Tabel 3.1 Spesifikasi Panel PV 26
Tabel 3.2 Spesifikasi sensor CMPS10.....27
Tabel 3.3 Spesifikasi sensor LDR 27
Tabel 3.4 Spesifikasi sensor ACS712.....27
Tabel 3.5 Spesifikasi sensor tegangan.....28
Tabel 3.6 Spesifikasi sensor DS18B20.....28
Tabel 3.7 Spesifikasi Arduino Mega 2560 28
Tabel 4.1 Hasil Data Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari ...40
Tabel 4.2 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut elevasi.....51
Tabel 4.3 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut *Azimuth*.....53
Tabel 4.4 Hasil Uji Telemetri Tanpa Penghalang 57
Tabel 4.5 Hasil Uji Telemetri Dengan Penghalang.....59
Tabel 4.6 Besar Konsumsi Energi pada Komponen Utama a. PV Panel Dengan Reflektor dan b. PV Panel Tanpa Reflektor 73
Tabel 4.7 Besar Energi yang Dihasilkan Oleh Masing-masing PV Panel Dengan Reflektor dan Tanpa Reflektor 74

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

n	: Hari dalam setahun (1 tahun = 365 hari)
φ	: Letak lintang suatu lokasi di bumi
α	: Sudut elevasi matahari
γ	: Sudut *azimuth* matahari
θ	: Sudut *zenith* matahari
δ	: Sudut *deklinasi* matahari
EoT	: *Equation of Time*
HRA	: Sudut jam
LST	: *Local Solar Time*
LSTM	: *Local Standard Time Meridian*
LT	: *Local Time*
noon	*:* Waktu tengah hari
TC	: *Time Correction*
P_{max}	: Daya maksimum photovoltaik
PV	: *Photovoltaic*
PV *tracker*	: Panel *photovoltaic* yang diletakkan pada *solar tracker*
PV *fixed*	: Panel *photovoltaic* yang diletakkan diam tidak mengikuti posisi matahari
V_{mp}	: *Maksimum power voltage*
I_{mp}	: *Amperage*
V_{oc}	: Tegangan *open circuit*
I_{sc}	: Arus *short circuit*
AM	: *Air Mass*
η_{PV}	: Efisiensi energi yang dihasilkan PV
$W_{pv\ tracker}$	: Energi listrik yang dihasilkan PV *tracker*
$W_{pv\ fixed}$	: Energi listrik yang dihasilkan PV *fixed*
$W_{net\ pv\ tracker}$	: Energi listrik yang dihasilkan PV *tracker* dikurangi dengan energi listrik yang dibutuhkan komponen utama

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi, telah banyak sumber energi terbarukan yang dikembangkan, diantaranya yaitu pemanfaatan energi matahari yang dikonversi menggunakan sel surya (*photovoltaic*). Tenaga surya sebagai sumber *clean energy* menjadi banyak diminati untuk dilakukan penelitian lebih lanjut [1]. Energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan ke banyak aplikasi, sebagai contoh pemanfaatan dalam kehidupan sehari-hari diantaranya sebagai pengisi baterai lampu jalan, pemanas air, dan juga sebagai pembangkit tenaga listrik yang akan dihubungkan langsung ke jala-jala PLN.

Sel Surya adalah perangkat yang dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Namun, dalam proses konversi energi pada sel surya ini dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi kerja maksimal pengkonversian energi. Faktor tersebut diantaranya adalah faktor orientasi terhadap posisi matahari yang selalu berubah-ubah yang dapat mengurangi kerja maksimal panel surya dalam pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi panel surya yaitu dengan menambahkan *solar tracking system* [2].

Solar tracking system merupakan sistem penjejakan posisi matahari yang memungkinkan panel surya mengikuti posisi matahari tiap waktu agar posisi panel surya tegak lurus terhadap posisi matahari. Berdasarkan sumbu putarnya, *solar tracking system* diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *single-axis* dan *dual-axis*. Dalam sistem *dual-axis*, sudut yang dikendalikan yaitu sudut elevasi dan sudut *azimuth*, sedangkan pada sistem *single-axis* yang dikendalikan adalah salah satu dari kedua sudut tersebut [3]. Selain itu, berdasarkan metode penjejakannya, *solar tracking system* terdiri dari dua jenis yaitu metode aktif atau berbasis *photoresistive* dengan melakukan sensing intensitas cahaya matahari secara langsung, dan metode pasif atau berdasarkan dari perhitungan posisi matahari dengan model matematika. Dibandingkan dengan

metode pasif, metode aktif memiliki tingkat efisien yang lebih tinggi. Terdapat pula metode *hybrid solar tracking system* yaitu menggabungkan kedua metode aktif dan pasif, dimana metode aktif digunakan pada hari yang cerah dan metode pasif digunakan pada hari yang mendung [3].

Penelitian tentang *solar tracking system* telah banyak dilakukan, salah satunya oleh Ferdaus, R. A dkk pada tahun 2014 di Bangladesh, dengan judul "*Energy Efficient Hybrid Dual Axis Solar Tracking System*" dengan menerapkan metode *hybrid dual axis* dengan tujuan membandingkan energi yang dihasilkan *hybrid tracking* vs *continuous (active) tracking*. Dengan hasil pada *hybrid tracking* mampu menghasilkan daya output lebih besar 25,62% dari *static panel*, namun *continous tracking* menghasilkan peningkatan 28,1% dari *static panel*. Sedangkan konsumsi daya pada motor pada *hybrid tracking* lebih hemat sebesar 44,44% dari *continuous tracking* [3]. Pada tahun 2017, penelitian berikutnya dilakukan oleh Tharamuttam, J.K. dkk di Singapura. Dengan judul penelitian "*Design and Development of an Automatic Solar Tracker*" yang juga menerapkan metode *hybrid dual axis* dengan menggunakan sistem *switching* otomatis apabila cuaca mendung dengan apabila nilai output tegangan dibawah 11 volt akan otomatis menggunakan metode *chronological* (pasif). Pada penelitian tersebut, mendapatkan nilai daya output tegangan sistem *hybrid tracking* lebih baik dari *active tracking* yakni sebesar 14 % dari *fixed* PV [4]. Kelemahan pada penelitian ini, pada sistem monitoring (akuisisi data) yang sederhana yakni hanya nilai tegangan dan arus, tidak terdapat monitoring nilai konsumsi daya, suhu, radiasi, dan sudut. Hendro dkk melakukan studi mengenai panel photovoltaic bereflektor. Dalam studi tersebut diperoleh hasil bahwa menambahkan reflektor pada panel *photovoltaic* yang dipasang pada kemiringan 70° akan meningkatkan efisiensi sebesar 17,02% [5].

Sistem akuisisi data menggunakan frekuensi radio dapat membantu perolehan data secara akurat langsung ke pengguna sesuai kebutuhan yang ingin didapatkan tanpa menggunakan perantara kabel. Seiring berkembangnya teknologi sistem akuisisi

data energi terbarukan menggunakan teknologi sejenis bermunculan khususnya sistem monitoring kondisi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), mulai dari purwarupa data logger yang dikembangkan berdasarkan mikrokontroler yang dikembangkan untuk monitoring PLTS LED Penerangan Jalan [6], Sistem monitoring PLTS yang terdiri dari modul *Power Line Carrier* (PLC) dan data logger [7], dan sampai sistem monitoring PLTS dengan penambahan jaringan GSM sebagai penerimaan data *real time* pada telepon pengguna [8], oleh karena itu sistem komunikasi radio telemetri radio pun perlu ditambahkan. Sehingga mendorong penulis untuk melakukan penelitian dengan membuat suatu sistem *switching* dan *real time* akuisisi data pada *mobile hybrid solar tracker dual axis* dengan reflektor, diharapkan dapat menghasilkan sistem panel surya yang bisa dimonitoring dengan baik serta mampu meningkatkan efisiensi energi lebih maksimal.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah:

a. Bagaimana menentukan parameter-parameter *switching* pada *hybrid solar tracking system* dua sumbu?
b. Bagaimana merancang sistem akuisisi data berbasis *wireless* pada *hybrid solar tracking system*?
c. Bagaimana menentukan karakteristik konsumsi energi pada komponen utama *hybrid solar tracking*?
d. Berapa peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV dengan *hybrid solar tracking system*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

a. Photovoltaic yang digunakan adalah jenis polikristakin dengan daya 250 Wp.
b. *Main solar tracker* adalah *active solar tracker*, sedangkan *passive solar tracker* adalah *backup*.
c. Parameter *switching* yang dipertimbangkan adalah intensitas cahaya.

d. Variabel yang dikur adalah suhu, radiasi, tegangan, arus, sudut elevasi dan sudut *azimuth* serta konsumsi energi masing-masing komponen.
e. Media wireless menggunakan gelombang radio.
f. Tidak membahas rekonstruksi maupun *filtering* sinyal.
g. Aktuator yang digunakan yaitu motor DC.
h. Lokasi uji di Surabaya.
i. Tidak membahas proses *charging system*.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

a. Menentukan parameter *switching* pada *hybrid solar tracking system* dua sumbu.
b. Mengembangkan sistem akuisisi data pada *hybrid solar tracking system* berbasis *wireless*.
c. Mengetahui karakteristik konsumsi energi pada komponen utama *hybrid solar tracking system.*
d. Mengetahui peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan PV pada dengan *hybrid solar tracking system.*

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, yaitu dengan perincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalahan, batasan masalah, tujuan, dan sistematika laporan.

BAB II Dasar Teori

Pada bab ini berisi tentang teori-teori penunjang tugas akhir, antara lain teori tentang panel surya, *solar tracker*, posisi matahari, sistem akuisisi data, dan komponen elektronik sistem akuisi data.

BAB III Metode Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus dilalui

untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah perancangan yang siap untuk dibuat, diuji dan dianalisa.

BAB IV **Analisa Data dan Pembahasan**

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan dan akan didapatkan data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian akan dilakukan analisa dan pembahasan.

BAB V **Kesimpulan dan Saran**

Dalam bab ini adalah berisi mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Solar Tracker

Solar tracker atau penjejak matahari merupakan suatu piranti elektromekanik yang bekerja untuk mengendalikan orientasi bidang photovoltaik (PV) terhadap perubahan arah gerak matahari sehingga menjaga PV tersebut agar selalu tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Kondisi tersebut bertujuan untuk menjaga perolehan radiasi matahari yang maksimum bagi photovoltaik. Dalam aplikasinya cara kerja *solar tracker* dibagi menjadi tiga yaitu berdasarkan sumbu penjejakan, mekanisme penjejakan, dan metode kendali penjejakan [9].

Sistem pelacakan sumbu tunggal (satu sumbu) yang ditunjukkan pada pergerakan sudut elevasi atau azimut, dimana salah satu gerakan yang diinginkan tergantung pada teknologi yang digunakan pada sistem *solar tracker*. Pelacak sumbu ganda (dua sumbu) yang ditunjukkan pada Gambar 2 memiliki dua derajat kebebasan yang bertindak sebagai sumbu rotasi. Pelacak sinar matahari sumbu ganda dapat diputar secara bersamaan pada arah horisontal dan vertikal.

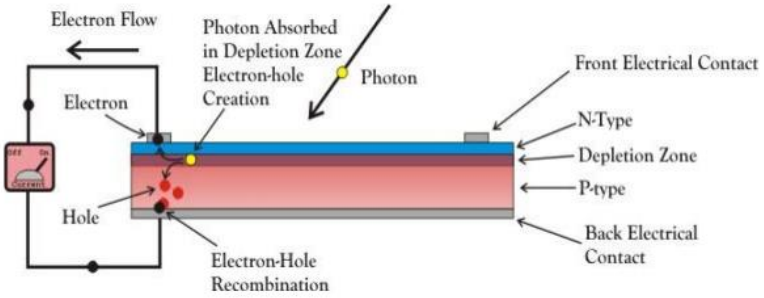
Gambar 2.1 Solar Tracker dua sumbu [9]

Berdasarkan metode penjejakan, sistem *solar tracker* dibagi menjadi dua macam, yaitu metode pasif dan aktif. Metode penjejak pasif adalah metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik

penjejakan didasarkan atas perhitungan astronomi, sedangkan metode penjejak aktif adalah metode yang proses penjejakannya melakukan pengukuran langsung terhadap objek [10]

2.2 Panel Surya

Panel surya adalah suatu divais yang berfungsi untuk mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya panel surya terdiri atas sejumlah sel surya yang disusun secara seri ataupun paralel. Pada setiap sel surya yang menyusun panel surya akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar 0.5 hingga 0.6 Volt [11]



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Sel Surya [11]

PV tersusun atas beberapa sel listrik (*solar cell*) yang terbuat dari material semikonduktor. Terdapat dua tipe semikonduktor dalam *solar cell*, yaitu tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor type-p mempunyai kekurangan ion negatif (*negative acceptor ions)* dan *hole,* sedangkan semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan ion negatif *(positive donor ions)* dan elektron bebas. Gabungan kedua tipe semikonduktor ini akan menimbulkan kontak permukaan yang disebut dengan *p-n junction*, yang membuat susunan elektron keduanya menjadi teratur. Elektron-elektron berlebih yang terdapat pada pita-n akan segera mengisi lubang-lubang elektron yang ada pada pita-p. Kondisi ketika cahaya matahari mengenai permukaan semikonduktor akan membuat elektron-elektron yang terdapat dalam pita energi mempunyai energi yang cukup untuk lepas dari ikatan, sehingga elektron akan mengalir kedalam *circuit* untuk

menuju beban (tereksitasi). Elektron yang tereksitasi tersebut akan meninggalkan lubang yang nantinya akan diisi oleh elektron yang lainnya. Efek tersebut berlangsung secara terus menerus yang selanjutnya disebut arus listrik [12].

2.3 Posisi Matahari

Posisi matahari ditentukan berdasarkan sudut elevasi (α) dan sudut azimuth (γ) . 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.

Untuk menentukan posisi matahari (sudut elevasi dan sudut azimuth) sepanjang waktu, diperlukan pengetahuan terkait waktu matahari. Berikut adalah beberapa istilah dan perhitungan terkait waktu matahari. [13]

- Waktu lokal LT (*Local Time*)

  Waktu lokal atau waktu setempat suatu lokasi di permukaan bumi akibat penyesuaian zona waktu suatu wilayah.

- Waktu standar bujur setempat LSTM (*Local Standard Time Meridian*)

  Waktu standar bujur setempat adalah waktu suatu lokasi berdasarkan posisi bujur terhadap standar waktu Greenwich (GMT).

  Persamaan LSTM adalah sebagai berikut,

  $$LSTM = 15°.\ \Delta T_{GMT} \qquad (2.1)$$

- Persamaan waktu EoT (*equation of time*)

  Persamaan waktu (menit) adalah persamaan empiris yang mengoreksi eksentrisitas orbit bumi dan kemiringan sumbu bumi.

Persamaan *equation of time* adalah sebagai berikut,

$EoT = 9{,}87 \sin 2D - 7{,}53 \cos(D) - 1{,}5 \sin(D)$ (2.2)

Dimana,

$D = \frac{360}{365}(n - 81)$ (2.3)

n adalah jumlah hari yang dihitung dari awal tahun.

- Koreksi waktu TC (*Time Correction*)

  Koreksi waktu TC (menit) dihitung berdasarkan variasi waktu LSTM dalam zona waktu tertentu karena variasi bujur dalam zona waktu dan EoT.

  Persamaan *time correction* adalah sebagai berikut,

  $TC = 4\ Longitude - LSTM + EoT$ (2.4)

  Faktor 4 berasal dari kenyataan bahwa bumi berotasi 10 tiap 4 menit.

- Waktu matahari lokal LST (*Local Solar Time*)

  LST didefinisikan sebagai waktu ketika matahari di posisi tertinggi di langit.

  Persamaan *local solar time* adalah sebagai berikut,

  $LST = LT + \frac{TC}{60}$ (2.5)

- Sudut jam HRA (*Hour Angle*)

  HRA mengubah waktu matahari lokal (LST) ke dalam jumlah derajat dimana matahari bergerak melintasi langit. Menurut definisi, HRA adalah 0° pada siang hari. Karena Bumi berputar 15° per jam, setiap jam dari siang hari, gerakan sudut matahari di langit sebesar 15 °. Di pagi hari sudut jam negatif, sore sudut jam positif.

  Persamaan *hour angle* adalah sebagai berikut,

  $HRA = 15° (LST - 12)$ (2.6)

- Sudut Deklinasi

  Sudut deklinasi (δ) terjadi karena kemiringan sumbu rotasi bumi dalam mengelilingi matahari. Jika bumi tidak miring terhadap sumbu rotasi, deklinasi selalu akan menjadi 0°.

Kemiringan maksimal bumi terhadap sumbu rotasi 23,45° dan sudut deklinasi bervariasi plus minus dari nilai tersebut. Pada musim semi dan gugur 22 maret dan 23 september) sudut deklinasi sama dengan 0°.

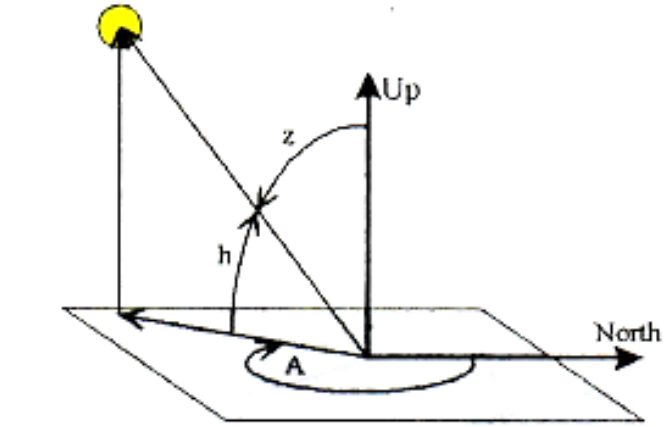
Persamaan sudut deklinasi adalah sebagai berikut :

$$\delta = 23.45 \sin [360(284+n)/365] \quad (2.7)$$

dimana n adalah bilangan hari yang ditentukan dengan aturan sebagai berikut,

Tabel 2.1 Nilai n penentuan sudut deklinasi

Bulan	**n (tanggal-i)**	**Bulan**	**n (tanggal-i)**
Januari	i	Juli	181 + i
Februari	31 + i	Agustus	212 + i
Maret	59 + i	September	243 + i
April	90 + i	Oktober	273 + i
Mei	120 + i	November	304 + i
Juni	151 + i	Desember	334 + i



Gambar 2.3 Posisi Matahari Pada Koordinat Horizontal

- Sudut Elevasi

  Sudut elevasi (sudut ketinggian) adalah ketinggian sudut matahari di langit diukur dari horizontal. Saat matahari terbit sudut elevasi adalah 0° dan 90 ° ketika matahari tepat di atas kepala (yang terjadi misalnya di ekuator pada musim semi dan gugur *ekuinoks*). Sudut elevasi bervariasi sepanjang hari. Hal ini juga tergantung pada garis lintang dari lokasi tertentu dan hari dalam setahun. Sudut elevasi (α) dapat ditemukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = arc \sin \sin \delta \sin \varphi - \cos \delta \cos \varphi \cos HRA \quad (2.8)$$

- Sudut zenith

  Sudut zenith (ζ) adalah sudut ketinggian matahari diukur dari arah vertikal. Sudut zenith mirip dengan sudut elevasi tetapi berbeda pada acuan pengukurannya. Sudut elevasi diukur dari arah horizontal, sudut zenith diukur dari arah vertical. Hubungan sudut zenith dan sudut elevasi dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\zeta = 900 - \alpha \quad (2.9)$$

- Sudut Azimuth

  Sudut azimuth adalah arah kompas sinar matahari yang diukur dari arah utara (0°) berputar searah jarum jam. Sudut azimuth bervariasi sepanjang hari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada ekuinoks, matahari terbit tepat dari arah timur dan terbenam tepat di barat terlepas dari letak lintang, sehingga membuat azimut sudut 90° saat matahari terbit dan 270 ° saat matahari terbenam. Secara umum, sudut azimuth berubah sepanjang waktu dan berulang setiap tahun. Posisi sudut azimuth matahari sepanjang hari tergantung sudut deklinasi (δ), letak lintang (φ), sudut elevasi (α) dan sudut jam (HRA).

  Persamaan sudut *azimuth* adalah sebagai berikut,

$$Azimuth\ (\gamma) = \cos^{-1}\left[\frac{\sin\delta\cos\emptyset - \cos\delta\sin\emptyset\cos(HRA)}{\cos\alpha}\right] \quad (2.10)$$

- Waktu matahari terbit, waktu tengah hari, dan waktu matahari terbenam

  Waktu matahari terbit (*sunrise*) dan terbenam (*sunset*) setiap hari dalam satu tahun tidak sama. Waktu terbit dan terbenam matahari terjadi pada saat sudut elevasi 0° atau sudut zenith 90°. *Sunrise* dan *sunset* dipengaruhi letak lintang, sudut deklinasi, sudut elevasi dan koreksi waktu (TC).

$$sunrise = 12 - \frac{1}{15^\circ}\ arc\cos(-\tan\varphi\tan\delta) - \frac{TC}{60} \quad (2.11)$$

$$sunset = 12 + \frac{1}{15^\circ}\ arc\cos(-\tan\varphi\tan\delta) - \frac{TC}{60} \quad (2.12)$$

$$noon = \frac{(sunrise - sunset)}{2} \quad (2.13)$$

2.4 Sistem Akuisisi Data

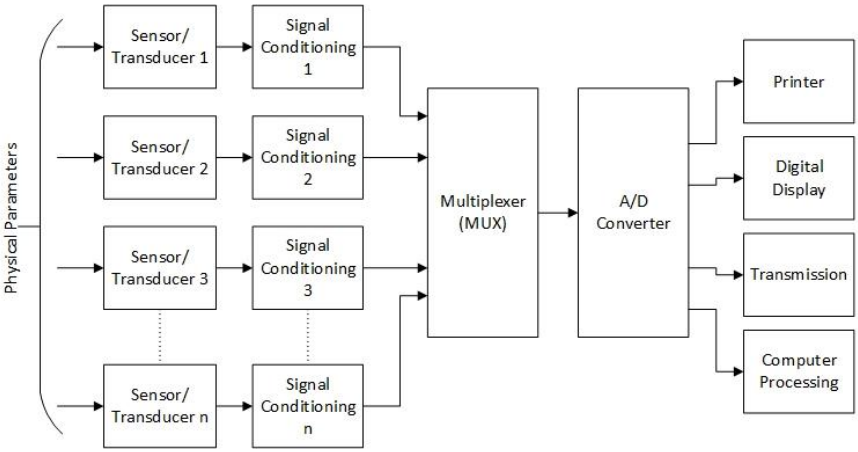
Akuisisi data merupakan sistem yang digunakan untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data yang sedang berjalan, kemudian data tersebut diolah lebih lanjut dalam komputer untuk keperluan tertentu [14]. Sistem akuisisi data merupakan pengembangan dari sebuah sistem pengukuran besaran fisis.

Secara tidak langsung, sestem akuisisi data adalah proses perubahan data dari sensor menjadi sinyal-sinyal listrik yang kemudian dikonversi lebih lanjut menjadi bentuk digital untuk pemrosesan dan analisis oleh komputer sesuai dengan keperluan tertentu, bisa didisplaykan, ditransmisikan maupun direkam.

Sehingga, dalam sistem akuisisi diperlukan beberapa elemen dimana memiliki fungsi masing-masing tetapi memiliki tujuan akhir yakni memonitoring dan merekam data. Elemen-elemen tersebut ialah:

1. *Multiple physical parameters*
2. *Sensing element (transducer)*
3. *Signal conditioning element*

4. *Multiplexer*
5. *Analog to digital converter*
6. *Multiple output data*



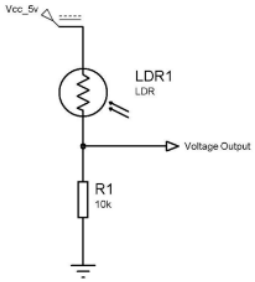
Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Akuisisi Data [14]

2.5 Sensor LDR

LDR (*Light Dependent Resistor)* merupakan sensor untuk mendeteksi cahaya berupa intensitas yang akan mempengaruhi perubahan nilai resistansi dari sensor. Semakin besar intensitas yang masuk pada sensor, maka semakin besar pula nilai resistansi yang akan dihasilkan. Hal ini nantinya akan dihubungkan dengan *supply* tegangan dan dibentuk dengan rangkaian pembagi tegangan menggunakan persamaan *Voltage Divider*. Perubahan intensitas akan berbanding terbalik dengan perubahan tegangan dan akan lebih mudah untuk diatur.

Penggunaan sensor LDR terdapat pada aktif *solar tracker*, dimana menggunakan empat buah LDR yang diletakkan di empat titik acuan berbeda-beda dan diiantara keempat LDR tersebut terdapat pemisah yang biasa disebut balancer. Tujuannya adalah untuk mendeteksi perubahan gerak matahari. Selain digunakan pada aktif *solar tracker*, sensor LDR juga akan digunakan untuk mengukur besar intensitas radiasi matahari dengan

membandingkan hasil output ADC dari *voltage divider* dengan nilai intensitas radiasi dari *pyranometer*.



Gambar 2.5 *Voltage Devider* Pada LDR [15]

2.6 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan suatu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan lalu kemudian mengkonversinya menjadi besaran listrik. Sensor ini digunakan untuk memonitoring besar suhu pada *photovoltaic*. Sensor ini merupakan sensor digital yang menggunakan 1 wire untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. Keunikan dari sensor ini adalah tiap sensor memiliki kode serial yang memungkinkan untuk penggunaan DS18B20 lebih dari satu dalam satu komunikasi 1 wire.DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang dikeluarkan oleh Dallas Semiconductor. Untuk pembacaan suhu, sensor menngunakan protokol 1 wire communication. [16]

Gambar 2.6 Modul Sensor DS18B20

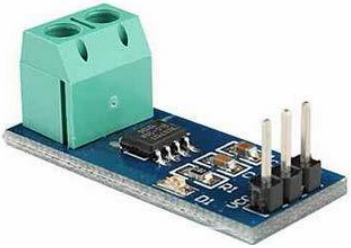
2.7 CMPS 10

Sensor CMPS10 merupakan suatu modul sensor yang terdiri dari magnetometer 3-axis, dan accelerometer 3-axis. Penggunaan sensor CMPS10 bertujuan untuk pengindera dari *solar tracker* dengan metode pengendalian pasif, dengan membaca sudut *azimuth* dan elevasi/*alltitude* dari kemiringan panel surya. Output pengukuran sudut *azimuth* memiliki nilai rentang sebesar -90° sampai 90° dengan resolusi pengukuran 0,1° hingga 1°. Sedangkan sudut elevasi memiliki range pengukuran sebesar 0° sampai 359,9° dengan resolusi pengukuran hingga 0,1°. [15]

Gambar 2.7 Modul CMPS10 [15]

2.8 Sensor ACS712

ACS712 merupakan sensor arus dengan memanfaatkan Hall effect. Sensor ini merupakan buatan Allegro, bentuk fisik dari modul sensor ACS712 dapat dilihat di Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Modul Sensor ACS712

ACS712 merupakan sensor arus yang memiliki tingkat presisi yang baik untuk mengukur arus AC atau DC, untuk pembacaan arus di dalam dunia industri, otomotif, komersil dan juga dalam sistem komunikasi.

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh Hall Effect IC dan diubah menjadi tegangan proporsional [17].

2.9 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah salah satu jenis sensor yang berfungsi untuk mengukur tegangan listrik. Sensor ini didasarkan pada prinsip tekanan resistensi (*voltage devider*) dan dapat membuat tegangan input dari terminal mengurangi 5 kali dari tegangan asli tergantung dari besar *voltage devider* didalamnya. [17]

Gambar 2.9 Modul Sensor Tegangan

2.10 *Realtime* DS3231

Modul RTC **(***Real Time Clock***)** ini memiliki akurasi dan presisi yang sangat tinggi dalam mencacah waktu dengan menggunakan IC RTC DS3231 *extremely accurate temperature compensated* RTC (TCXO)**.** DS3231 memiliki kristal internal dan rangkaian kapasitor *tuning* di mana suhu dari kristal dimonitor secara berkesinambungan dan kapasitor disetel secara otomatis untuk menjaga kestabilan detak frekuensi.

Pencacahan waktu pada solusi RTC lain dapat bergeser (*drift*) hingga hitungan menit per bulannya, terutama pada kondisi perubahan suhu yang ekstrim. Modul ini paling jauh hanya bergeser kurang dari 1 menit per tahunnya, dengan demikian modul

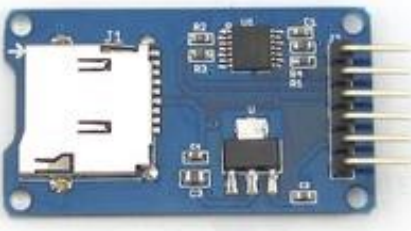
ini cocok untuk aplikasi kritis yang sensitif terhadap akurasi waktu yang tidak perlu disinkronisasikan secara teratur terhadap jam eksternal [18].

Gambar 2.10 RTC **(***Real Time Clock***)**

2.11 Modul *Micro* SD

Micro Sd shield module adalah kartu memori yang pada umumnya berukuran 11 x 15mm, dengan berbagai ukuran kapasitas yang digunakan untuk keperluan penyimpanan data maupun pembacaan data yang sudah ada didalamnya. Data tersebut bersifat digital yang dapat berupa data gambar, dokumen, video, maupun audio. Peringkat kecepatan transfer rate yang di kenal dengan *Speed Class* yang merupakan standar kecepatan yang ada pada SD Card. Untuk saat ini terdapat beberapa *speed class* antara lain :

- *Class* 2 : dengan kecepatan 2 MB/s
- *Class* 4 : dengan kecepatan 4 MB/s
- *Class* 6 : dengan kecepatan 6 MB/s
- *Class* 10 : dengan kecepatan 10 MB/s
- UHS 1 : dengan kecepatan 10 MB/s
- UHS 3 : dengan kecepatan 30 MB/s



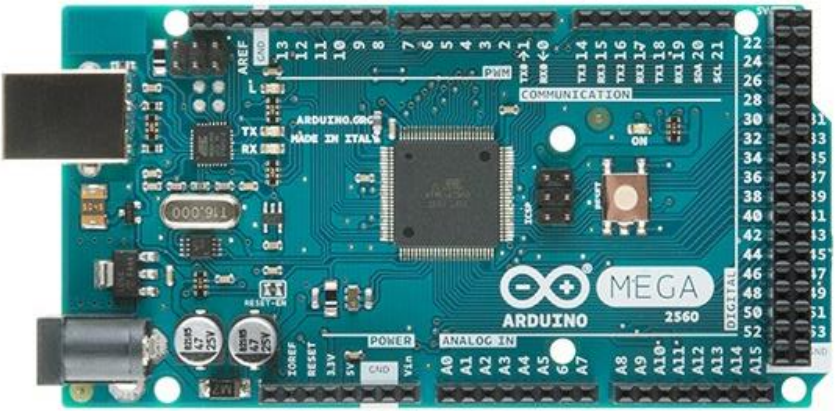
Gambar 2.11 Modul Micro SD

Modul micro sd merupakan modul untuk mengakses memori card yang bertipe micro SD untuk pembacaan maupun penulisan data dengan menggunakan sistem antarmuka SPI (*Serial Parallel Interface*). Modul ini cocok untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan media penyimpan data, seperti sistem absensi, sistem antrian, maupun sistem aplikasi *data logging* lainnya. [18]

2.12 Arduino Mega 2650

Arduino adalah kombinasi antara *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE). IDE adalah sebuah *software* yang digunakan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner serta meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller*.

Arduino mega memiliki 54 pin I/O digital (15 PWM *output*) dan 16 pin sebagai *input* analog, diberi label A0 sampai dengan A15. Pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi pinMode(), digitalWrite(), dan digitalRead(). Semua pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Flash memory penyimpanan sementara pada Arduino Mega sebesar 256 KB (8 KB *bootloader*). [19]



Gambar 2.12 *Board Arduino Mega* [19]

2.13 Dasar Radio Frekuensi

Gelombang didefinisikan sebagai getaran atau gangguan yang merambat. Radio frekuensi merupakan gelombang elektromagnetik yang perambatannya diruang angkasa dan sebagai dasar untuk banyak sistem komunikasi yang berbeda. Dikarenakan karekteristik bervariasi mereka, gelombang radio dari frekuensi yang berbeda-beda digunakan tidak hanya untuk *broadcasting* tetapi juga pada perangkat tanpa kabel, transmisi telepon, televisi, radar, sistem navigasi, dan bentuk lain dari komunikasi yang mirip seperti sistem telemetri. [20]

Spektrum elektromagnetik adalah rentang semua radiasi elektromagnetik. Spektrum elektromagnetik dapat dijelaskan dalam panjang gelombang, frekuensi, atau tenaga per foton. Bagian spektrum elektromagnetik banyak di kenali oleh manusia adalah cahaya, yang merupakan bagian spektrum elektromagnetik yang terlihat oleh mata. Cahaya berada pada kira-kira frekuensi 7.5 x 10^{14} Hz dan 3.8 x 10^{14} Hz, atau kira-kira panjang gelombang 400 nm (violet/biru) sampai 800 nm (merah).

Gelombang dikarakteristikkan oleh panjang gelombang dan frekuensi. Panjang gelombang (λ) memiliki hubungan dengan frekuensi (*f*) dan kecepatan (v) yang ditunjukkan pada Persamaan dibawah ini:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{2.11}$$

Dimana :
λ = panjang gelombang (m)
c = cepat rambat cahaya (m/s)
f = frekuensi (Hz)

Kecepatan bergantung pada medium. Frekuensi adalah besaran yang lebih mendasar dan tidak bergantung pada medium. Medium rambat adalah hampa udara (*free space*) dengan kecepatan rambatan c = 3 x 10^8 m/s. Spektrum frekuensi radio adalah sumber daya alam yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas serta dapat meningkatkan kualitas masyarakat suatu bangsa. Spektrum frekuensi gelombang elektromagnetik dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2 [21].

Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi Gelombang Elektromagnetik

Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi	Panjang Gelombang
VLF: Very low frequency	3-30 kHz	100.000-10.000 m
LF : Low Frequency	30-300 kHz	10.000-1000 m
MF : Medium Frequency	300-3000 MHz	1000-100 m
HF : High Frequency	3-30 MHz	100-10 m
VHF: Very High Frequency	30-300 MHz	10-1 m
UHF: Ultra High Frequency	300-3000 GHz	1 m-10 cm
SHF: Super High Frequency	3-30 GHz	10-1 cm
EHF: Extremly High Frequency	30-300 GHz	1 cm-1 mm

2.14 3DR Radio Telemetry

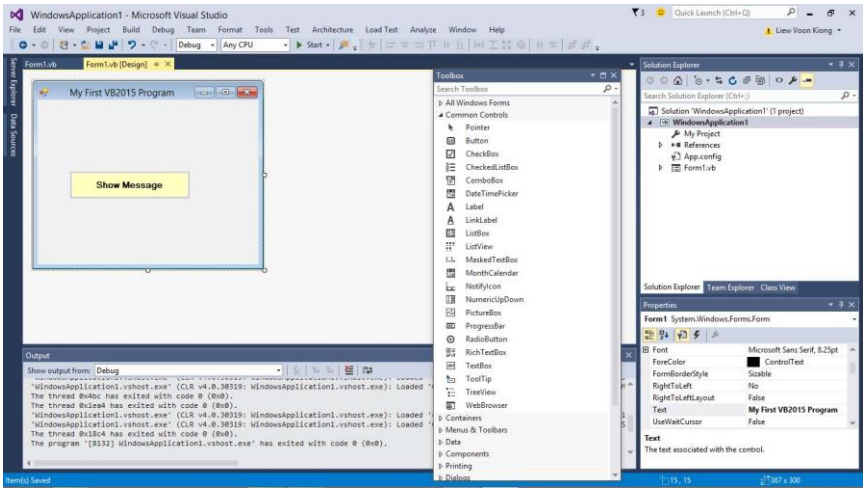
3DR radio telemetri merupakan sebuah modul *transmitter* dan *receiver* dimana memiliki sistem dasar dengan menggunakan *3DR Radio System.* Sistem pada telemetri ini menggunakan komunikasi *full-duplex* menggunakan modul *HopeRF* HM-TRP yang telah dikostumisasi dengan *firmware open source*. *Interface* perangkat ini mengggunakan TTL serial standar 5V atau USB FTDI Serial. Untuk memperbarui dan mengatur pengaturan modul ini dapat menggunakan APM *Mission Planner*. Konfigurasi juga dapat dilakukan dengan 3DR *Radio Configurator* ataupun AT *Command*. Berikut spesifikasi *3DR telemetry* [22]

1. Frekuensi 915Mhz
2. Sensitifitas penerima sampai -121dBm
3. Kekuatan pengiriman sampai 20dBm (100mW)
4. Data *rate* di udara sampai 250kbps
5. Frequency hopping spread spectrum (FHSS)
6. Open source firmware
7. Antena standar berjenis *dipole omni directional*.

Gambar 2.13 3DR *Radio Telemetry* 915 MHz

2.15 Visual Basic

Visual Basic adalah sebuah bahasa pemrograman yang berpusat pada object (*Object Oriented Programming*) digunakan dalam pembuatan aplikasi *Windows* yang berbasis *Graphical User Interface* untuk membuat program perangkat lunak berbasis sistem operasi *Microsoft Windows* dengan menggunakan model pemrograman (COM).



Gambar 2.14 Halaman Awal *software* Visual Basic 2015

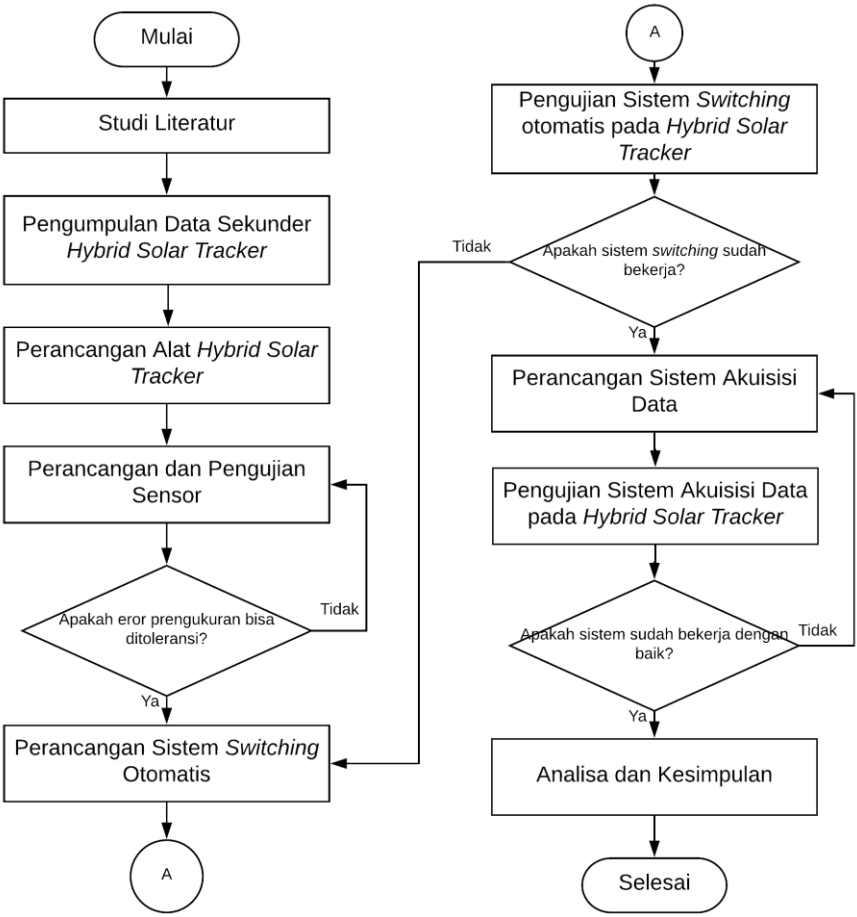
Visual Basic berfungsi untuk membuat program perangkat lunak/ aplikasi berbasis sistem operasi *Microsoft Windows* yang berbasis GUI *(Grapical User Interface)* [23]. *Visual Basic* dapat digunakan untuk membuat *user interface*, melakukan koding, melakukan *testing* dan *debuging* serta menkompilasi program.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal untuk meningkatkan pemahaman baik teori dasar maupun praktis sebagai pendukung dari sistem yang di uji cobakan pada pengerjaan tugas akhir ini. Teori dasar dapat bersumber dari buku, jurnal, *ebook*, penelitian sebelumnnya, *browsing* dari internet, dan dari pustaka lain yang sumbernya dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan.

Teori yang akan dipelajari berupa spesifikasi dan sistem dari *hybrid solar tracker*, metode *auto switching*, sistem data akuisisi menggunakan *interface visual basi*c dan modul 3DR telemetri, serta pemograman dari sistem *auto switching* menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560.

3.3 Pengumpulan Data Spesifikasi

Data spesifikasi masing-masing komponen dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir ini tujuannya adalah agar mempermudah pengerjaan dalam rancang bangun sistem akuisisi data pada *hybrid solar tracker*. Data tersebut dapat berupa parameter mekanik, misalnya dimensi rangka solar tracker, serta parameter elektrik misalnya spesifikasi PV, kontroler, sensor LDR, sensor tegangan, sensor arus ACS712, CMPS10, dan sensor suhu DS18B20.

3.1.1 Spesifikasi PV

Adapun PV yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dengan spesifikasi sebagai berikut,

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel PV

Karakteristik Solar Panel Polikristalin (ST SOLAR)	
	PV *Track* & *Fixed*
P_{max}	250 W
V_{mp}	30 V
I_{mp}	8,34 A
V_{oc}	36,8 V
I_{sc}	9 A
Dimensi	(1760x990x40) mm
AM=1,5 ; E = 1000 W/m^2 ; TC= 25 ^{o}C	

3.1.2 Sensor (Sensor LDR, CMPS10, Tegangan, dan Arus)

Sensing element yang digunakan ada empat jeni, yaitu sensor LDR yang beroperasi saat mode aktif solar tracker dan sensor CMPS10 di mode pasif solar tracker. Sensor Arus ACS712-20 dan sensor tegangan digunakan untuk mengukur *output photovoltaic*. Berikut spesifikasi masing-masing sensor,

Tabel 3.2 Spesifikasi sensor CMPS10

Sensor CMPS10	
Resolusi Sudut *azimuth*	1°
Resolusi Sudut *alltitude*	0.1°
Input Voltage	DC 3,6 – 5 V
Current Max	25 mA
Output interface	I2C / PWM / Serial

Tabel 3.3 Spesifikasi sensor LDR

Sensor LDR	
Dimensi	4 mm
Resistansi	1-10 kΩ

Tabel 3.4 Spesifikasi sensor ACS712

	Sensor Arus ACS712-20A	**Sensor Arus ACS712-05A**	**Sensor Arus ACS712-30A**
Optimized Accuracy Range (I_p)	-20 – 20 A	-5 – 5 A	-30 – 30 A
Sensitivity	96 – 104 mV/A	180 – 190 mV/A	62 – 71 mV/A
Power	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Bandwidth	80 kHz	80 kHz	80 kHz
Resistansi	1.2 mΩ	1.2 mΩ	1.2 mΩ

Tabel 3.5 Spesifikasi sensor tegangan

Sensor Tegangan	
Voltage Input Range	0 – 25 VDC
Voltage Detection Range	0.2445 – 25 VDC
Voltage Analog Resolution	0.00489 V

Tabel 3.6 Spesifikasi sensor DS18B20

Sensor DS18B20	
Measures temperatures	-55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
Accuracy	±0.5°C from -10°C to +85°C
V_{DD} *(Supply Voltage)*	3.0 to 5.5 V

3.1.3 Kontroler (Arduino Mega 2560)

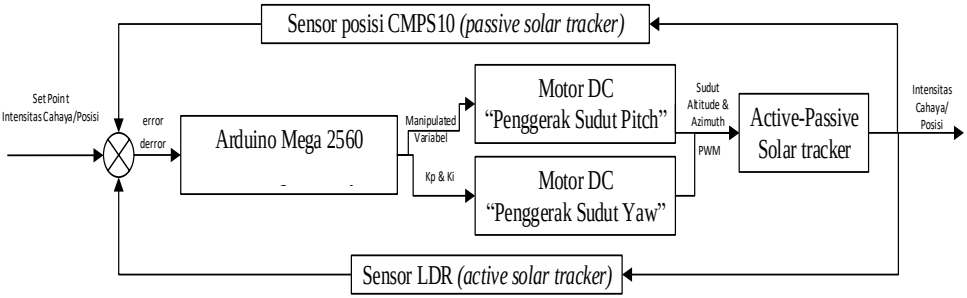
Adapun kontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino mega2560 dengan spesifikasi sebagai berikut yang ditunjukkan pada tabel 3.7,

Tabel 3.7 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Chip mikrokontroller	Atmega 2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (rekomendasi, via jack DC)	7V - 12V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya PWM *output*
Analog input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Memeori Flash	256KB, 8KB digunakan bootloader
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

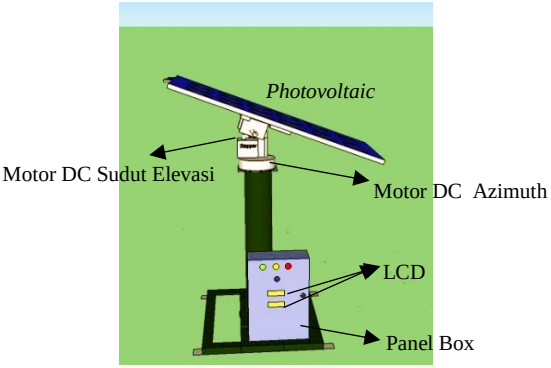
3.4 Perancangan *Hybrid Solar Tracker*

Pada tahap perancangan *hybrid solar tracker* secara garis besar bekerja sesuai diagram blok sistem berikut,



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Pengendalian Hybrid (Active-Passive) Solar Tracker

Pada dasarnya alat ini terdiri dari sistem mekanik dan elektrik (elektromekanik). Sistem mekanik sebagian besar dikerjakan di bengkel sesuai desain pada gambar 3.3 menggunakan *software Sketchup*. Berdasarkan desain tersebut, maka dibuatlah hardware kerangka solar tracker yang ditunjukkan pada gambar 3.4 sebagai berikut,



Gambar 3.3 Desain Perancangan *Solar Tracker*

Gambar 3.4 *Hardware Solar Tracker*

3.5 Perancangan dan Pengujian Sensor

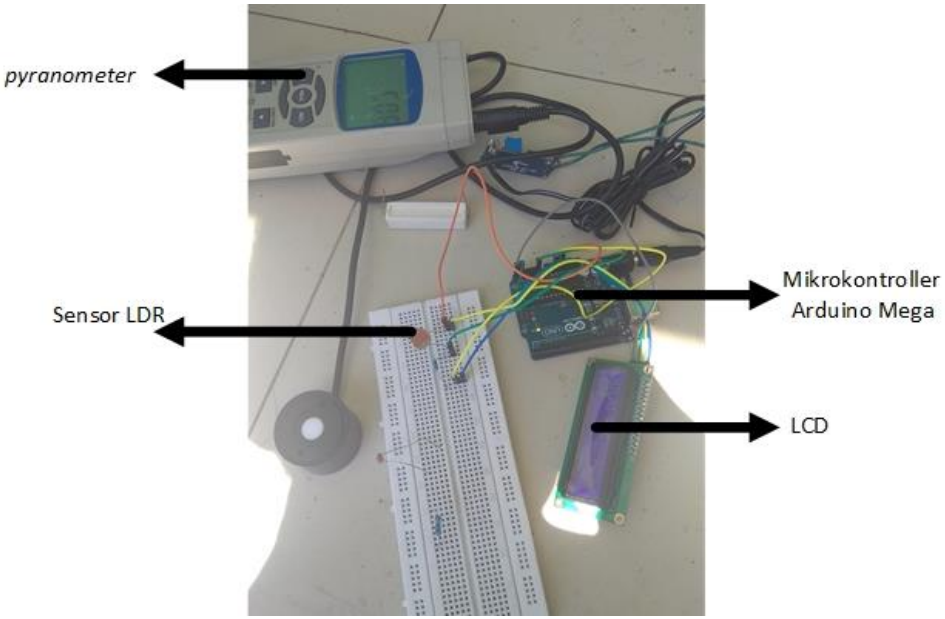
Pada tahap ini, terdapat menjadi 2 bagian, yaitu perancangan sensor dan pengujian sensor sebagai berikut:

3.6.1 Perancangan Sensor

Pada perancangan sensor, yang dilakukan adalah membuat *code* pada mikrokontroller agar sensor bisa membaca hasil pengukuran. Sensor-sensornya adalah lima sensor ACS712-20A, lima sensor tegangan, dua sensor CMPS10, dan satu buah LDR untuk mengukur besar intensitas radiasi matahari. Khusus untuk mengukur intensitas radiasi matahari, dirancang sebuah alat ukur menggunakan sensor LDR yang membaca intensitas cahaya matahari yang terukur dalam bentuk besar nilai ADC yang dibaca pada mikrokontroller sesuai dari tegangan yang dihasilkan oleh

voltage devider LDR dan dibandingkan dengan hasil ukur intensitas radiasi dari *pyranometer*.

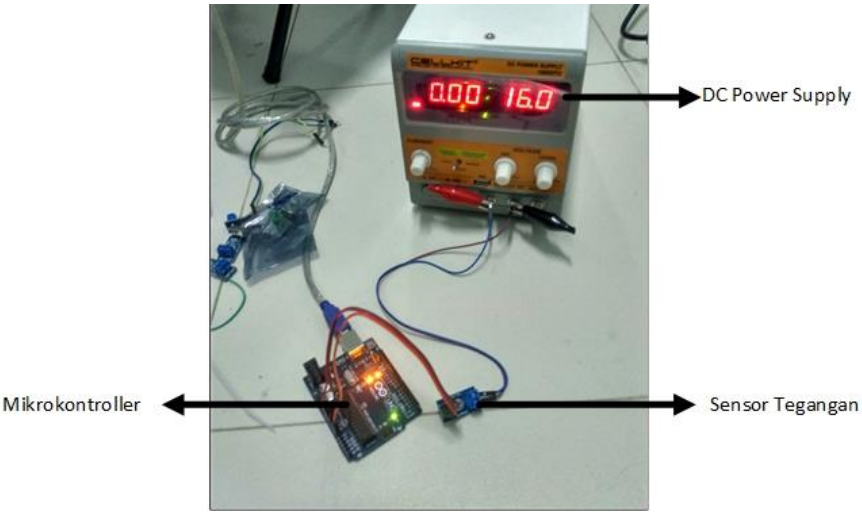
Berikut dokumentasi dan hasil dari perancangan alat ukur intensitas radiasi matahari dengan sensor LDR:



Gambar 3.5 Pengambilan Data Perancangan Alat Ukur Intensitas Radiasi Matahari Berbasis Sensor LDR

3.6.2 Pengujian Sensor

Pengujian komponen dilakukan dengan menguji kerja sensor, yaitu lima sensor arus ACS712-20A, lima sensor tegangan, dan dua sensor CMPS10 untuk sudut *pitch* dan sudut yaw. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan komponen yang digunakan berfungsi dan mengetahui karakteristik performansi serta pembacaan *hardware*, dan agar pembacaan sensor yang presisi dan akurasi sehingga nilai besaran yang diukur dikatakan layak. Berikut dokumentasi pengujian sensor yang ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah ini,

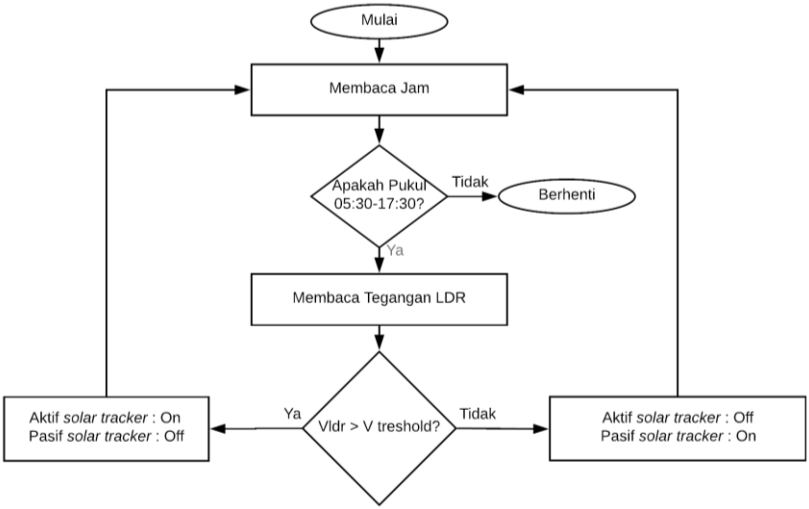


Gambar 3.6 Pengujian Sensor *Voltage*

3.6 Perancangan Sistem *Switching* Otomatis *Hybrid Solar Tracker*

Pada tahap ini dilakukan penggabungan dua tipe penjejak matahari yaitu *active* dan *passive solar tracker*. Dua tipe *solar tracker* tersebut dirancang dan diimplemetasikan secara 2 program yang terpisah dengan sistem *switching* ini bisa digabungkan menjadi 1 program yaitu *hybrid solar tracker*. Prinsip kerja dari sistem ini ditunjukkan pada gambar 3.7. Harapannya, dengan adanya sistem *switching* otomatis ini dapat lebih memaksimalkan output daya dari keluaran *photovoltaic*.

Awalnya, sistem akan membaca waktu saat ini untuk menentukan apakah *solar tracker* perlu dijalankan atau tidak, apabila waktu yang ditunjukkan pada pukul 05.30-17.30 WIB maka *solar tracker* akan berjalan dengan mode aktif, karena *solar tracker* mode aktif merupakan *main system* sedangkan *solar tracker* mode pasif adalah *backup system*. Selanjutnya, sistem akan membaca besar tegangan LDR, tegangan LDR akan dibandingkan dengan tegangan *treshold* (batas ambang yang besarnya ditetapkan berdasarkan hasil eksperimen).



Gambar 3.7 Diagram alir sistem *switching* otomatis

Apabila kondisi cerah otomatis tegangan yang dihasilkan LDR relatif besar diatas tegangan *treshold*, maka yang berjalan adalah *solar tracker* mode aktif, sebaliknya apabila kondisi berawan/mendung dengan tegangan LDR kurang dari tegangan *treshold* maka *solar tracker* berjalan dengan mode pasif. Besar output tegangan LDR yang dihasilkan akan menentukan program/mode mana yang akan dijalankan. Kondisi tersebut otomatis akan berlangsung hingga pukul 17:30 WIB (matahari terbenam).

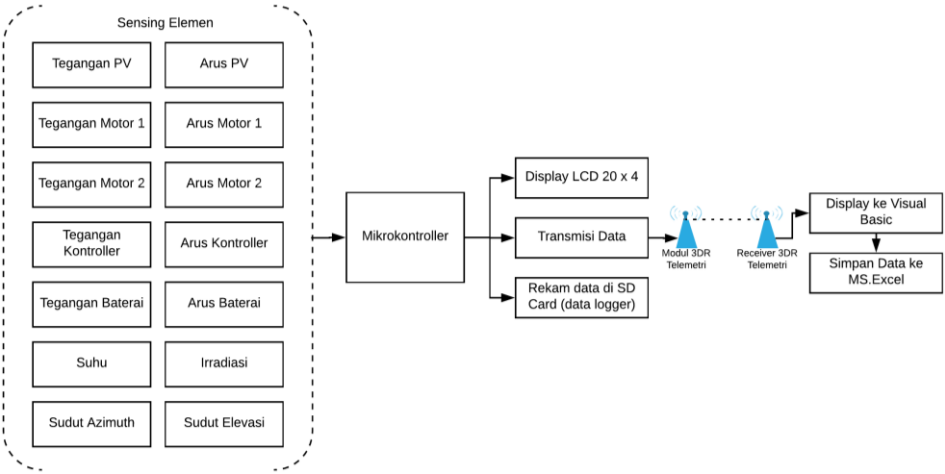
3.7 Pengujian Sistem *Switching* Otomatis

Pengujian sistem *switching* otomatis pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar tegangan *treshold*, dimana nilai tegangan *treshold* tersebut digunakan sebagai parameter *switching* otomatis pada *hybrid solar tracker*. Pengujian sistem *switching* otomatis ini dilakukan dengan *tracking* besar tegangan 4 LDR pada kontrol aktif *solar tracker* sehingga dapat menentukan besar tegangan LDR disaat kondisi cuaca mendung/berawan sehingga bisa dianggap sebagai tegangan *treshold*.

3.8 Perancangan Sistem Akuisisi Data

Hybrid solar tracker terdiri dari beberapa elemen yang secara garis besar terbagi menjadi *sensing element* atau sensor yang berfungsi untuk menangkap bersaran fisika seperti pada gambar 3.7. Dalam sistem akuisisi data *hybrid solar tracker* ini, diperlukan beberapa elemen-elemen elektronika diantaranya:

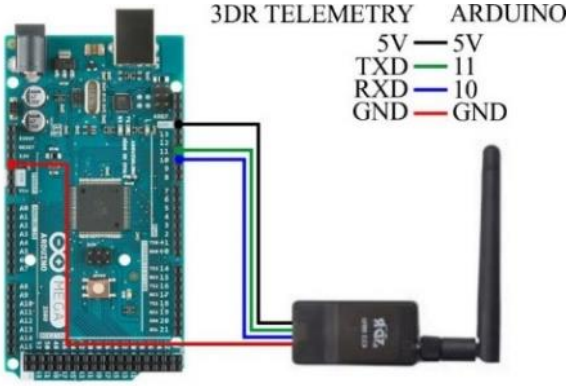
a. Sensor LDR untuk mengukur intensitas radiasi matahari.
   Sensor DS18B20 untuk mengukur suhu.
   Sensor CMPS10 untuk mengukur posisi matahari.
   Sensor tegangan untuk mengukur tegangan pada 5 objek.
   Sensor ACS712 untuk mengukur arus pada 5 objek.
b. Mikrokontroller arduino mega 2560 sebagai pengolah data.
c. Modul 3DR Radio telemetri sebagai *transmitter* dan *receiver* dengan media gelombang radio (elektromagnetik).
d. LCD 20 x 4 dan *Visual Basic* sebagai interface agar bisa dipantau secara *realtime*.
e. SD *Card* sebagai penyimpan data secara *realtime* dan program MS.Excel sebagai penyimpan data apabila Visual Basic dijalankan.



Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem Akuisisi Data *Hybrid Solar Tracker*

3.8.1 Perancangan *Hardware* Sistem Akuisi Data

Perancangan perangkat keras dalam rancang bangun ini terdiri dari perangkat transmisi data. Perangkat transmisi data yang dimaksud terdiri dari 14 sensor pada *hybrid solar tracker* dan sistem pengolahan data yang berupa *microcontroller* arduino MEGA sebagai bertindak sebagai *tranceiver*. Keduanya dihubungkan pada *transceiver 3DR telemetry* yang digunakan sebagai modul transmisi data menggunakan radio frekuensi. Untuk modul radio pada pin TX dihubungkan dengan pin 11 dan pin RX dengan pin 10 pada arduino untuk komunikasi serial. Untuk tegangan pada modul dihubungkan pin 5V dengan pin 5V pada arduino begitu juga dengan pin GND pada modul *telemetry* dengan pin GND pada arduino.

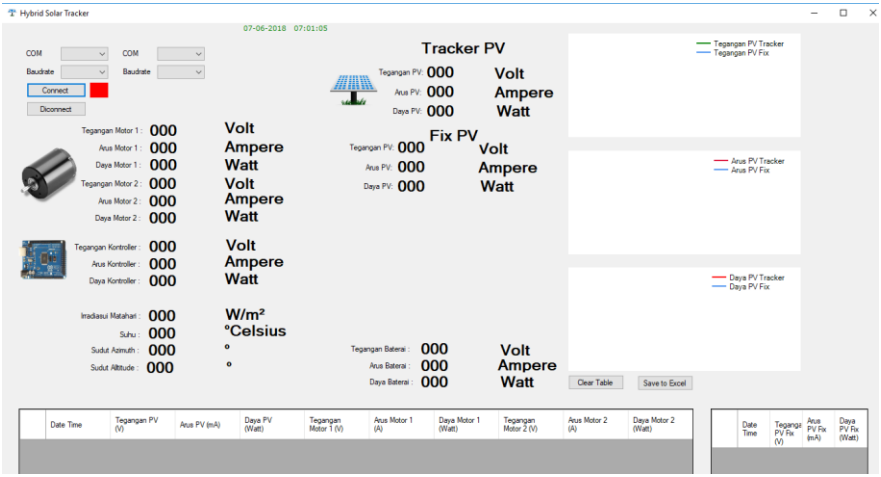


Gambar 3.9 Rangkaian Radio Telemetry

3.8.2 Perancangan *Software* Sistem Akuisisi Data

Perancangan perangkat lunak dalam rancang bangun ini berupa pembuatan *software display* menggunakan *aplikasi visual basic*. Perancangan *software display* menggunakan *visual basic* berisikan informasi yang didapat dari hasil pembacaaan sensor yang dipasang pada *hybrid solar tracker* meliputi sensor tegangan dan arus 5 komponen (PV *Tracker,* PV *Fixed*, motor 1, motor 2, kontroller, dan baterai), intensitas radiasi matahari, suhu, sudut

azimuth dan sudut elevasi matahari yang dapat dilihat pada gambar 3.10 sebgai berikut.



Gambar 3.10 Jendela Program *interface Visual Basic* yang Dirancang

Komunikasi serial pada visual basic dengan arduino menggunakan serial port dan ditentukan *baudrate* sebesar 57600 dikarekan itu adalah besar *baudrate* standar dari modul *transceiver* 3DR Telemetry.

3.8.3 Integrasi Sistem (*Hardware* dan *Software*)

Integrasi sistem pada rancang bangun ini dengan menggabungkan seluruh sistem yang telah dibuat dari *hardware* hingga *software*. Sehingga hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan pada aplikasi display yang berupa *software* buatan menggunakan *visual basic* sehingga dapat dilakukan analisa lebih lanjut.

3.9 Pengujian Sistem Akuisisi Data

Pengujian sistem akuisisi data pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi radio telemetri dalam mentransmisikan data dan pengujian penyimpanan data pada *micro*

SD. Sehingga dalam pengujian sistem akuisisi data ini terdapat 2 bagian yaitu pengujian pada *micro SD* dan pengujiann performansi modul radio telemetri.

3.9.1 Penyimpanan Pada Micro SD

Perancangan ini digunakan dalam sistem monitoring ini. Modul SD card digunakan sebagai data logger dalam penyimpanan informasi dari hasil pembacaan sensor yang telah diukur. Penyimpanan data ini disimpan dalam format .txt sehingga dapat mudah dilihat dan diakses siapa saja.

3.9.2 Pengujian Radio Telemetri

Pengujian radio telemetri ini dilakukan dengan menguji kerja modul 3DR telemetri. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh jarak maksimal modul dapat mengirim data. Dengan mengetahui jarak maksimal, maka dapat diperkirakan jarak maksimal yang nantinya dilakukan pada saat pengambilan data *monitoring* secara *realtime* berbasis *visual*. Pengujian dilakukan 2 kali, yakni pada lokasi dengan dan tanpa halangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

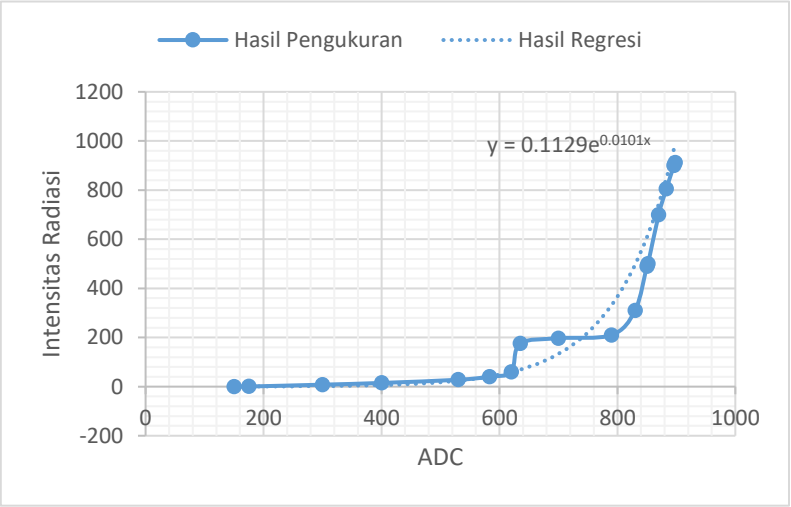
Tahapan ini merupakan hasil dari pengambilan data yang terdiri dari beberapa yaitu hasil perancangan alat ukur radiasi matahari dengan menggunakan sensor ldr, hasil uji dan kalibrasi sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan sensor sudut CMPS 10 yang bertujuan agar keluaran dari sensor presisi dan akurasi, selanjutnya hasil uji kerja telemetri yang bertujuan untuk mengetahui performansi jarak pengiriman data, berikutnya hasil uji kerja sistem akuisisi data bertujuan untuk mengintegrasikan semua unit bekerja, kemudian hasil uji kerja sistem *switching* bertjujuan untuk mengintegrasikan *active* dan *passive solar tracker*, serta hasil uji performansi keluaran PV yang bertujuan untuk mengetahui besar peningkatan efisiensi energi dari *solar tracker* baik dengan menggunakan reflektor maupun tidak, sekaligus mengetahui gain dari konsumsi energi motor.

4.1 Hasil Perancangan Alat Ukur Radiasi Matahari Dengan Menggunakan Sensor LDR

Intensitas radiasi matahari merupakan salah satu besaran yang memengaruhi performansi *output* dari *photovoltaic*, oleh karena itu diperlukan alat ukur intensitas radiasi matahari. Pada penelitian ini digunakan sensor LDR untuk membaca besar intensitas cahaya matahari dengan prinsip kerja *voltage devider* dan dibandingkan dengan besar nilai *output* intensitas radiasi matahari pada *pyranometer* standar, agar dapat dirancang sebuah alat ukur intensitas radiasi matahari dengan membandingkan besar nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor LDR dengan besar nilai intensitas radiasi matahari pada *pyranometer*. Sehingga dalam perancangan tersebut didapatkan hasil pengukuran intensitas radiasi pada *pyranometer* dan nilai ADC pada sensor LDR yang diperlihatkan pada tabel 4.1 dan grafik 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Data Pengukuran Intensitas Radiasi Matahari

Hasil Percobaan Pengukuran Intensitas Radiasi			
ADC	Intensitas Radiasi (W/m^2)	ADC	Intensitas Radiasi (W/m^2)
150	0.1	790	210
175	0.5	830	310
300	8	850	490
400	15	852	500
530	28	870	700
583	40	883	805
620	60	896	900
635	175	898	912
700	197		



Gambar 4.1 Grafik Hasil Perancangan Alat Ukur Intensitas Radiasi Matahari

Dari data pada gambar 4.1, dibuat grafik dalam MS.Excel dan dibuat plot *trendline exponensial*. Sehingga dalam perancangan

alat ukur intensitas radiasi matahari ini didapatkan hasil persamaan exponensial sebagai berikut:

$$Intensitas\ Radiasi = 0.1129\ e^{0.0101x} \qquad (4.1)$$

Dimana, x = besar ADC pada sensor LDR

Persamaan 4.1 nantinya digunakan pada program mikrokontroller arduino untuk mengukur besar intensitas radiasi matahari.

4.2 Hasil Uji Sensor

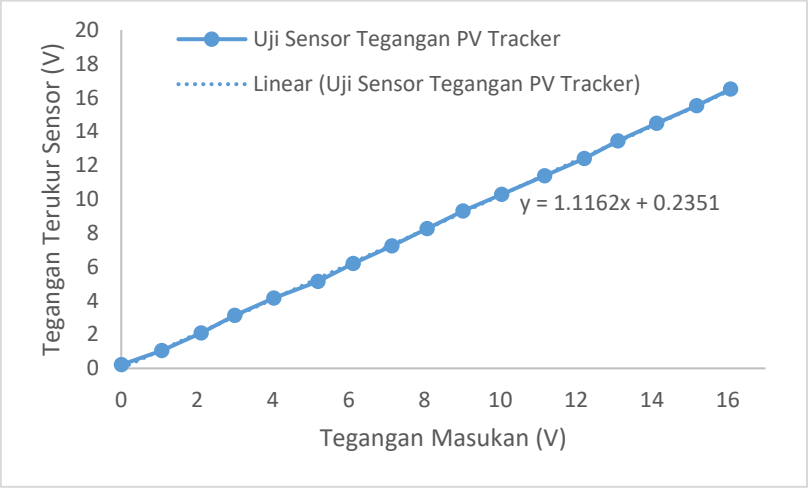
Uji sensor dilakukan pada beberapa sensor yang akan digunakan yaitu lima sensor tegangan, lima sensor ACS712, dua sensor CMS10, satu sensor DS18B20, dan sensor LDR sebagai alat ukur intensitas radiasi.

4.2.1 Sensor Tegangan

Pada penelitian ini sensor tegangan yang digunakan adalah modul sensor tegangan 25 V dan *voltage devider* 1:10. Modul sensor tegangan 25 V menggunakan inputan berupa tegangan listrik dan memiliki outputan berupa tegangan. Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan serta menjamin kelayakan dari sensor yang digunakan. Dalam hal ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan input-output sensor tegangan dengan cara memberikan inputan naik secara bergantian dengan merekam setiap output yang dihasilkan. Hasil rekaman setiap output diplot ke dalam *chart*. Adapun indikator karakteristik statik yang ditentukan dalam pengujian kali inin adalah histerisi dan linearitas.

Dilakukan pengujian dengan pengambilan data tegangan dari lima sensor tengangan, yaitu sensor tegangan PV *fixed* dan *tracker* menggunakan *voltage devider* dikarenakan besar nilai yang akan diukur lebih dari 25 V, sensor tegangan motor sudut elevasi, sensor tegangan motor sudut *azimuth*, sensor tegangan kontroller, dan sensor tegangan baterai menggunakan modul sensor tegangan 25 V. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil data tegangan masukan dari DC *supply* sebanyak 17 titik, yakni tiap 1 volt dimulai 0 volt sampai 16 volt dan dibandingkan dengan hasil

keluaran sensor. Hasil data untuk pengujian sensor tegangan PV *tracker* ditunjukkan pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Hasil Uji Sensor Tegangan PV *Tracker*

Berdasarkan gambar 4.2 hasil uji sensor tegangan untuk PV *tracker*, dikatakan linier karena nilai input I dan *output* O yang sesuai berada pada garis lurus. Garis tersebut menghubungkan titik minimum (*Imin*, *Omin*) dan titik maksimum (*Imax*, *Omax*), sehingga dapat dicari tingkat linieritas hasil pengukuran sensor sesuai persamaan 4.1.

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}}\right] (I - I_{min}) \qquad (4.2)$$

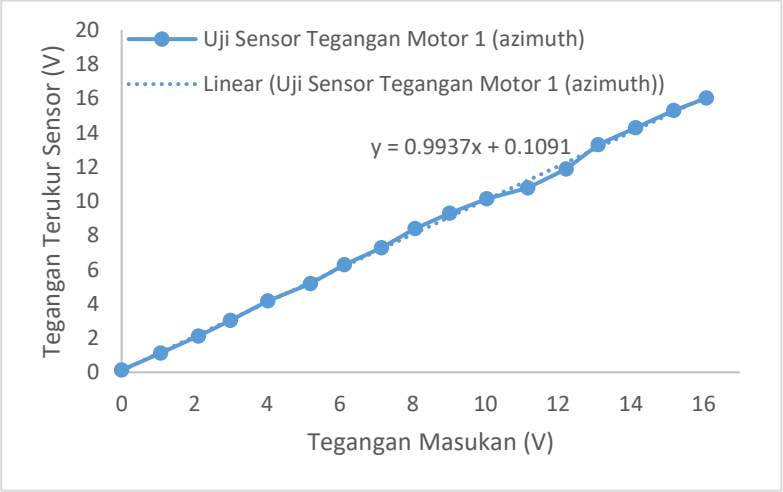
Dari persamaan diatas maka diperoleh persamaan linier uji sensor $O_{pvtrack}$=1.1093I+0.26. Nilai tersebut mendekati persamaan linear yang diperoleh dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu $O_{pvtrack}$= 1.1162I + 0.2351. kedua nilai tersebut saling mendekati antara menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel*.

Setelah dilakukan uji sensor tegangan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi. Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur uji dengan alat ukur yang telah

memenuhi kriteria standart. Dalam penelitian kali ini sensor arus dikalibarsi dengan multimeter yang bertindak sebagai alat standar dan output dari sensor tegangan tersebut dikomparasikan. Parameter kalibarsi yang dihitung pada penelitian kali ini adalah ketidakpastian yang bersumber dari pengukuran berulang (tipeA) dengan mengabaikan ketidakpastian sumber selain pengukuran (tipeB). Adapun pengertian ketidakpastian pengukuran adalah sebuah rentang nilai dimana nilai sebenarnya dari sebuah pengukuran tersebut diperkiraan berada.

Berdasarkan data dari tabel 7 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan PV *tracker* sebesar 0.0383 dimana pada saat nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur sebesar 3,13 volt.

Selanjutnya, dilakukan pengujian sensor tegangan pada motor 1 (sudut *azimuth*) dengan cara yang sama seperti pengujian sensor tegangan pada PV *tracker*, dengan hasil uji sensor tegangan pada motor 1 (*azimuth*) dapat dilihat pada gambar 4.3 sebagai berikut,



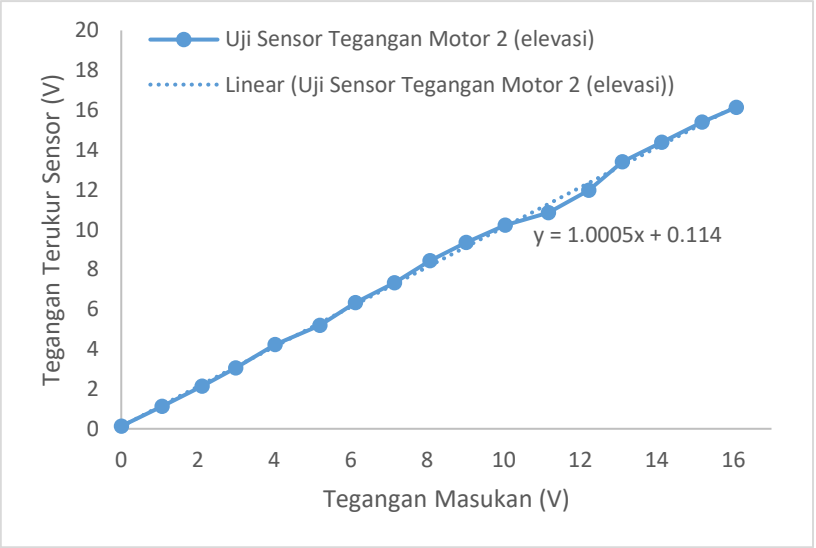
Gambar 4.3 Hasil Uji Sensor Tegangan Motor 1 (*azimuth*)

Gambar 4.3 menunjukkan plot hasil uji sensor tegangan untuk motor 1 (*azimuth*), dengan menggunakan persamaan 4.2

didapatkan nilai linearitas sebesar O_{motor1}= 0.9883*I*+0.13I , sedangkan dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu O_{motor1}= 0.9937I + 0.1091, kedua nilai tersebut saling mendekati antara menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel* dengan selisih kemiringan (*gradien*) sebesar 0,0056 dan selisih zero bias sebesar 0,0219.

Berdasarkan data dari tabel 8 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan motor 1 (*azimuth*) sebesar 0.1192 dimana nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur adalah sebesar 16,02 volt.

Berikutnya untuk hasil uji sensor tegangan pada motor 2 (sudut elevasi) dapat dilihat pada gambar 4.4 sebagai berikut,



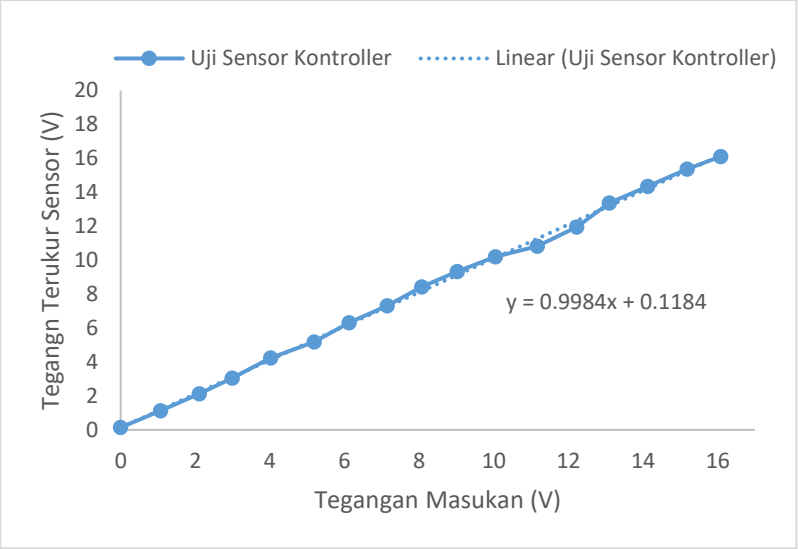
Gambar 4.4 Hasil Uji Sensor Tegangan Motor 2 (Elevasi)

Berdasarkan gambar 4.4 hasil uji sensor tegangan untuk motor 2 (elevasi), dengan menggunakan persamaan 4.2 didapatkan nilai linearitas sebesar O_{motor2}=0.99565*I*+0.129, sedangkan dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu , O_{motor2}= 1.0005*I*+0.114, kedua nilai tersebut saling mendekati antara

menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel*.

Berdasarkan data dari tabel 9 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan motor 2 sebesar 0.1294 dimana nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur adalah sebesar 16,14 volt.

Kemudian untuk hasil uji sensor tegangan pada kontroller dapat dilihat pada gambar 4.5 sebagai berikut,



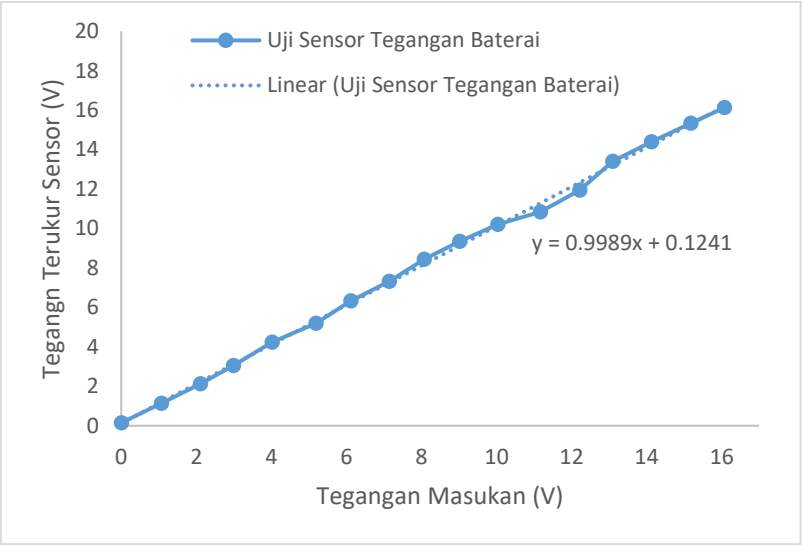
Gambar 4.5 Hasil Uji Sensor Tegangan Kontroller

Berdasarkan gambar 4.5 hasil uji sensor tegangan untuk mikrokontroller arduinio mega 2560, dengan menggunakan persamaan 4.2 didapatkan nilai linearitas sebesar $O_{kontroller}=0.9928I+0.14$, sedangkan dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu $O_{kontroller}= 0.9984I + 0.1184$, kedua nilai tersebut saling mendekati antara menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel*.

Berdasarkan data dari tabel 10 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan kontroller

sebesar 0.1162 dimana nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur adalah sebesar 16,11 volt.

Setelah melakukan pengujian sensor tegangan pada kontroller, selanjutnya dilakukan pengujian sensor tegangan untuk baterai dapat dilihat pada gambar 4.6 sebagai berikut,



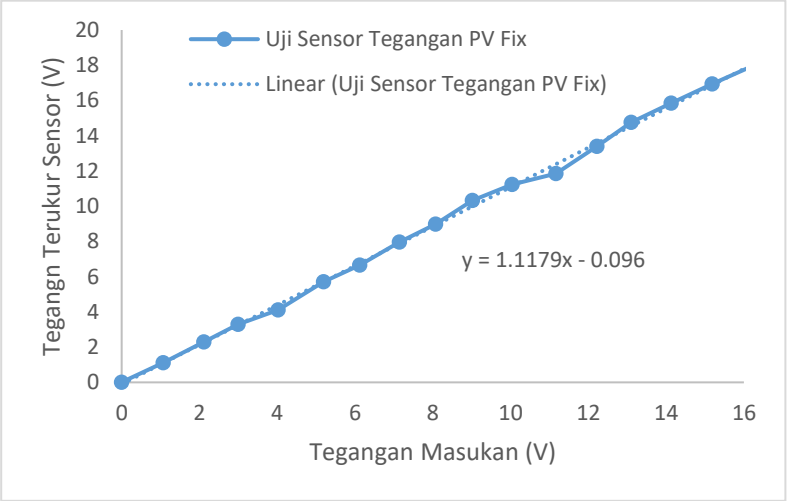
Gambar 4.6 Hasil Uji Sensor Tegangan Baterai

Berdasarkan gambar 4.6 hasil uji sensor tegangan untuk baterai, dengan menggunakan persamaan 4.2 didapatkan nilai linearitas sebesar $O_{baterai}$=0.9940I+0.15, sedangkan dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu $O_{baterai}$= 0.9989*I* + 0.1241, kedua nilai tersebut saling mendekati antara menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel*.

Berdasarkan data dari tabel 11 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan baterai sebesar 0.1204 dimana nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur adalah sebesar 16,57 volt.

Berikutnya untuk hasil uji sensor tegangan PV *fixed* yang menggunakan *voltage devider* dengan hambatan 1:10 didapatkan

hasil pengukuran yang dapat dilihat pada gambar 4.7 sebagai berikut,



Gambar 4.7 Hasil Uji Sensor Tegangan PV *Fix*

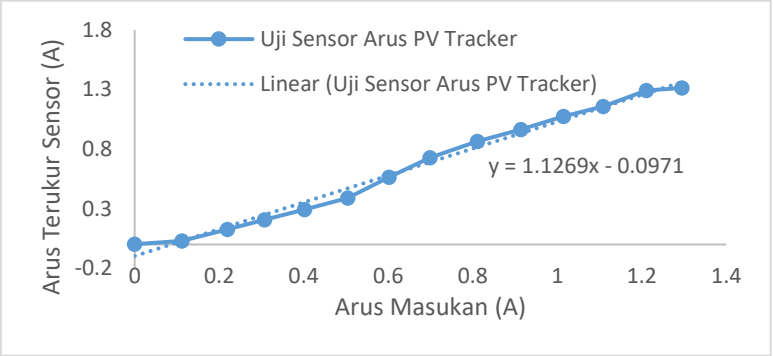
Berdasarkan gambar 4.7 hasil uji sensor tegangan untuk PV *fixed*, dengan menggunakan persamaan 4.2 didapatkan nilai linearitas sebesar $O_{pv\ fixed} = 1.1074I+0.01$, sedangkan dari hasil plot *trendline* pada *software microsoft excel*, yaitu $O_{pv\ fixed} = 1.1167I - 0.0546$, kedua nilai tersebut saling mendekati antara menggunakan persamaan 4.2 dengan plot *trendline* pada *software microsoft excel*.

Berdasarkan data dari tabel 12 pada lampiran B diperoleh nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor tegangan PV *tracking* sebesar 0.1204 dimana nilai rata-rata pembacaan sensor yang terukur adalah sebesar 16,13 volt.

4.2.2 Sensor Arus ACS712

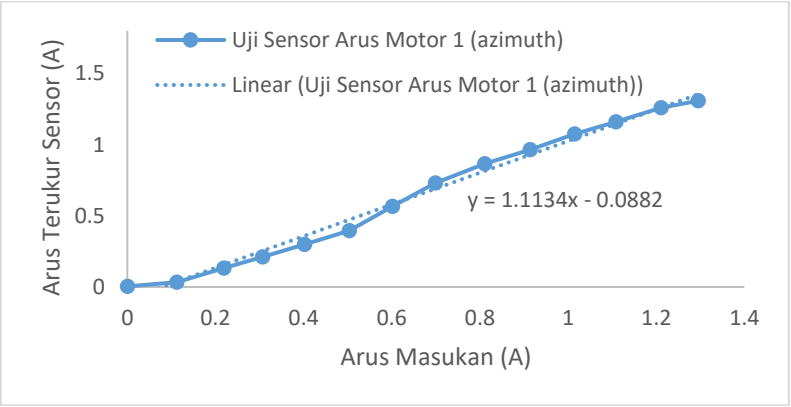
Pengujian sensor arus ACS712 bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor dengan membandingkan arus masukan sensor (dari multimeter) terhadap arus keluaran sensor yang terbaca (terukur). Sistem ini secara keseluruhan menggunakan enam buah sensor arus yang diuji dan dikalibrasi untuk memonitoring kinerja *PV tracking*, *PV fixed*, konsumsi arus motor azimuth, motor

elevasi, kontroller dan baterai. Dilakukan dengan mengambil data arus dari generator antara 0-1,3 Volt sebanyak 14 titik, yakni dengan rentang ± 0,1 A dengan pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali (perdetik) tiap titik. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil uji sensor yaitu hubungan variasi tegangan masukkan terhadap tegangan keluaran sensor sebagai berikut,



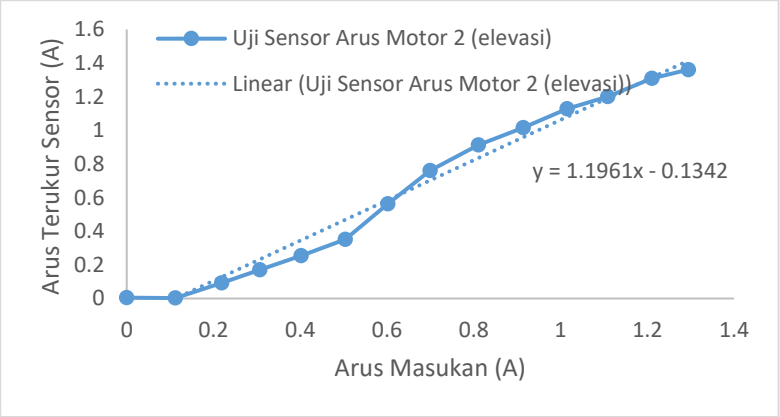
Gambar 4.8 Hasil Uji Sensor Arus PV *Tracker*

Berdasarkan gambar 4.8 dan data dari tabel 1 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas sebesar O=1.1269*I*-0.0971 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus PV *tracking* sebesar 0,0132.



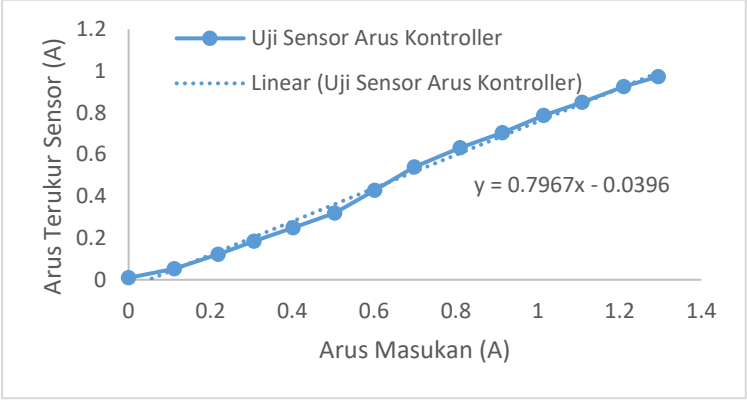
Gambar 4.9 Hasil Uji Sensor Arus Motor 1 (*azimuth*)

Berdasarkan gambar 4.9 dan data dari tabel 2 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas sebesar O=1.1134*I*-0.0882 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus motor 1 (*azimuth*) sebesar 0,0022.



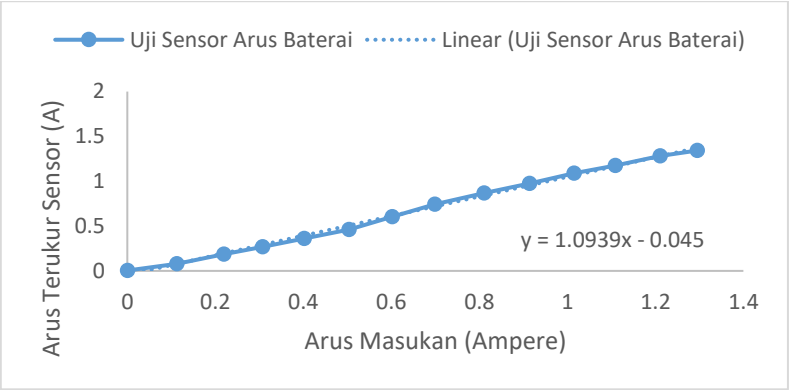
Gambar 4.10 Hasil Uji Sensor Arus Motor 2 (elevasi)

Berdasarkan gambar 4.10 dan data dari tabel 3 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas untuk sensor arus pada motor 2 (elevasi) adalah sebesar O=1.1961*I*-0.1342 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus motor 2 (elevasi) sebesar 0,0045.



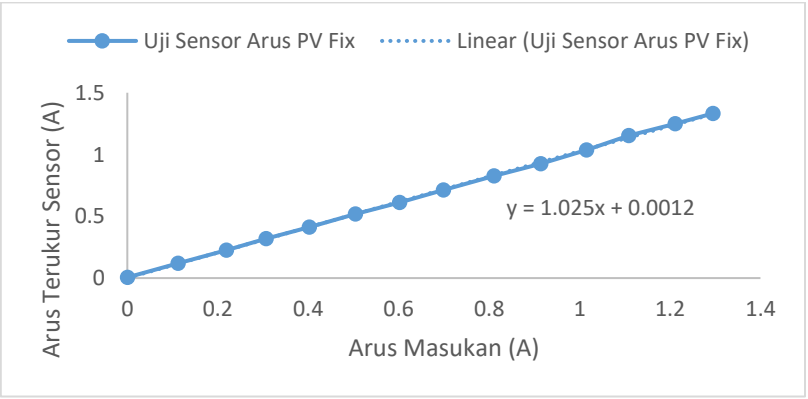
Gambar 4.11 Hasil Uji Sensor Arus Kontroller

Berdasarkan gambar 4.11 dan data dari tabel 4 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas untuk sensor arus pada kontroller sesuai pada persamaan 4.2 adalah sebesar O=0.7967*I*-0.0396 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus kontroller sebesar 0,0037.



Gambar 4.12 Hasil Uji Sensor Arus Baterai

Berdasarkan gambar 4.12 dan data dari tabel 5 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas sebesar O=1.0939*I*-0.045 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus pada baterai sebesar 0,0053.



Gambar 4.13 Hasil Uji Sensor Arus PV *Fix*

Berdasarkan gambar 4.13 dan data dari tabel 6 pada lampiran A diperoleh nilai linearitas sebesar O=1.025*I*=0.0012 dan nilai ketidakpasitian U_{A1} terbesar untuk sensor arus PV *tracking* sebesar 0,007. Sensor tersebut terbilang layak untuk digunakan karena tidak melebihi 5% dari nilai rata–rata pembacaan sensor dan nilai rata–rata koreksi sensor ini tidak melebihi nilai 3 σ.

4.2.3 Uji Sensor CMPS

Kalibrasi sensor sudut CMPS10 bertujuan untuk mengetahui nilai standar deviasi dan ketidakpastian tipe A1 pembacaan sudut *azimuth* dan sudut elevasi pada sistem. Pengambilan data dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan sensor CMPS10 terhadap pembacaan alat ukur standar yaitu busur sebagai referensi standar sudut *pitch* dan kompas digital sebagai referensi sudut *yaw*.

Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada tabel 13 lampiran C, Hasil uji sensor CMPS10 sudut elevasi dan sudut *azimuth* dituliskan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut elevasi

Pembacaan ∠elevasi pada busur (°)	Pembacaan rata-rata ∠elevasi pada sensor (°)	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
0	0	0	0º ± 0º
10	10.04	0.08	10,04º ± 0,08º
20	19.98	0.04	19,98º ± 0,04º
30	27.92	0.16	27,92º ± 0,16º
40	38.26	0.05	38,26º ± 0,05º
50	50.18	0.07	50,18º ± 0,07º
60	56.98	0.04	56,98º ± 0,04º
70	70.12	0.04	70,12º ± 0,04º
80	80.44	0.10	80,44º ± 0,1º
90	89.92	0.07	89,92º ± 0,07º
100	100.22	0.15	100,22º ± 0,15º
110	110.12	0.04	110,12º ± 0,04º
120	120.42	0.07	120,42º ± 0,07º
130	130.20	0.13	130,2º ± 0,13º
140	140.22	0.16	140,22º ± 0,16º
150	149.80	0.11	149,8º ± 0,11º

Tabel 4.2 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut elevasi (Lanjutan)

Pembacaan ∠elevasi pada busur (°)	Pembacaan rata-rata ∠elevasi pada sensor (°)	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
160	159.80	0.09	159,8º ± 0,09º
170	169.36	0.15	169,36º ± 0,15º
180	180.06	0.08	180,06º ± 0,08º
190	190.20	0.14	190,2º ± 0,14º
200	200.38	0.12	200,38º ± 0,12º
210	209.88	0.07	209,88º ± 0,07º
220	219.70	0.06	219,7º ± 0,06º
230	229.84	0.10	229,84º ± 0,1º
240	239.50	0.41	239,5º ± 0,41º
250	249.96	0.05	249,96º ± 0,05º
260	260.14	0.05	260,14º ± 0,05º
270	269.98	0.07	269,98º ± 0,07º
280	279.90	0.06	279,9º ± 0,06º
290	289.86	0.10	289,86º ± 0,1º
300	300.26	0.05	300,26º ± 0,05º
310	309.54	0.08	309,54º ± 0,08º
320	319.52	0.07	319,52º ± 0,07º
330	330.52	0.10	330,52º ± 0,1º
340	340.12	0.07	340,12º ± 0,07º
350	350.02	0.04	350,02º ± 0,04º
360	359.86	0.05	359,86º ± 0,05º

Berdasarkan tabel 4.2 hasil uji sensor CMPS10 pengukuran sudut elevasi dan pada tabel 13 lampiran C, diperoleh nilai ketidakpastian U_{A1} tertinggi sebesar 0,18 pada pengukuran sudut 240° dengan nilai standar deviasi sebesar 0,41. Sehingga hasil pengukuran sesungguhnya adalah 239,5° ± 0,41°. Nilai yang terukur tersebut artinya pada sudut elevasi 239,5° pengukuran sesungguhnya memiliki nilai batas bawah sebesar 239,09° dan batas atas sebesar 239,91°. Sensor tersebut terbilang layak untuk digunakan karena memiliki nilai eror yang kecil, dan tidak melebihi 5% dari nilai rata–rata pembacaan sensor serta memiliki nilai rata–rata koreksi sensor ini tidak melebihi nilai 3 σ.

Tabel 4.3 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut *Azimuth*

Pembacaan ∠ *azimuth* pada busur (°)	Pembacaan rata-rata ∠*azimuth* pada sensor (°)	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
0	0	0	$0^o \pm 0^o$
10	10.00	0.00	$10^o \pm 0^o$
20	19.60	0.00	$19{,}6^o \pm 0^o$
30	30.00	0.00	$30^o \pm 0^o$
40	39.96	0.04	$39{,}96^o \pm 0{,}04^o$
50	50.00	0.00	$50^o \pm 0^o$
60	60.00	0.00	$60^o \pm 0^o$
70	69.90	0.00	$69{,}9^o \pm 0^o$
80	80.00	0.00	$80^o \pm 0^o$
90	90.00	0.00	$90^o \pm 0^o$
100	100.00	0.00	$100^o \pm 0^o$
110	109.80	0.00	$109{,}8^o \pm 0^o$
120	119.90	0.00	$119{,}9^o \pm 0^o$
130	130.00	0.00	$130^o \pm 0^o$
140	139.90	0.00	$139{,}9^o \pm 0^o$
150	149.90	0.00	$149{,}9^o \pm 0^o$
160	159.90	0.00	$159{,}9^o \pm 0^o$
170	169.88	0.04	$169{,}88^o \pm 0{,}04^o$
180	180.20	0.00	$180{,}2^o \pm 0^o$
190	189.82	0.04	$189{,}82^o \pm 0{,}04^o$
200	199.98	0.04	$199{,}98^o \pm 0{,}04^o$
210	209.84	0.04	$209{,}84^o \pm 0{,}04^o$
220	219.90	0.00	$219{,}9^o \pm 0^o$
230	230.00	0.00	$230^o \pm 0^o$
240	240.10	0.00	$240{,}1^o \pm 0^o$
250	250.00	0.00	$250^o \pm 0^o$
260	259.92	0.04	$259{,}92^o \pm 0{,}04^o$
270	269.98	0.04	$269{,}98^o \pm 0{,}04^o$
280	279.92	0.01	$279{,}92^o \pm 0{,}01^o$
290	290.00	0.00	$290^o \pm 0^o$
300	300.00	0.00	$300^o \pm 0^o$
310	310.00	0.00	$310^o \pm 0^o$
320	320.00	0.00	$320^o \pm 0^o$
330	330.00	0.00	$330^o \pm 0^o$

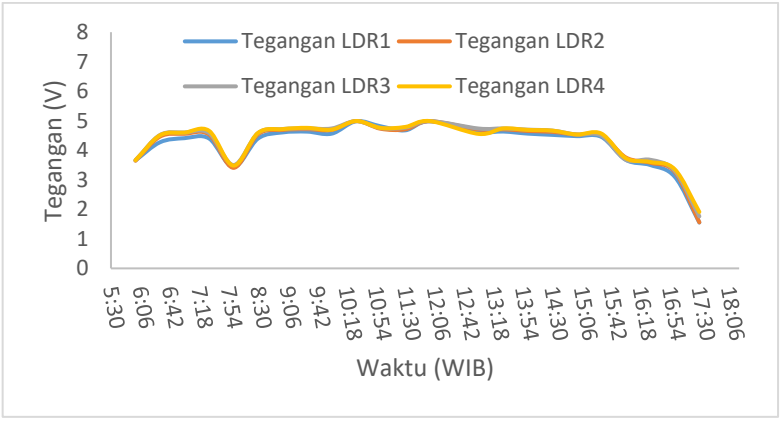
Tabel 4.3 Hasil Uji Sensor CMPS10 Sudut *Azimuth* (Lanjutan)

Pembacaan ∠ *azimuth* pada busur (°)	Pembacaan rata-rata ∠*azimuth* pada sensor (°)	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
340	340.00	0.00	$340^{o} \pm 0^{o}$
350	350.00	0.00	$350^{o} \pm 0^{o}$
360	360.00	0.00	$360^{o} \pm 0^{o}$

Berdasarkan tabel 4.3 hasil uji sensor CMPS sudut *azimuth* diperoleh nilai ketidakpastian U_{A1} tertinggi sebesar 0,022° dan nilai standar deviasi tertinggi sebesar 0,04° pada titik pengukuran sudut $azimuth_{referensi}$ sebesar 40° dengan nilai rata-rata pengukuran sebesar 39,96° . Sehingga nilai pengukuran sesungguhnya adalah 39,96° ± 0,04°.

4.3 Hasil Uji Sistem *Switching* Otomatis

Pada pengujian sistem *switching* otomatis dilakukan dengan uji *tracking* besar tegangan selama satu hari penuh dari pukul 05.30 sampai pukul 17.30 dimana hasil dari uji pada penelitian ini adalah menentukan besar tegangan *treshold* untuk dijadikan parameter *switching* pada *hybrid solar tracker.* Hasil dari uji t*racking* besar tegangan dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini,

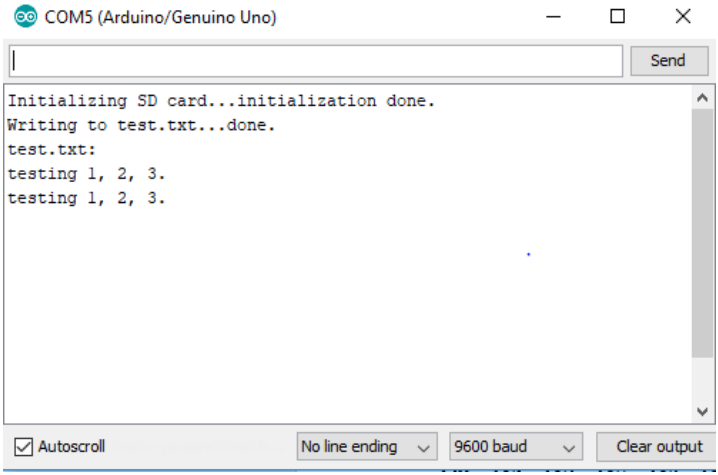


Gambar 4.14 Hasil Uji *Tracking* Tegangan 4 LDR

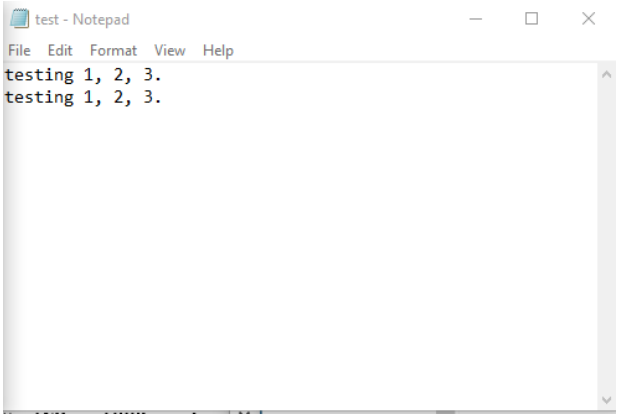
Berdasarkan data pada gambar 4.14 didapatkan pada awal dan akhir pengamatan menunjukkan profil tegangan LDR yang relatif rendah dengan range 2 sampai 4 volt dikarenakan pada awal dan akhir pengamatan posisi dan intensitas cahaya matahari terbilang kurang maksimal. Pada pukul 08.00 WIB terjadi penurunan tegangan diantara kedua sensor LDR disebabkan kondisi cuaca pada saat itu mendung/berawan dengan tegangan rata-rata ke empat LDR sebesar 3,45 volt. Sehingga hasil tersebut dijadikan parameter *switching* sebagai tegangan *treshold* sebesar 3,5 volt.

4.4 Hasil Uji Penyimpanan Micro SD

Dari pengujian ini, *SD Card* digunakan sebagai media penyimpanan data hasil pengukuran pada *solar tracker* dan menggunakannya untuk *back up* data apabila terjadi kerusakan pada perangkat komputer. Dalam pengujiannya *data logger* yang telah dilengkapi dengan *data logger shield* secara otomatis tersimpan dalam *SD Card*. Berikut adalah hasil dari penyimpanan data pada *SD card* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4.15 Hasil Uji Penyimpanan Data Pada *Serial Monitor* Arduino



Gambar 4.16 Hasil Uji Penyimpanan Data Pada MicroSD

Berdasarkan gambar 4.15 dan 4.16 dapat diketahui bahwa data yang tersimpan dalam micro SD dengan nama file adalah "text.txt" bisa tersimpan dengan baik, sesuai pada s*erial monitor* yang ada pada arduino dengan isi file adalah "testing 1, 2, 3 testing 1,2, 3".

4.5 Uji Radio Telemetri

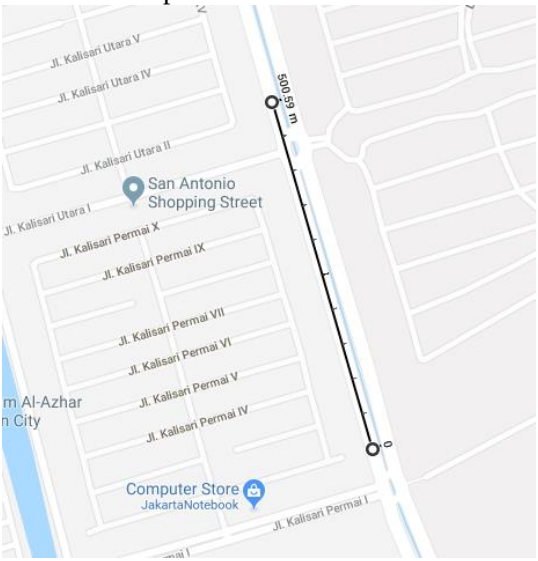
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari modul 3DR Telemetry dengan pengujian jarak dengan penghlang dan tanpa penghalang. Pengujian dilakukan dengan mentransmisi data string berupa data random 10 sampai 30 selama 10 detik. Tiap detik data ditransfer ke *receiver*. Apabila data tiap detik berubah, maka data tersebut diterima dengn baik, namun apabila data tiap detik kosong berarti data tidak terkirim (*losses*). Rumus data *losses* adalah sebagai berikut,

$$Data\ loss = \frac{\text{transmitted} - \text{received}}{\text{transmitted}} \text{ x } 100\% \qquad (4.3)$$

4.5.1 Pengujian Tanpa Penghalang

Pengujian tanpa penghalang dilakukan pada hari minggu tanggal 13 mei 2018 pukul 15.04 WIB di jalan Kalisari Pakuwon

City dapat dilihat pada gambar 4.17. Dimana pengujian ini dilakukan pada tempat terbuka (*outdoor*) dimana dapat diasumsikan efektivitas pemancaran *transmitter* maksimal.



Gambar 4.17 Lokasi Uji Telemetri Tanpa Halangan

Pengujian radio telemetri ini dilakukan pada jarak tiap 50 meter dengan hasil pada tabel 4.4 dibawah ini

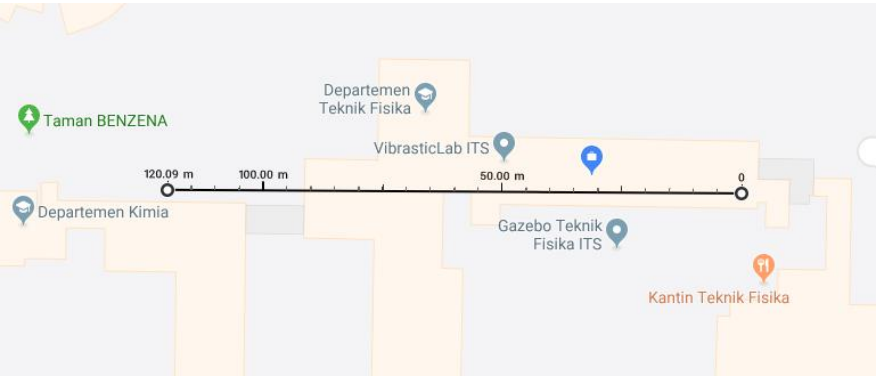
Tabel 4.4 Hasil Uji Telemetri Tanpa Penghalang

Jarak (m)	Jumlah Data String yang Dikirim	Jumlah Data String yang Diterima	Data Losses (%)
50	10	10	0
100	10	10	0
150	10	10	0
200	10	10	0
250	10	10	0
300	10	10	0
350	10	8	20
400	10	0	100

Berdasarkan tabel 4.4 dapat diketahui bahwa performansi dari modul 3DR telemetri dari jarak 50-300 meter sangat bekerja dengan baik, 10 data yang dikirim mampu diterima dengan baik, sedangkan jarak maksimum transmisi data dengan lokasi tanpa penghalang pada modul 3DR Telemetri ini yang dapat dijangkau adalah ± 400 meter. Pada jarak 350 meter terdapat data yang tidak terkirim (*loses*) dikarenakan sudah mendekati batas jarak maksimnya.

4.5.2 Pengujian Dengan Penghalang

Pengujian dengan penghalang dilakukan pada 18 mei 2018 pukul 14.07 WIB sampai selesai di sekitar departemen teknik fisika ITS, dari laboratorium instrumentasi dan kontrol hingga ruang kelas departemen kimia ITS yang bisa dilhihat pada gambar 4.18. Pengujian ini dilakukan dengan adanya penghalang berupa tembok-tembok gedung yang dapat mengasumsikan akan mengurangi efektifitas pemancaran *transmitter*.



Gambar 4.18 Lokasi Uji Telemetri dengan Halangan

Pengujian radio telemetri pada lokasi dengan penghalang pada penelitian ini dilakukan dengan menstransmisikan sejumlah 10 data string acak berupa angka 10-30 dengan jarak tiap 10 meter dengan hasil pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Uji Telemetri Dengan Penghalang

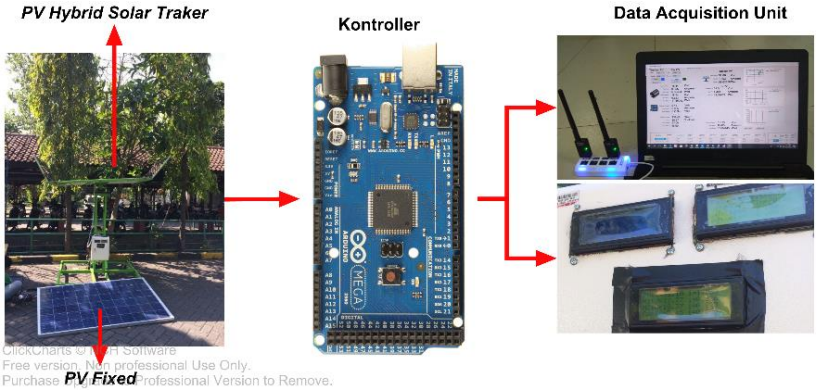
Jarak (m)	Jumlah Data String yang Dikirim	Jumlah Data String yang Diterima	Data Losses (%)
10	10	10	0
20	10	10	0
30	10	10	0
40	10	10	0
50	10	10	0
60	10	10	0
70	10	10	0
80	10	10	0
90	10	10	0
100	10	9	10
110	10	7	30
120	10	0	100

Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui pada lokasi dengan penghalang dengan jarak 10-90 meter *receiver* 3DR telemetri mampu bekerja dengan baik dengan menerima data 100% tanpa *losses.* Jarak maksimum transmisi data dengan lokasi dengan penghalang pada modul 3DR Telemetri yang dapat dijangkau adalah ± 120 meter. Pada jarak 100 dan 110 meter terdapat data yang tidak terkirim (*loses*) dikarenakan sudah mendekati batas jarak maksimnya.

4.6 Hasil Uji Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data pada tugas akhir ini berupa *monitoring* dan *recording* nilai tegangan dan arus pada PV *tracker,* motor *azimuth*, motor elevasi, kontroller, baterai, serta PV *Fix.* Selain itu, variabel yang diukur yaitu sudut *azimuth*¸sudut elevasi, suhu dan intensitas radiasi matahari. Pengambilan data sistem akuisisi data dilakukan saat pengambilan data *mobile hybrid solar tracker* yaitu pada tanggal 11 Juni 2018 dengan rentang waktu penyimpanan data ke *micro SD* dan excel pada *visual basic* tiap 5 detik.

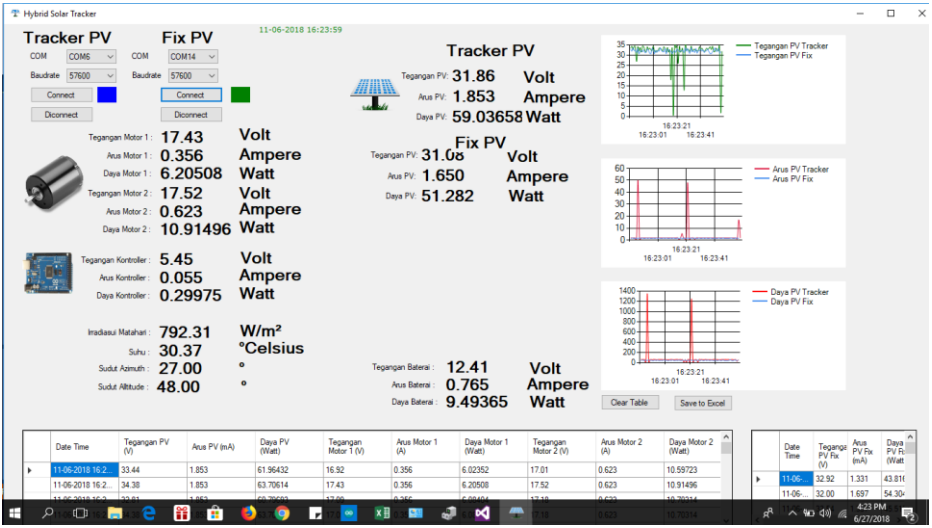
Data awal dari mikrokontroller arduino dikirim oleh *transmitter* 3DR Telemetri dan diterima oleh *receiver* nya agar bisa diolah secara nirkabel dengan *interface* menggunakan program *visual basic* 2015 seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Setup Eksperimen dan Sistem Akuisisi Data *Hybrid Solar Tracker*

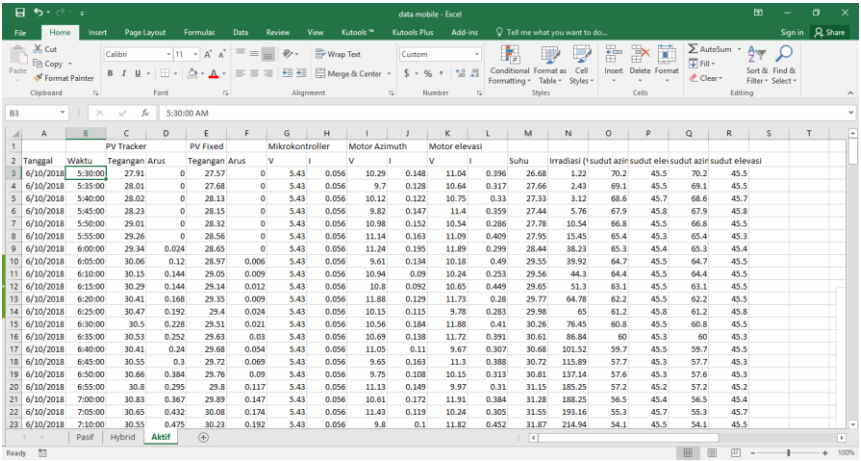
Berdasarkan gambar 4.19 diketahui bahwa sistem akuisisi data *hybrid solar tracker* berupa *monitoring* variabel yang diukur menggunakan display LCD dan *interface* ke *software visual basic* bisa dilihat pada gambar 4.20. Selain itu, sistem *recording* dilakukan pada micro SD berupa .txt file dan pada *software visual basic* berupa *file excel* yang bisa dilihat pada gambar 4.21.

Selain sensor yang telah terpasang secara permanen pada prototipe *hybrid solar tracker*, tersedia pula beberapa peralatan ukur pendukung yang digunakan pada saat eksperimen dilakukan yaitu multimeter digital untuk pengukuran arus dan tegangan *output* PV panel, termometer digital untuk mengukur suhu lingkungan dan permukaan PV panel. Suplai daya untuk komponen elektrik *solar tracker* menggunakan tegangan baterai dengan kapasitas 12 VDC. Pengambilan data secara *realltime* menggunakan PC/notebook dilakukan di laboratorium pengukuran fisis dengan jarak sekitar 10 meter dari prototipe *solar tracker* yang terpasang.



Gambar 4.20 Tampilan *Interface* Sistem Akuisisi Data menggunakan *Visual Basic* 2015

Gambar 4.20 menampilkan informasi yang diterima oleh PC/notebook dengan *interface* pada *software visual basic 2015*, dapat diketahui bahwa variabel-variabel yang diukur pada *hybrid solar tracker* dapat di *monitoring* dengan baik. Variabel-variabel yang diukur adalah besar nilai tegangan PV *tracker*, arus PV t*racker*, daya *PV tracker*, tegangan PV *fixed*, arus PV *fixed*, daya PV *fixed*, tegangan motor sudut *azimuth*, arus motor sudut *azimuth*, daya motor sudut *azimuth*, tegangan motor sudut elevasi, arus motor sudut elevasi, daya motor sudut elevasi, tegangan kontroller, arus kontroller, daya kontroller, tegangan baterai, arus baterai, daya baterai, suhu, intensitas radiasi matahari, sudut *azimuth*, dan sudut elevasi. Untuk membandingkan tegangan, arus, dan daya kedua PV (PV *tracker* dan PV *Fixed*) juga dapat dilihat dalam bentuk grafik pada bagian kanan jendela *visual basic*. Selain itu, dengan menekan *button* "*save to excel"* maka data yang terlampir pada *datagrid visual basic* akan disimpan pada PC/notebook dengan format .xlsx *microsoft excel*.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1			PV Tracker		PV Fixed		Mikrokontroller		Motor Azimuth		Motor elevasi									
2	Tanggal	Waktu	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	V	I	V	I	V	I	Suhu	Irradiasi (W	sudut azim	sudut ele	sudut azim	sudut elevasi		
3	6/10/2018	5:30:00	27.91	0	27.57	0	5.43	0.056	10.29	0.148	11.04	0.396	26.68	1.22	70.2	45.5	70.2	45.5		
4	6/10/2018	5:35:00	28.01	0	27.68	0	5.43	0.056	9.7	0.128	10.64	0.317	27.66	2.43	69.1	45.5	69.1	45.5		
5	6/10/2018	5:40:00	28.02	0	28.13	0	5.43	0.056	10.12	0.122	10.75	0.33	27.33	3.12	68.6	45.7	68.6	45.7		
6	6/10/2018	5:45:00	28.23	0	28.15	0	5.43	0.056	9.82	0.147	11.4	0.359	27.44	5.76	67.9	45.8	67.9	45.8		
7	6/10/2018	5:50:00	29.01	0	28.32	0	5.43	0.056	10.98	0.152	10.54	0.286	27.78	10.54	66.8	45.5	66.8	45.5		
8	6/10/2018	5:55:00	29.26	0	28.56	0	5.43	0.056	11.14	0.163	11.09	0.409	27.95	15.45	65.4	45.3	65.4	45.3		
9	6/10/2018	6:00:00	29.34	0.024	28.65	0	5.43	0.056	11.24	0.195	11.89	0.299	28.44	38.23	65.3	45.4	65.3	45.4		
10	6/10/2018	6:05:00	30.06	0.12	28.97	0.006	5.43	0.056	9.61	0.134	10.18	0.49	29.55	39.92	64.7	45.5	64.7	45.5		
11	6/10/2018	6:10:00	30.15	0.144	29.05	0.009	5.43	0.056	10.94	0.09	10.24	0.253	29.56	44.3	64.4	45.5	64.4	45.5		
12	6/10/2018	6:15:00	30.29	0.144	29.14	0.012	5.43	0.056	10.8	0.092	10.65	0.449	29.65	51.3	63.1	45.5	63.1	45.5		
13	6/10/2018	6:20:00	30.41	0.168	29.35	0.009	5.43	0.056	11.88	0.129	11.73	0.28	29.77	64.78	62.2	45.5	62.2	45.5		
14	6/10/2018	6:25:00	30.47	0.192	29.4	0.024	5.43	0.056	10.15	0.115	9.78	0.283	29.98	65	61.2	45.8	61.2	45.8		
15	6/10/2018	6:30:00	30.5	0.228	29.51	0.021	5.43	0.056	10.56	0.184	11.88	0.41	30.26	76.45	60.8	45.5	60.8	45.5		
16	6/10/2018	6:35:00	30.53	0.252	29.63	0.03	5.43	0.056	10.69	0.138	11.72	0.391	30.61	86.84	60	45.3	60	45.3		
17	6/10/2018	6:40:00	30.41	0.24	29.68	0.054	5.43	0.056	11.05	0.11	9.67	0.307	30.68	101.52	59.7	45.5	59.7	45.5		
18	6/10/2018	6:45:00	30.55	0.3	29.72	0.069	5.43	0.056	9.65	0.163	11.3	0.388	30.72	115.89	57.7	45.3	57.7	45.3		
19	6/10/2018	6:50:00	30.86	0.384	29.76	0.09	5.43	0.056	9.75	0.108	10.15	0.313	30.81	137.14	57.6	45.3	57.6	45.3		
20	6/10/2018	6:55:00	30.8	0.295	29.8	0.117	5.43	0.056	11.13	0.149	9.97	0.31	31.15	185.25	57.2	45.2	57.2	45.2		
21	6/10/2018	7:00:00	30.83	0.367	29.89	0.147	5.43	0.056	10.61	0.172	11.91	0.384	31.28	188.25	56.5	45.4	56.5	45.4		
22	6/10/2018	7:05:00	30.65	0.432	30.08	0.174	5.43	0.056	11.43	0.119	10.24	0.305	31.55	193.16	55.3	45.7	55.3	45.7		
23	6/10/2018	7:10:00	30.55	0.475	30.23	0.192	5.43	0.056	9.8	0.1	11.82	0.452	31.87	214.94	54.1	45.5	54.1	45.5		

Gambar 4.21 Tampilan *Data Logger* Pada *Microsoft Excel*

Gambar 4.21 ditampilkan data logger pada program *microsoft excel* yang sudah diolah. Data logger tersebut meliputi tanggal, waktu, besar nilai tegangan *PV tracker*, arus PV *tracker*, tegangan motor 1 (*azimuth*), arus motor 1 (*azimuth*), tegangan motor 2 (elevasi), arus motor 2 (elevasi) tegangan kontroller, arus kontroller, tegangan baterai, arus baterai, tegangan PV *fixed*, arus PV *fixed*, suhu, intensitas radiasi matahari, sudut *azimuth*, dan sudut elevasi.

Fungsionalitas *data logger* pada penelitian ini menggunakan *Micro SD* yang mempunyai kapasitas sebesar 8 GB sebagai media penyimpanannya. Pencatatan data yang dilakukan selama satu hari (12 jam) membutuhkan ruang penyimpanan data rata-rata sebesar 280 KB = 0,28 MB. *Micro SD* dengan kapasitas 8 GB memiliki nilai kapasitas maksimal 7430 MB, sehingga jumlah perekaman data yang dapat dilakukan dengan menggunakan *Micro SD* yang berkapasitas 8 GB adalah selama 72.7 tahun. Jumlah tersebut sudah sangat cukup digunakan pada alat ini.

Perhitungan jumlah pencatatan pada *Micro SD* adalah sebagai berikut :

$$Lifetime\ micro\ SD = \frac{Kapasitas\ Mico\ SD}{Ukuran\ data\ per\ hari} \qquad (4.4)$$

$$= \frac{7430}{0.28} = 26536\ hari$$

$$= 72{,}7\ Tahun$$

4.7 Hasil Uji Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker*

Pengujian ini dilakukan dengan mengintegrasikan sistem *solar tracker* yang mampu bekerja dalam mode *hybrid* yaitu mengkombinasikan mode aktif dan pasif. Terdapat dua panel surya 250Wp yang digunakan, salah satunya menggunakan *solar tracker* dan lainnya dalam kondisi diletakkan pada posisi tetap (*fixed*).

Solar tracker akan beroperasi secara otomatis menjadi mode aktif ketika tegangan LDR lebih dari 3,5 volt, dan mode pasif akan beroperasi ketika tegangan LDR kurang dari 3,5 volt tergantung pada kondisi sinar matahari saat itu.

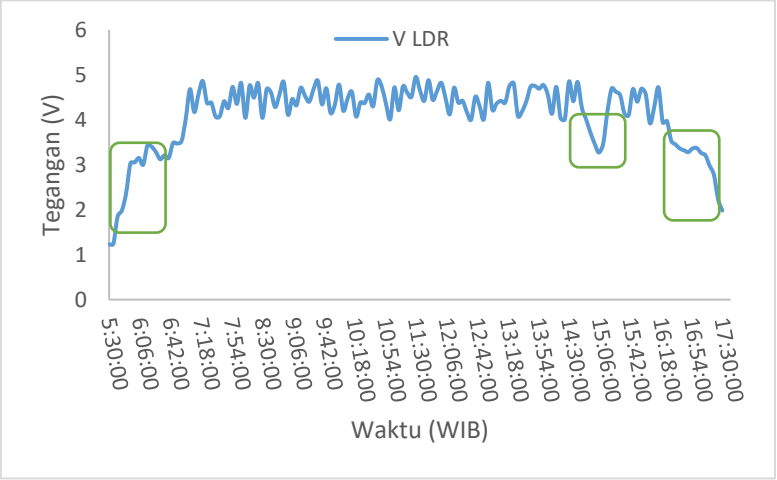
Pada pengujian ini dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian *hybrid solar tracker* tanpa reflektor dan *hybrid solar tracker* dengan reflektor.

4.7.1 Uji Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor

Pengujian performansi PV panel *hybrid solar tracker* ini dilakukan pada hari sabtu tanggal 14 juli 2018 secara *realtime* pada pukul 05.30 sampai dengan 17.30 WIB di parkiran departemen teknik fisika ITS secara *fixed based* (diam) dengan kondisi saat itu cerah berawan. Adapun teknik pengambilan data dilakukan menggunakan sebuah sistem terintegrasi data logger, dengan pengambilan data setiap 5 sekon. Setelah itu data tersebut diolah secara rata-rata dengan periode tiap 5 menit.

Bila pada pengujian mode pasif *solar tracker*, *setpoint* kontrolernya menggunakan sudut *azimuth* dan elevasi sedangkan pada aktif *solar tracker* memanfaatkan tegangan LDR, maka untuk *hybrid solar tracker* ditetapkan mekanisme gabungan dari kedua metode tersebut dengan ketentuan selama rata-rata tegangan 4 LDR diatas nilai ambang (V*threshold* =3.5 V) maka mode aktif *solar tracker* yang beroperasi. Nilai ambang tegangan LDR acuan ditetapkan berdasarkan hasil eksperimen yang menyatakan pada

kondisi tersebut matahari tertutup awan secara penuh. Gambar 4.22 menunjukkan respon *output* tegangan LDR selama 12 jam (05.30-17.30).



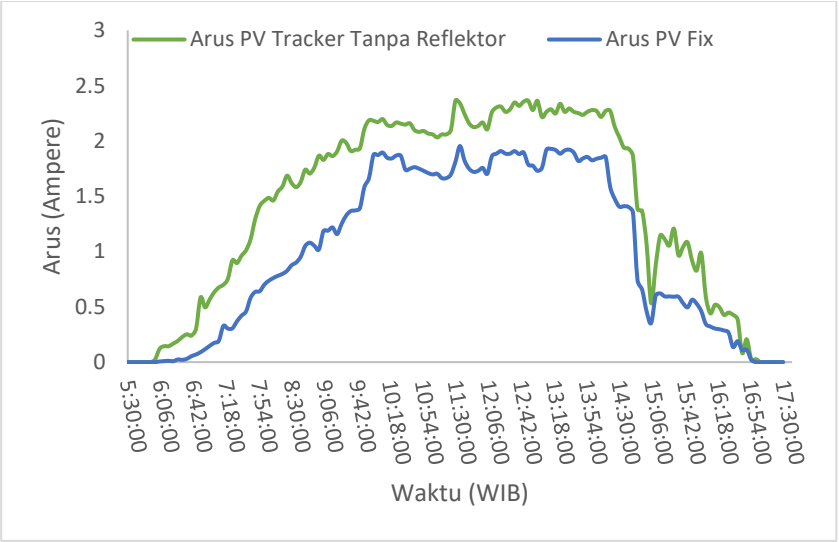
Gambar 4.22 Respon *Output* tegangan LDR

Berdasarkan hasil pengamatan selama eksperimen diketahui bahwa kondisi yang dinyatakan berawan terjadi sebanyak tiga kali dengan waktu yaitu pada pukul 05.30-06.50 WIB, pukul 15.00-15.10 WIB, dan pukul 16.35-17.30 WIB. Pada interval waktu pertama matahari pada waktu *sunrise* sehingga cahaya yang dipancarkan belum maksimal, pada waktu interval kedua diketahui matahari tertutup awan, sedangkan pada waktu interval ketiga waktu sore menjelang *sunset* serta matahari tertutup awan sebagian. Waktu operasi untuk *active solar tracker* lebih banyak dibandingkan dengan *passive solar tracker*, hal ini karena kondisi cerah lebih dominan dibandingkan dengan kondisi berawan.

Parameter dalam pengambilan data ini adalah *output* tegangan dan *output* arus yang dihasilkan. Dari kedua hasil uji tersebut kemudian dihitung berapa daya yang dihasilkan oleh masing-masing *photovoltaic*, baik PV *fixed* dan PV *tracker* tanpa menggunakan reflektor. Sehingga diperoleh data keluaran tegangan, arus, dan daya dari kedua PV adalah sebagai berikut.

- **Arus yang Dihasilkan PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor**

Adapun hasil pengambilan data arus yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* ditunjukkan pada gambar 4.23 sebagai berikut,



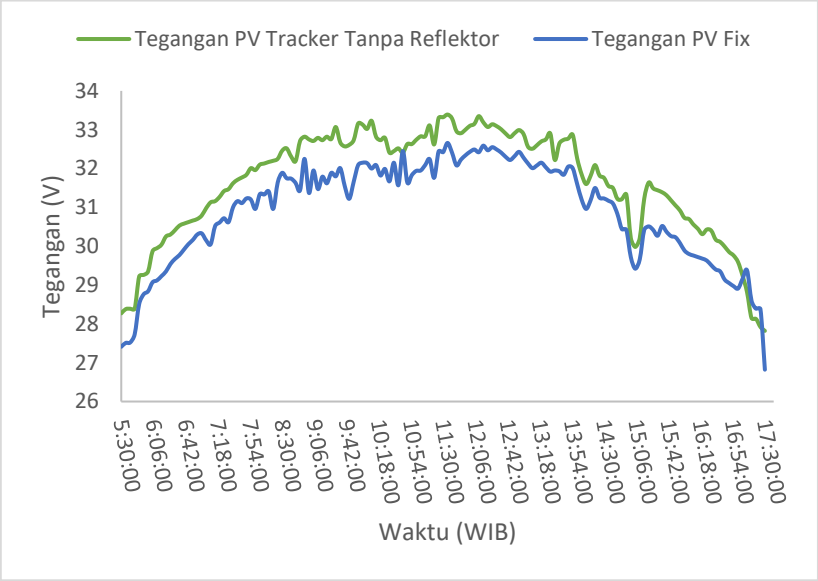
Gambar 4.23 Grafik Hasil Respon Arus *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed*

Gambar 4.23 menunjukkan profil *output* arus PV panel *hybrid solar tracker* dan PV panel *fixed* dimana nilai arus yang dihasilkan kedua PV memiliki pola *trend* yang relatif sama. Selama pengamatan berlangsung *output* arus yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed.* Terlihat pada pukul 14.55 sampai 15.05 WIB mengalami penurunan yang cukup signifikan dikarenakan pada saat itu kondisi mendung matahari ditutup awan sehingga yang beroperasi pada saat itu mode *passive solar tracker*. Arus maksimal terjadi pada pukul 11.30 WIB yaitu 2,364 A untuk PV panel *hybrid solar tracker*. Sedangkan pada PV *fixed* arus maksimal terjadi pada pukul 11.35 WIB, mendekati PV *tracker*,

yakni sebesar 1,954 A. Hal ini sesuai dengan posisi matahari pada saat *solar noon* yaitu terjadi pada saat pukul 11.34 WIB dan pada saat itu kondisi awan cerah serta memiliki intensitas radiasi matahari maksimal sebesar 1003,21 W/m^2. Selisih antara arus yang dihasilkan PV *tracker* dengan PV *fixed* rata-rata sebesar 0,401 A, dengan selisih arus maksimal sebesar 0,86 A yang terjadi pada pukul 08.25 WIB

- **Tegangan yang Dihasilkan Oleh PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor**

Adapun hasil *output* tegangan yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* ditunjukkan pada gambar 4.24 sebagai berikut,



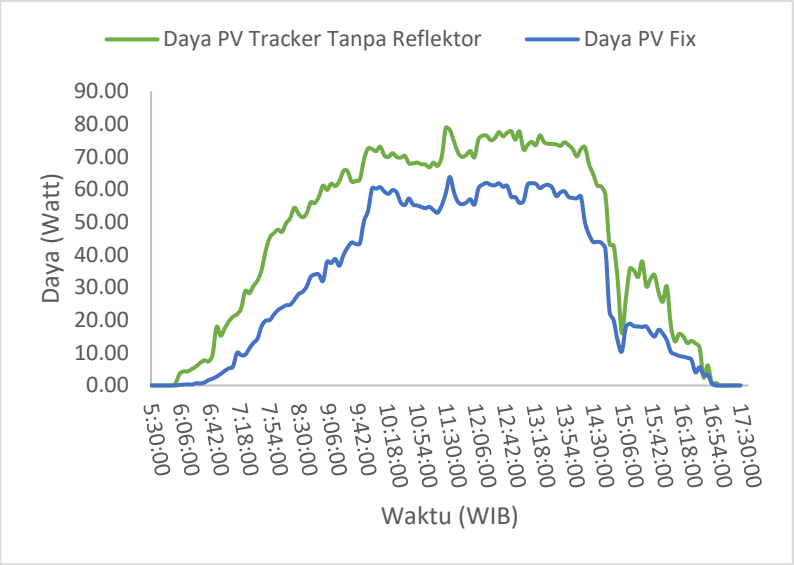
Gambar 4.24 Grafik Hasil Respon Tegangan *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed*

Gambar 4.24 menunjukkan profil *output* tegangan yang dihasilkan oleh PV *solar tracker* tanpa reflektor dan PV *fixed* selama pengambilan pukul 05.30 sampai 17.30 WIB. Berdasarkan pengamatan terhadap grafik tersebut, nilai tegangan yang terukur

relatif cukup sama, dengan selisih rata-rata tegangan hanya sebesar 0,723 V. Dari data pengamatan, selisih maksimal *output* tegangan yang dihasilkan oleh kedua PV sebesar 1,39 V yang terjadi pada pukul 09.45 WIB. *Output* tegangan maksimal yang dihasilkan oleh PV *tracker* tanpa reflektor dan PV *fixed* terjadi pada pukul yang sama yaitu 11.35 WIB, hal tersebut sesuai dengan kondisi *solar noon*,dimana posisi matahari tepat di atas kepala pada garis meridian, sehingga memiliki intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan maksimal sebesar 52,34^{0}C, besar o*utput* tegangan maksimal yang dihasilkan oleh PV *tracker* tanpa reflektor dan PV *fixed* masing-masing sebesar 33,39 V dan 32,66 V.

- **Daya yang Dihasilkan Oleh PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Menggunakan Reflektor**

Adapun data daya yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* dengan mengalikan besar nilai arus dan tegangan yang ditunjukkan pada gambar 4.25 sebagai berikut,



Gambar 4.25 Grafik Hasil Respon Daya *Output* PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor dan PV Panel *Fixed*

Gambar 4.25 menunjukkan hasil daya *output* PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed.* Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa daya yang dihasilkan kedua PV memiliki *trend* yang sama seperti pada grafik arus pada gambar 4.22. *Output* daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed.* Selisih rata-rata *output* daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* dengan PV *fix* sebesar 13,64 watt dengan selisih maksimal yang terjadi pada pukul 09.00 WIB yakni sebesar 29,18 watt. Peningkatan total daya yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dibandingkan dengan PV *fixed* sebesar 42,89%.

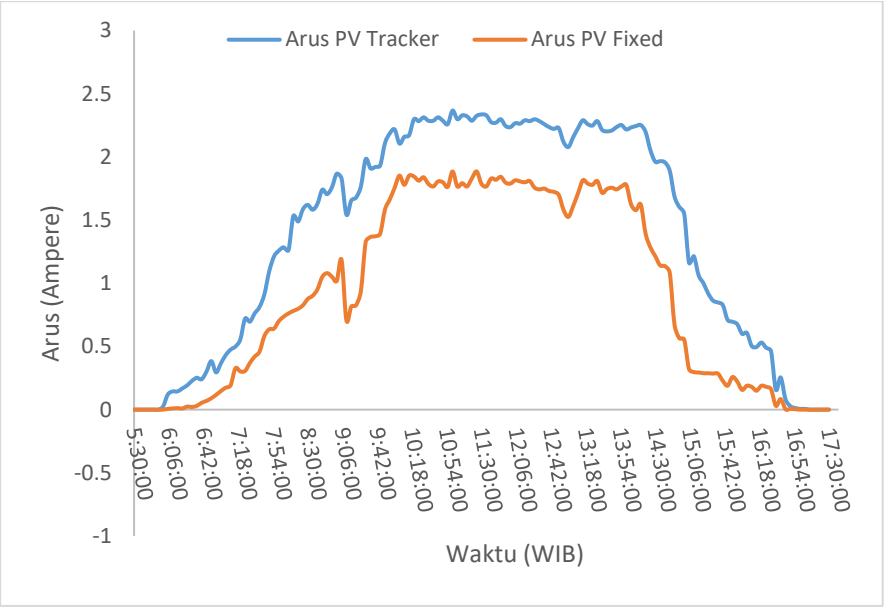
4.7.2 Uji Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker* Dengan Reflektor

Pada pengujian ini digunakan *solar tracker* dengan ditambahkan sebuah reflektor dengan sudut kemiringan sebesar 70˚. Pengambilan data pada pengujian *hybrid solar tracker* ini dilakukan pada hari minggu tanggal 10 juni 2018 secara *realtime* pada pukul 05.30 sampai dengan 17.30 WIB dikawasan sekitar Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember secara *mobile based* (bergerak) dengan kondisi cerah berawan. Adapun teknik pengambilan data dilakukan menggunakan sebuah sistem terintegrasi data logger, dengan periode sampling setiap 5 sekon.

Parameter yang diuji dalam pengambilan uji *mobile active solar tracker* adalah *output* tegangan dan *output* arus yang dihasilkan. Dari kedua hasil uji tersebut kemudian dihitung berapa daya yang dihasilkan oleh masing-masing PV, baik PV *fix* dan PV *mobile* dengan menggunakan reflektor. Sehingga diperoleh data keluaran tegangan, arus, dan daya dari kedua PV adalah sebagai berikut.

- **Arus yang Dihasilkan PV Panel *Hybrid Solar Tracker***

Adapun data arus yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* ditunjukkan pada gambar 4.26 sebagai berikut,



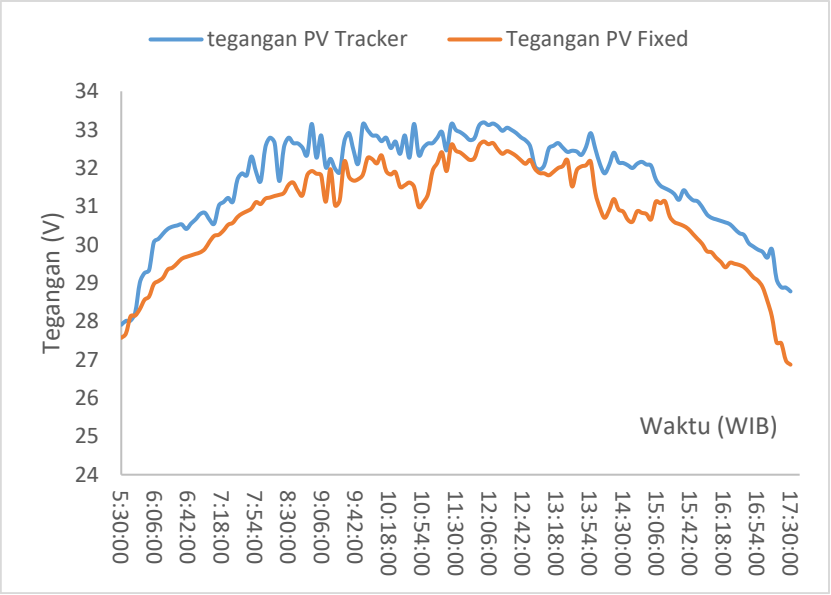
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Output Arus *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Solar Tracker*

Gambar 4.26 menunjukkan profil arus *output* PV dengan *hybrid solar tracker* dan PV *fixed.* Nilai arus yang terukur memiliki *trend* yang relatif sama. Berdasarkan pengamatan grafik, pembacaan arus cenderung fluktuatif dengan rentan waktu yang cepat, hal ini dikarenakan perubahan kondisi cuaca yang relatif cepat juga. *Output* arus yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fix.* Hal ini disebabkan karena pada PV *tracker* selalu mengikuti posisi matahari berbeda dengan PV *fix.* Arus maksimal terjadi pada pukul 11:00 WIB yaitu 2,367 A untuk PV pada *hybrid solar tracker*. Sedangkan pada PV *fixed* arus maksimal terjadi pada waktu yang sama dengan PV *tracker* pukul 11:00 WIB sebesar 1,885 A, kedua PV menghasilkan arus maksimal diwaktu yang sama dikarenakan pada saat pengambilan data pada waktu tersebut saat cuaca cerah dan tidak ada halangan serta memiliki intensitas

radiasi maksimal. Selisih antara arus yang dihasilkan PV *tracker* dengan PV *fixed* rata-rata sebesar 0,451 A, dengan selisih arus maksimal terjadi pada pukul 14:55 WIB dengan selisih arus sebesar 1,039 A.

- **Tegangan yang Dihasilkan PV Panel *Hybrid Solar Tracker***

Adapun data tegangan yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* yang ditunjukkan pada gambar 4.27 sebagai berikut,



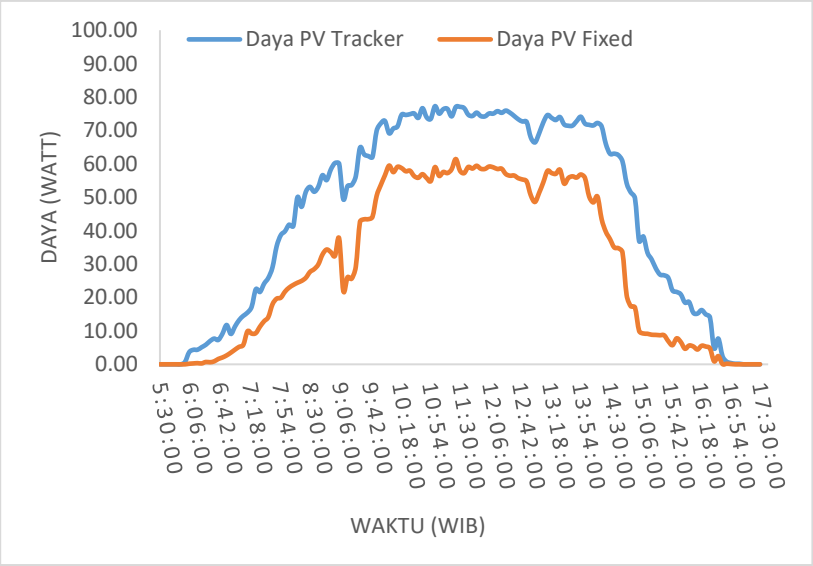
Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Output Tegangan *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Solar Tracker*

Gambar 4.27 menunjukkan profil *output* tegangan yang dihasilkan oleh PV *solar tracker* dengan *reflector* dan PV *fixed* selama pengambilan uji performansi *mobile hybrid solar tracker* dilakukan. Berdasarkan pengamatan terhadap grafik tersebut, nilai tegangan yang terukur relatif cukup sama, dengan selisih rata-rata tegangan yang dihasilkan antara PV panel *hybrid solar tracker* terhadap PV *fixed* hanya sebesar 0,845 V. *Output* tegangan

maksimal yang dihasilkan oleh PV *tracker* dan PV *fixed* terjadi pada pukul yang sama yaitu 11.50 hingga 12.00 WIB, hal tersebut sesuai dengan kondisi *noontime*,dimana posisi matahari tepat di atas kepala pada garis meridian, sehingga radiasi dan suhu lingkungan relatif tinggi. Besar o*utput* tegangan maksimal yang dihasilkan oleh PV *tracker* dan PV *fixed* masing-masing sebesar 33,19 V dan 32,69 V. Berdasarkan pengamatan dilapangan dengan posisi pengambilan data yang berpindah-pindah menyebabkan hasil yang relative fluktuatif terjadi karena selama perjalanan kedua PV mengalami *shadow* atau terkena bayangan. Dari data tersebut, selisih maksimal *output* tegangan yang dihasilkan oleh kedua PV sebesar 1,91V yang terjadi pada pukul 17.25 WIB.

- **Daya yang Dihasilkan PV Panel *Hybrid Solar Tracker***

Adapun data daya yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dan PV *fixed* dengan mengalikan besar nilai arus dan tegangan yang ditunjukkan pada gambar 4.28 sebagai berikut,



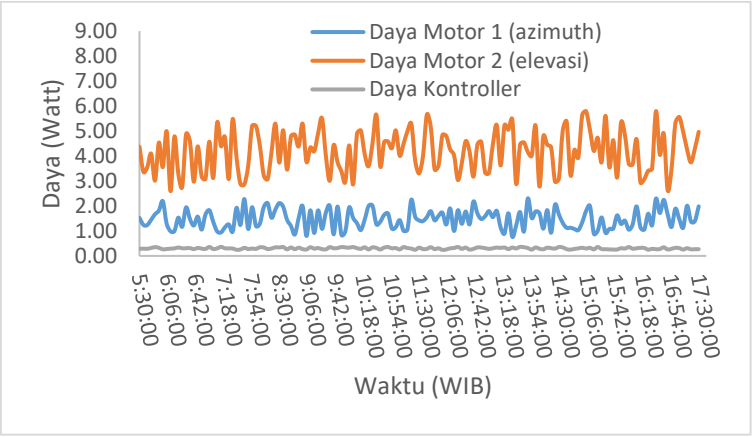
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Daya yang Dihasilkan *PV Fixed* dan *PV* Panel *Hybrid Tracker*

Gambar 4.28 menunjukkan profil daya *output* PV dengan *hybrid solar tracker* dan PV *fixed*. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa daya yang dihasilkan kedua PV memiliki *trend* yang sama. *Output* daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* pada segala kondisi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Selisih rata-rata *output* daya yang dihasilkan oleh PV *tracker* dengan PV *fix* sebesar 15,22 watt dengan selisih maksimal yang terjadi pada pukul 14.55 WIB yakni sebesar 34,07 watt. Peningkatan total daya yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dibandingkan dengan PV *fixed* sebesar 51,56%.

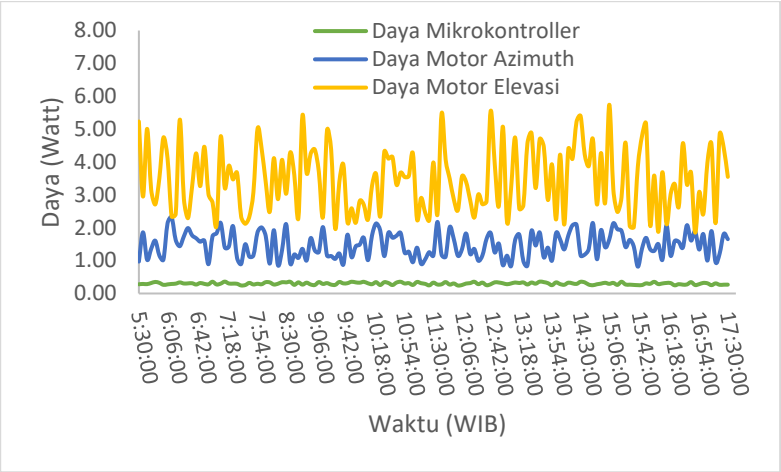
4.8 Analisa Konsumsi Energi dan Peningkatan Performansi PV Panel *Hybrid Solar Tracker*

Konsumsi energi yang dimaksud pada penelitian ini adalah besar energi yang diperlukan dalam mengoperasikan komponen utama pada *hybrid solar tracker*. Dengan tujuan agar dapat mengetahui besar energi yang dapat diteruskan/disimpan (*charging*) pada baterai.

Komponen utama yang dimaksudkan dalam sistem ini adalah komponen elektrik yaitu motor *azimuth*, motor elevasi dan kontroller.



Gambar 4.29 Grafik Besar Daya yang Dibutuhkan Komponen Utama pada *Hybrid Solar Tracker* Dengan Reflektor



Gambar 4.30 Grafik Besar Daya yang Dibutuhkan Komponen Utama pada *Hybrid Solar Tracker* Tanpa Reflektor

Gambar 4.29 dan 4.30 menunjukkan besar daya komponen utama pada *hybrid solar tracker* dengan reflektor dan tanpa reflektor dari data pada lampiran F dan I, untuk mendapatkan besar energi yang dibutuhkan komponen utama dengan mengalikan besar daya dengan waktu pengoperasian komponen, dengan kata lain untuk menghitung besar energi sama dengan menghitung luas dibawah grafik pada gambar 4.29 dan 4.30 pada masing-masing komponen dengan membaginya dalam beberapa elemen (seperti persegi panjang dan trapesium) dengan hasil sebagai berikut,

Tabel 4.6 Besar Konsumsi Energi pada Komponen Utama a. PV Panel Dengan Reflektor dan b. PV Panel Tanpa Reflektor

	Kontroler		**Motor *azimuth***		**Motor elevasi**	
	a.	b.	a.	b.	a.	b.
Energi (Ws)	13136.26	13068.76	63566.63	63643.37	181351.9	149796 5.5
Energi (Wh)	3.65	3.63	17.66	15.68	50.37	43.61

Tabel 4.6 menunjukkan besar konsumsi energi tiap masing-masing komponen utama dengan sumber pada gambar 4.29 dan 4.30,dimana komponen utama (mikrokontroller, motor *azimuth* dan motor elevasi) memiliki garis dengan pola *trend* masing-masing, kemudian dibagi-bagi menjadi 144 buah trapesium dengan tiap buah trapesium memiliki tinggi sebesar 300 satuan sekon (5 menit) dan jumlah sisi yang sejajar adalah nilai $daya_{sebelumnya}$ + $daya_{sesudah}$ sehingga diperoleh energi yang dibutuhkan untuk masing-masing komponen. Diperoleh total konsumsi energi utama untuk PV panel dengan reflektor sebesar 71,68 Wh sedangkan untuk PV panel tanpa reflektor sebesar 62,92 Wh dengan selisih sebesar 8,76 Wh.

Untuk menghitung besar energi yang dihasilkan oleh PV panel tanpa reflektor dan PV panel dengan reflektor, dapat diketahui dengan cara menghitung seperti konsumsi energi dengan membagi menjadi beberapa elemen trapesium untuk mencari luasan dibawah grafik pada gambar 4.25 dan 4.28 dengan data dapat dilihat pada lampiran E dan H dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Besar Energi yang Dihasilkan Oleh Masing-masing PV Panel Dengan Reflektor dan Tanpa Reflektor

	Dengan Reflektor		**Tanpa Reflektor**	
	PV Panel *Tracker*	**PV *Fixed***	**PV Panel *Tracker***	**PV *Fixed***
Energi (Ws)	1945698.37	1283744.69	1984326.25	1388728.82
Energi (Wh)	540.47	356.60	551.20	385.75

Tabel 4.7 menunjukkan besar energi yang dihasilkan oleh masing-masing *photovoltaic* untuk PV panel dengan reflektor dan tanpa reflektor. Didapatkan hasil energi yang lebih besar pada PV panel tanpa reflektor dikarenakan cuaca dalam satu hari penuh pada pengambilan data tanpa reflektor lebih cerah dan panas serta teknik pengambilan data dari PV panel bereflektor dan PV tpanel tanpa

reflektor yang berbeda yaitu *mobile based* (bergerak), dan *fixed base* (diam), sehingga belum tentu peningkatan energinya terhadap PV *fix* lebih besar juga.

Dari tabel 4.7 dapat diketahui selisih untuk PV panel *tracker* dengan reflektor dibanding dengan PV *fixed* sebesar 183.88 Wh sedangkan selisih untuk PV panel *tracker* tanpa reflektor dibanding dengan PV *fixed* sebesar 165,44 Wh. Untuk mengetahui besar peningkatan efisisensi energi dapat diketahui dengan persamaan 4.5 dibawah ini.

$$\eta_{PV} = \frac{W_{pv\ tracker} - W_{pv\ fixed}}{W_{pv\ fixed}}\ x\ 100\% \qquad (4.5)$$

dengan *W*=Energi listrik yang dihasilkan PV

Sehingga Berdasarkan tabel 4.7 serta persamaan 4.5 dapat diketahui besar efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dengan reflektor dibandingkan dengan PV *fixed* adalah sebesar 51,56% sedangkan PV panel *hybrid solar tracker* tanpa reflektor dibandingkan dengan PV *fixed* sebesar 42,88%. Sehingga peningkatan efisiensi energi PV panel dengan reflektor dibanding dengan PV panel tanpa reflektor sebesar 8,68%

Untuk mengetahui besar energi yang dapat diteruskan/disimpan dalam baterai setelah digunakan untuk suplai energi komponen utama *hybrid solar tracker* dengan persamaan 4.6 adalah sebagai berikut:

$$W_{net\ PV\ tracker} = W_{PV\ tracker} - \left(W_{komponen\ utama}\right) \qquad (4.6)$$

Berdasarkan persamaan 4.6 dapat diketahui besar bersih energi yang dapat disimpan dalam baterai yang menunjukkan *hybrid solar tracker* sangat efektif meningkatkan efisiensi energi dimana memiliki hasil output yang besar yaitu 468,79 Wh untuk PV panel dengan reflektor dan 488,28 Wh untuk PV panel tanpa reflektor, dengan efisiensi bersih sebesar 31,46% untuk PV panel dengan reflektor dan 26,58% untuk PV panel tanpa reflektor jika dibandingkan dengan PV *fix* masing-masing. Dibandingkan

dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Much.Faisal pada awal tahun 2018, efisiensi bersih yang dihasilkan pada penelitian tersebut sebesar 27,18% sehingga pada penelitian ini memiliki efisiensi lebih besar dengan selisih sebesar 4,18% untuk PV panel dengan reflektor.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

a. Parameter yang mempengaruhi *switching* pada *hybrid solar tracker* ini adalah intensitas cahaya matahari, dimana intensitas matahari akan mempengaruhi besar tegangan LDR dengan tegangan *treshold* 3,5 Volt yang dijadikan parameter *switching*.
b. Sistem akuisisi data berbasis *wireless* dengan menggunakan modul radio frekuensi 915 MHz dengan *interfacing* menggunakan *visual basic 2015* memiliki performansi jarak maksimal 120 meter apabila lokasi dengan penghalang, dan sejauh 350 meter apabila lokasi bebas tanpa penghalang.
c. Konsumsi energi komponen utama yaitu motor 1 (*azimuth*), motor 2 (elevasi), dan kontroller sebesar 71,68 Wh, sedangkan energi yang dihasilkan oleh PV panel *hybrid solar tracker* dengan reflektor adalah 540,47 Wh, sehingga energi yang dapat disimpan sebesar 468,79 Wh dengan peningkatan efisiensi sebesar 31,46%.
d. Perancangan *hybrid solar tracker* menggunakan PV panel dengan reflektor mendapatkan peningkatan energi yang tinggi dibandingkan dengan photovoltaik yang diletakkan *fixed* yakni mampu mencapai 51,56%, sedangkan untuk *hybrid solar tracker* dengan PV panel tanpa reflektor sebesar 42,88% sehingga peningkatan efisiensi energi pada PV panel dengan reflektor meningkat sebesar 8,68% dibandingkan dengan PV panel tanpa reflektor.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

a. Penelitian kedepan bisa mengembangkan akuisisi data berbasis *Internet of Thing (IoT),* karena *user interface* yang disajikan tidak terjangkau jarak.
b. Apabila transmisi data tetap berbasis gelombang radio, penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan antena *tracker* dimana sinyal yang dipancarkan dan diterima bisa lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Batayneh, A. Owais and M. Nairoukh, "An intelligent fuzzy based tracking controller for a dual-axis solar PV system," *Automation in Construction,* vol. 29, pp. 100-106, 2013.

[2] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.),*, 2015.

[3] R. A. Ferdaus, M. AsifMohammed, S. Rahman, S. Salehin and M. A. Mannan, "Energy Efficient Hybrid Dual Axis Solar Tracking System," *Journal of Renewable Energy,* vol. 2014, p. 12, 2014.

[4] J. K. Tharamuttam and A. K. Ng, "Design and Development of an Automatic Solar Tracker," *Energy Procedia,* vol. 143, pp. 629-634, 2017.

[5] R. A. Nugroho, M. Facta and Yuningtyastuti, "Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector)," *Transient,* vol. 3, pp. 408-413, 2014.

[6] A. Purwadi, Y. Haroen, F. Y. Ali, N. Heryana, D. Nurafiat and A. Assegaf, "Prototype Development of a Low Cost Data Logger for PV Based LED Street Lighting System," *International Conference on Electrical Engineering and Informatics* , Vols. E4 - 2, 2011.

[7] J. Han, I. Lee and S.-H. Kim, "User-Friendly Monitoring System for Residential PV System Based on Low-Cost Power Line Communication," *E Transactions on Consumer Electronics,* vol. 61, no. 2, pp. 175-180, 2016.

[8] O. B. BELGHITH and L. SBITA, "Remote GSM module monitoring and Photovoltaic System Control," *First*

International Conference on Green Energy, pp. 188-192, 2014.

[9] D. S. S. Jain and S. S. Cheema, "Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System," Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala, 2012.

[10] S. Degratu, S. Rizescu, L. Alboteanu, C. Caramida, P. Rotaru, I. Boncea and C. Iancu, "Using a Shape Alloy Memory Spring Actuator to Increase the Performance of Solar Tracking System," 2014.

[11] Mairizwan and Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari," *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains,* p. 2, 2015.

[12] D. Tan and A. K. Seng, Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems, Singapore: Energy Market Authority, 2012.

[13] A. F. Zobaa and R. C. Bansal, Handbook of Renewable Energy, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2011.

[14] Husein, "Weather Monitoring Telemetry System Prototipe Based On XBEE IEE.804.15.4," *Jurnal Aplikasi Fisika,* vol. 6, no. 2, pp. 97-103, 2010.

[15] H. E. Santoso, "Rancang Bangun Solar Tracking System Menggunakan Kontrol PID Pada Sumbu Azimuth," 2012.

[16] Y. A. K. Utama, "Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu dengan Menggunakan Arduino Pro Mini," *e-Jurnal NARODROID,* vol. 2, no. 2, pp. 145-150, 2016.

[17] T. Nusa, S. R. Sompie and M. Rumbayan, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *E-journal Teknik Elektro dan Komputer,* vol. 4, no. 5, pp. 19-26, 2015.

[18] H. Arif, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KONSENTRASI GAS NITROGEN OKSIDA (NOx) SEBAGAI EMISI GAS BUANG MENGGUNAKAN

SENSOR GAS MQ – 135 BERBASIS MIKROKONTROLLER STM32F4 DISCOVERY," 2017.

[19] Arduino, "ArduinoBoardMega," 26 Desember 2017. [Online]. Available: https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega.

[20] Telemetry Group RF Systems Committee, Telemetry ™ Systems Radio Frequency (RF) Handbook, New Mexico: Secretariat Range Commanders Council U.S. Army White Sands Missile Range, 2008.

[21] M. Kresimir, EMI Protection for Communication Systems, Norwood: ARTECH House, 2010.

[22] I. P. G. M. Sanjaya, C. G. I. Partha2 and D. C. Khrisne, "Rancang Bangun Sistem Data Logger Berbasis Visual Pada Solar Cell," *Teknologi Elektro,* vol. 16, pp. 114-121, 2017.

[23] Microsoft, "Visual Basic Guide," 20 Juli 2015. [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic/.

LAMPIRAN

Lampiran A.

Tabel 1. Data kalibrasi sensor arus ACS712-20A (PV *Tracker*)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	**2**	**3**	**4**	**5**				
0	0.003	0.003	0.001	0.004	2E-04	0.0022	0.000002	0.0016	0.0007
0.112	0.034	0.031	0.029	0.028	0.028	0.0299	0.000006	0.0025	0.0011
0.219	0.127	0.124	0.131	0.128	0.13	0.1279	0.000006	0.0025	0.0011
0.307	0.207	0.209	0.208	0.206	0.203	0.2065	0.000005	0.0022	0.001
0.402	0.296	0.296	0.292	0.291	0.29	0.293	0.000007	0.0027	0.0012
0.504	0.389	0.39	0.389	0.389	0.392	0.39	0.000002	0.0014	0.0006
0.602	0.567	0.561	0.562	0.57	0.559	0.5637	0.000018	0.0043	0.0019
0.699	0.729	0.729	0.727	0.726	0.727	0.7275	0.000001	0.0012	0.0005
0.811	0.864	0.866	0.865	0.866	0.865	0.8651	0.000001	0.0008	0.0004
0.914	0.962	0.963	0.963	0.965	0.966	0.9639	0.000003	0.0017	0.0008
1.015	1.077	1.073	1.072	1.075	1.076	1.0744	0.000004	0.0020	0.0009
1.109	1.161	1.16	1.157	1.158	1.157	1.1587	0.000004	0.0019	0.0008
1.211	1.256	1.266	1.305	1.322	1.312	1.2919	0.000871	0.0295	0.0132
1.295	1.297	1.323	1.326	1.297	1.323	1.3132	0.000229	0.0151	0.0068

Tabel 2. Data kalibrasi sensor arus ACS712-20A (Motor 1)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0	0.004	0.005	0.003	0.006	0.003	0.0043	0.000002	0.0013	0.0006
0.112	0.036	0.037	0.036	0.033	0.031	0.0345	0.000007	0.0026	0.0012
0.219	0.131	0.132	0.134	0.135	0.135	0.1334	0.000003	0.0018	0.0008
0.307	0.212	0.214	0.213	0.212	0.208	0.2117	0.000006	0.0025	0.0011
0.402	0.3	0.299	0.299	0.296	0.297	0.298	0.000002	0.0015	0.0007
0.504	0.395	0.394	0.395	0.393	0.397	0.3948	0.000003	0.0017	0.0007
0.602	0.571	0.567	0.564	0.569	0.564	0.5668	0.000009	0.0030	0.0014
0.699	0.732	0.733	0.731	0.729	0.731	0.7313	0.000003	0.0018	0.0008
0.811	0.867	0.866	0.865	0.867	0.865	0.8661	0.000001	0.0009	0.0004
0.914	0.963	0.963	0.967	0.967	0.969	0.9656	0.000007	0.0026	0.0012
1.015	1.078	1.074	1.074	1.076	1.075	1.0753	0.000003	0.0018	0.0008
1.109	1.161	1.161	1.159	1.161	1.159	1.16	0.000002	0.0012	0.0006
1.211	1.258	1.259	1.259	1.26	1.255	1.2582	0.000003	0.0019	0.0008
1.295	1.306	1.317	1.305	1.307	1.305	1.308	0.000025	0.0050	0.0022

Tabel 3. Data kalibrasi sensor arus ACS712-30A (Motor 2)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0	0.007	0.007	0.004	0.007	0.004	0.0056	0.000003	0.0017	0.0008
0.112	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.0024	0.000001	0.0007	0.0003
0.219	0.093	0.095	0.09	0.093	0.09	0.0921	0.000004	0.0020	0.0009
0.307	0.172	0.169	0.172	0.169	0.169	0.17	0.000002	0.0016	0.0007
0.402	0.257	0.257	0.254	0.25	0.252	0.2541	0.000010	0.0031	0.0014
0.504	0.352	0.351	0.352	0.351	0.347	0.3507	0.000004	0.0020	0.0009
0.602	0.565	0.563	0.561	0.562	0.56	0.5621	0.000003	0.0018	0.0008
0.699	0.759	0.761	0.76	0.76	0.761	0.7603	0.000001	0.0007	0.0003
0.811	0.914	0.914	0.915	0.913	0.915	0.9139	0.000000	0.0006	0.0003
0.914	1.014	1.013	1.017	1.017	1.018	1.0158	0.000005	0.0023	0.001
1.015	1.131	1.126	1.129	1.126	1.128	1.128	0.000005	0.0023	0.001
1.109	1.21	1.21	1.193	1.194	1.195	1.2003	0.000074	0.0086	0.0038
1.211	1.31	1.309	1.311	1.307	1.307	1.3086	0.000003	0.0016	0.0007
1.295	1.378	1.351	1.363	1.357	1.358	1.3612	0.000100	0.0100	0.0045

Tabel 4. Data kalibrasi sensor arus ACS712-5A (Kontroller)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0	0.008	0.008	0.006	0.011	0.015	0.0093	0.000012	0.0035	0.0015
0.112	0.054	0.052	0.051	0.052	0.054	0.0524	0.000001	0.0012	0.0005
0.219	0.121	0.117	0.119	0.129	0.125	0.1218	0.000023	0.0048	0.0021
0.307	0.189	0.182	0.181	0.186	0.184	0.1844	0.000011	0.0034	0.0015
0.402	0.251	0.249	0.25	0.246	0.25	0.2491	0.000004	0.0021	0.0009
0.504	0.317	0.317	0.323	0.328	0.311	0.3191	0.000038	0.0062	0.0028
0.602	0.428	0.431	0.427	0.428	0.429	0.4286	0.000002	0.0015	0.0007
0.699	0.539	0.543	0.537	0.541	0.54	0.5399	0.000004	0.0021	0.0009
0.811	0.634	0.627	0.635	0.628	0.635	0.6317	0.000014	0.0038	0.0017
0.914	0.694	0.71	0.708	0.702	0.708	0.7042	0.000045	0.0067	0.003
1.015	0.784	0.788	0.791	0.79	0.786	0.7878	0.000009	0.0030	0.0013
1.109	0.845	0.851	0.845	0.849	0.858	0.8495	0.000031	0.0055	0.0025
1.211	0.923	0.93	0.928	0.918	0.923	0.9243	0.000022	0.0047	0.0021
1.295	0.963	0.97	0.984	0.978	0.972	0.9732	0.000067	0.0082	0.0037

Tabel 5. Data kalibrasi sensor arus ACS712-5A (Baterai)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	**2**	**3**	**4**	**5**				
0	0.004	0.003	0.004	0.006	0.004	0.0041	0.000002	0.0013	0.0006
0.112	0.078	0.078	0.078	0.077	0.077	0.0776	0.000000	0.0004	0.0002
0.219	0.185	0.183	0.185	0.184	0.186	0.1846	0.000002	0.0014	0.0006
0.307	0.268	0.272	0.272	0.269	0.265	0.2692	0.000008	0.0028	0.0013
0.402	0.36	0.359	0.36	0.36	0.36	0.3596	0.0000001	0.0003	0.0001
0.504	0.46	0.461	0.462	0.461	0.463	0.4612	0.000002	0.0013	0.0006
0.602	0.606	0.603	0.599	0.605	0.601	0.6029	0.000008	0.0028	0.0013
0.699	0.743	0.746	0.744	0.741	0.744	0.7438	0.000003	0.0018	0.0008
0.811	0.869	0.87	0.87	0.872	0.868	0.8697	0.000002	0.0012	0.0005
0.914	0.957	0.975	0.978	0.98	0.981	0.974	0.000101	0.0100	0.0045
1.015	1.09	1.088	1.087	1.09	1.091	1.0891	0.000002	0.0013	0.0006
1.109	1.172	1.177	1.175	1.175	1.174	1.1746	0.000004	0.0020	0.0009
1.211	1.277	1.281	1.284	1.284	1.281	1.2812	0.000008	0.0029	0.0013
1.295	1.328	1.354	1.343	1.354	1.334	1.3425	0.000140	0.0118	0.0053

Tabel 6. Data kalibrasi sensor arus ACS712-20A (PV *Fixed*)

I_{ref} (A)	Xi Pembacaan Sensor Arus *ACS712-20A* (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0	0.005	0.003	0.005	0.007	0.007	0.0053	0.000002	0.001394	0.0006
0.112	0.112	0.13	0.12	0.12	0.12	0.1203	0.000042	0.006498	0.0029
0.219	0.21	0.23	0.228	0.23	0.23	0.2256	0.000080	0.008936	0.004
0.307	0.317	0.32	0.32	0.32	0.318	0.319	0.000002	0.001491	0.0007
0.402	0.412	0.412	0.415	0.41	0.415	0.4127	0.000005	0.002236	0.001
0.504	0.517	0.518	0.52	0.52	0.518	0.5187	0.000002	0.001394	0.0006
0.602	0.597	0.61	0.615	0.618	0.62	0.612	0.000088	0.009384	0.0042
0.699	0.685	0.72	0.72	0.72	0.72	0.713	0.000245	0.015652	0.007
0.811	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83	0.826	0.000080	0.008944	0.004
0.914	0.897	0.93	0.93	0.93	0.935	0.9243	0.000244	0.015617	0.007
1.015	1.032	1.035	1.037	1.035	1.038	1.0353	0.000006	0.002472	0.0011
1.109	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16	1.152	0.000020	0.004472	0.002
1.211	1.247	1.25	1.25	1.25	1.25	1.2493	0.000002	0.001491	0.0007
1.295	1.332	1.335	1.332	1.332	1.333	1.3327	0.000002	0.001491	0.0007

Lampiran B.

Tabel 7. Pengambilan data uji sensor tegangan (PV *Tracker*)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.185	0.203	0.122	0.221	0.32	0.21	0.0052	0.0718	0.0321
1.07	1.03	1.05	1.05	1.08	1.05	1.05	0.0003	0.0179	0.0080
2.11	2.03	2.05	2.15	2.13	2.08	2.09	0.0026	0.0512	0.0229
2.99	3.03	3.05	3.15	3.23	3.18	3.13	0.0073	0.0856	0.0383
4.02	4.11	4.15	4.13	4.15	4.18	4.14	0.0007	0.0261	0.0117
5.19	5.13	5.08	5.11	5.18	5.15	5.13	0.0014	0.0381	0.0170
6.12	6.16	6.26	6.21	6.16	6.18	6.19	0.0018	0.0422	0.0189
7.14	7.21	7.26	7.24	7.28	7.21	7.24	0.0010	0.0308	0.0138
8.07	8.31	8.28	8.24	8.26	8.21	8.26	0.0014	0.0381	0.0170
9.02	9.34	9.36	9.31	9.24	9.29	9.31	0.0022	0.0466	0.0208
10.04	10.24	10.34	10.29	10.21	10.31	10.28	0.0028	0.0526	0.0235
11.17	11.29	11.39	11.44	11.31	11.44	11.37	0.0050	0.0709	0.0317
12.22	12.44	12.39	12.44	12.37	12.39	12.41	0.0010	0.0321	0.0144
13.10	13.44	13.47	13.47	13.44	13.37	13.44	0.0017	0.0409	0.0183
14.13	14.47	14.49	14.47	14.49	14.49	14.48	0.0001	0.0110	0.0049
15.18	15.52	15.52	15.52	15.52	15.52	15.52	0.0000	0.0000	0.0000
16.08	16.5	16.5	16.45	16.54	16.54	16.51	0.0014	0.0371	0.0166

Tabel 8. Pengambilan data uji sensor tegangan (Motor 1)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$ σ		U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.12	0.12	0.12	0.11	0.17	0.13	0.0005	0.023	0.0104
1.07	1.16	1.11	1.11	1.10	1.10	1.12	0.0007	0.027	0.0119
2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	0.000002	0.001	0.0007
2.99	3.06	3.01	3.02	3.02	3.05	3.03	0.0005	0.023	0.0103
4.02	3.91	4.25	4.18	4.25	4.27	4.17	0.0228	0.151	0.0675
5.19	5.18	5.16	5.17	5.17	5.18	5.17	0.0001	0.008	0.0037
6.12	6.23	6.23	6.23	6.22	6.50	6.28	0.0150	0.123	0.0548
7.14	7.27	7.29	7.17	7.24	7.44	7.28	0.0101	0.101	0.0451
8.07	8.48	8.43	8.48	8.36	8.19	8.39	0.0148	0.122	0.0543
9.02	9.28	9.29	9.31	9.28	9.28	9.29	0.0002	0.012	0.0056
10.04	10.05	10.00	10.02	10.21	10.44	10.14	0.0344	0.185	0.0829
11.17	10.76	10.87	10.51	10.72	11.03	10.78	0.0365	0.191	0.0855
12.22	11.72	12.01	11.84	11.75	12.04	11.87	0.0220	0.148	0.0663
13.10	13.30	13.19	13.42	13.43	13.18	13.30	0.0141	0.119	0.0530
14.13	14.44	14.29	14.12	14.40	14.14	14.28	0.0216	0.147	0.0657
15.18	15.15	15.36	15.30	15.06	15.59	15.29	0.0414	0.203	0.0910
16.08	15.91	15.81	15.79	16.16	16.41	16.02	0.0710	0.266	0.1192

Tabel 9. Pengambilan data uji sensor tegangan (Motor 2)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.11	0.12	0.12	0.15	0.15	0.13	0.0004	0.0188	0.0084
1.07	1.17	1.14	1.11	1.11	1.11	1.13	0.0007	0.0271	0.0121
2.11	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	0.00001	0.0024	0.0011
2.99	3.08	3.03	3.04	3.03	3.07	3.05	0.0004	0.0207	0.0093
4.02	4.13	4.29	4.21	4.28	4.26	4.23	0.0044	0.0660	0.0295
5.19	5.17	5.20	5.20	5.20	5.21	5.20	0.0003	0.0164	0.0073
6.12	6.27	6.28	6.27	6.28	6.54	6.33	0.0142	0.1193	0.0534
7.14	7.31	7.34	7.20	7.29	7.50	7.33	0.0116	0.1079	0.0483
8.07	8.52	8.47	8.53	8.42	8.23	8.44	0.0148	0.1218	0.0545
9.02	9.34	9.36	9.37	9.34	9.34	9.35	0.0002	0.0144	0.0064
10.04	10.16	10.07	10.09	10.29	10.52	10.22	0.0349	0.1868	0.0835
11.17	10.84	10.93	10.57	10.77	11.12	10.85	0.0412	0.2030	0.0908
12.22	11.81	12.10	11.98	11.83	12.14	11.97	0.0223	0.1493	0.0668
13.10	13.39	13.29	13.51	13.53	13.27	13.40	0.0149	0.1221	0.0546
14.13	14.54	14.40	14.21	14.50	14.23	14.38	0.0226	0.1503	0.0672
15.18	15.25	15.47	15.40	15.17	15.69	15.39	0.0407	0.2018	0.0902
16.08	16.01	15.93	15.90	16.27	16.59	16.14	0.0838	0.2894	0.1294

Tabel 10. Pengambilan data uji sensor tegangan (Kontroller)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.12	0.12	0.12	0.17	0.17	0.14	0.0007	0.0268	0.0120
1.07	1.18	1.14	1.11	1.11	1.11	1.13	0.0009	0.0304	0.0136
2.11	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	0.000003	0.0018	0.0008
2.99	3.08	3.03	3.03	3.03	3.06	3.05	0.0005	0.0234	0.0105
4.02	4.13	4.28	4.21	4.28	4.24	4.23	0.0038	0.0614	0.0275
5.19	5.15	5.18	5.19	5.19	5.20	5.18	0.0004	0.0190	0.0085
6.12	6.26	6.27	6.27	6.27	6.54	6.32	0.0149	0.1223	0.0547
7.14	7.30	7.32	7.19	7.29	7.49	7.32	0.0116	0.1078	0.0482
8.07	8.51	8.42	8.52	8.41	8.23	8.42	0.0137	0.1171	0.0524
9.02	9.34	9.34	9.35	9.33	9.33	9.34	0.0001	0.0090	0.0040
10.04	10.15	10.05	10.07	10.28	10.50	10.21	0.0348	0.1866	0.0834
11.17	10.83	10.91	10.56	10.75	11.11	10.83	0.0411	0.2027	0.0906
12.22	11.79	12.08	12.00	11.80	12.11	11.96	0.0231	0.1518	0.0679
13.10	13.36	13.27	13.48	13.50	13.26	13.37	0.0131	0.1145	0.0512
14.13	14.51	14.37	14.19	14.48	14.20	14.35	0.0225	0.1501	0.0671
15.18	15.22	15.44	15.38	15.14	15.67	15.37	0.0419	0.2047	0.0915
16.08	15.99	15.94	15.87	16.24	16.50	16.11	0.0675	0.2599	0.1162

Tabel 11. Pengambilan data uji sensor tegangan (Baterai)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.13	0.12	0.12	0.17	0.19	0.15	0.001	0.029	0.013
1.07	1.18	1.18	1.12	1.11	1.11	1.14	0.001	0.038	0.017
2.11	2.13	2.14	2.13	2.13	2.13	2.13	0.00001	0.003	0.001
2.99	3.10	3.03	3.04	3.04	3.04	3.05	0.001	0.027	0.012
4.02	4.11	4.29	4.22	4.29	4.26	4.23	0.006	0.075	0.033
5.19	5.15	5.19	5.21	5.21	5.22	5.19	0.001	0.030	0.013
6.12	6.28	6.28	6.28	6.28	6.53	6.33	0.012	0.110	0.049
7.14	7.31	7.35	7.23	7.26	7.50	7.33	0.011	0.105	0.047
8.07	8.53	8.43	8.54	8.48	8.19	8.43	0.020	0.142	0.064
9.02	9.34	9.34	9.35	9.36	9.34	9.35	0.000	0.008	0.004
10.04	10.19	10.05	10.09	10.22	10.52	10.22	0.033	0.183	0.082
11.17	10.81	10.99	10.60	10.73	11.08	10.84	0.037	0.191	0.086
12.22	11.81	12.04	12.08	11.82	12.00	11.95	0.016	0.128	0.057
13.10	13.48	13.28	13.43	13.60	13.27	13.41	0.019	0.137	0.061
14.13	14.50	14.54	14.20	14.49	14.22	14.39	0.026	0.163	0.073
15.18	15.06	15.37	15.48	15.15	15.60	15.33	0.050	0.224	0.100
16.08	16.00	15.97	15.90	16.20	16.57	16.13	0.073	0.269	0.120

Tabel 12. Pengambilan data uji sensor tegangan (PV *Fixed*)

V_{ref} (V)	Xi Pembacaan Sensor Tegangan (V)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi+\overline{Xi})^2}{n-1}$	σ	U_{A1}
	1	2	3	4	5				
0.00	0.12	0.12	0.12	0.17	0.17	0.14	0.0007	0.0268	0.0120
1.07	1.18	1.14	1.11	1.11	1.11	1.13	0.0009	0.0304	0.0136
2.11	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	0.0000	0.0018	0.0008
2.99	3.08	3.03	3.03	3.03	3.06	3.05	0.0005	0.0234	0.0105
4.02	4.13	4.28	4.21	4.28	4.24	4.23	0.0038	0.0614	0.0275
5.19	5.15	5.18	5.19	5.19	5.20	5.18	0.0004	0.0190	0.0085
6.12	6.26	6.27	6.27	6.27	6.54	6.32	0.0149	0.1223	0.0547
7.14	7.30	7.32	7.19	7.29	7.49	7.32	0.0116	0.1078	0.0482
8.07	8.53	8.43	8.54	8.48	8.19	8.43	0.0203	0.1423	0.0637
9.02	9.34	9.34	9.35	9.36	9.34	9.35	0.0001	0.0078	0.0035
10.04	10.19	10.05	10.09	10.22	10.52	10.22	0.0334	0.1828	0.0817
11.17	10.81	10.99	10.60	10.73	11.08	10.84	0.0366	0.1913	0.0855
12.22	11.81	12.04	12.08	11.82	12.00	11.95	0.0165	0.1283	0.0574
13.10	13.48	13.28	13.43	13.60	13.27	13.41	0.0188	0.1373	0.0614
14.13	14.50	14.54	14.20	14.49	14.22	14.39	0.0265	0.1628	0.0728
15.18	15.06	15.37	15.48	15.15	15.60	15.33	0.0502	0.2240	0.1002
16.08	16.00	15.97	15.90	16.20	16.57	16.13	0.0725	0.2693	0.1204

Lampiran C.

Tabel 13. Pengambilan data kalibrasi sudut *azimuth* sensor CMPS10

$\angle_{ref}$ (°)	Xi Pembacaan Sudut *Azimuth* Sensor CMPS10 (°)					$\overline{Xi}$	σ	U_{A1}
	1	**2**	**3**	**4**	**5**			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	10	10	10	10	10	0	0
20	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	0	0
30	30	30	30	30	30	30	0	0
40	40	40	40	39.9	39.9	39.96	0.049	0.022
50	50	50	50	50	50	50	0	0
60	60	60	60	60	60	60	0	0
70	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	69.9	0	0
80	80	80	80	80	80	80	0	0
90	90	90	90	90	90	90	0	0
100	100	100	100	100	100	100	0	0
110	109.8	109.8	109.8	109.8	109.8	109.8	0	0
120	119.9	119.9	119.9	119.9	119.9	119.9	0	0
130	130	130	130	130	130	130	0	0
140	139.9	139.9	139.9	139.9	139.9	139.9	0	0
150	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9	149.9	0	0
160	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9	159.9	0	0
170	169.9	169.9	169.9	169.9	169.8	169.88	0.040	0.018
180	180.2	180.2	180.2	180.2	180.2	180.2	0.000	0.000
190	189.8	189.8	189.8	189.8	189.9	189.82	0.040	0.018
200	200	200	200	200	199.9	199.98	0.040	0.018
210	209.8	209.8	209.8	209.9	209.9	209.84	0.049	0.022
220	219.9	219.9	219.9	219.9	219.9	219.9	0	0
230	230	230	230	230	230	230	0	0
240	240.1	240.1	240.1	240.1	240.1	240.1	0	0
250	250	250	250	250	250	250	0	0
260	259.9	259.9	259.9	259.9	260	259.92	0.040	0.018
270	270	269.9	270	270	270	269.98	0.040	0.018
280	280	279.9	279.9	279.9	279.9	279.92	0.040	0.018
290	290	290	290	290	290	290	0	0
300	300	300	300	300	300	300	0	0
310	310	310	310	310	310	310	0	0
320	320	320	320	320	320	320	0	0
330	330	330	330	330	330	330	0	0
340	340	340	340	340	340	340	0	0
350	350	350	350	350	350	350	0	0
360	360	360	360	360	360	360	0	0

Lampiran D.

Tabel 14. Pengambilan data kalibrasi sudut *elevasi* sensor CMPS10

$\angle_{ref}$ (°)	Xi Pembacaan Sudut *Yaw* Sensor CMPS10 (°)					$\overline{Xi}$	σ	U_{A1}
	1	**2**	**3**	**4**	**5**			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9.9	10	10.1	10.1	10.1	10.04	0.080	0.036
20	20	20	20	19.9	20	19.98	0.040	0.018
30	27.6	28	28	28	28	27.92	0.160	0.072
40	38.2	38.2	38.3	38.3	38.3	38.26	0.049	0.022
50	50.1	50.1	50.2	50.2	50.3	50.18	0.075	0.033
60	57	57	57	57	56.9	56.98	0.040	0.018
70	70.1	70.2	70.1	70.1	70.1	70.12	0.040	0.018
80	80.4	80.4	80.3	80.6	80.5	80.44	0.102	0.046
90	89.9	89.8	89.9	90	90	89.92	0.075	0.033
100	100.4	100.3	100.3	100	100.1	100.22	0.147	0.066
110	110.1	110.2	110.1	110.1	110.1	110.12	0.040	0.018
120	120.5	120.5	120.4	120.4	120.3	120.42	0.075	0.033
130	130.3	130.1	130.1	130.1	130.4	130.2	0.126	0.057
140	140.1	140.4	140.4	140.2	140	140.22	0.160	0.072
150	149.9	149.8	149.8	149.9	149.6	149.8	0.110	0.049
160	159.9	159.9	159.7	159.7	159.8	159.8	0.089	0.040
170	169.4	169.6	169.4	169.2	169.2	169.36	0.150	0.067
180	180.1	180	180	180	180.2	180.06	0.080	0.036
190	190.4	190	190.2	190.1	190.3	190.2	0.141	0.063
200	200.4	200.5	200.5	200.2	200.3	200.38	0.117	0.052
210	209.8	209.9	209.9	210	209.8	209.88	0.075	0.033
220	219.7	219.7	219.8	219.6	219.7	219.7	0.063	0.028
230	229.8	229.8	229.7	229.9	230	229.84	0.102	0.046
240	239.8	239.8	238.7	239.6	239.6	239.5	0.410	0.183
250	249.9	250	250	249.9	250	249.96	0.049	0.022
260	260.1	260.1	260.2	260.2	260.1	260.14	0.049	0.022
270	270.1	270	269.9	269.9	270	269.98	0.075	0.033
280	279.8	279.9	279.9	279.9	280	279.9	0.063	0.028
290	289.9	289.9	289.8	289.7	290	289.86	0.102	0.046
300	300.2	300.2	300.3	300.3	300.3	300.26	0.049	0.022
310	309.7	309.5	309.5	309.5	309.5	309.54	0.080	0.036
320	319.6	319.5	319.5	319.6	319.4	319.52	0.075	0.033
330	330.4	330.4	330.6	330.6	330.6	330.52	0.098	0.044
340	340.1	340.2	340.2	340.1	340	340.12	0.075	0.033
350	350.1	350	350	350	350	350.02	0.040	0.018
360	359.9	359.8	359.9	359.8	359.9	359.86	0.049	0.022

Lampiran E.

Tabel 15. Pengambilan data *mobile hybrid solar tracker* dengan reflektor

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
6/10/2018	5:30:00	27.91	0	0.00	27.57	0	0.00
6/10/2018	5:35:00	28.01	0	0.00	27.68	0	0.00
6/10/2018	5:40:00	28.02	0	0.00	28.13	0	0.00
6/10/2018	5:45:00	28.23	0	0.00	28.15	0	0.00
6/10/2018	5:50:00	29.01	0	0.00	28.32	0	0.00
6/10/2018	5:55:00	29.26	0	0.00	28.56	0	0.00
6/10/2018	6:00:00	29.34	0.024	0.70	28.65	0	0.00
6/10/2018	6:05:00	30.06	0.12	3.61	28.97	0.006	0.17
6/10/2018	6:10:00	30.15	0.144	4.34	29.05	0.009	0.26
6/10/2018	6:15:00	30.29	0.144	4.36	29.14	0.012	0.35
6/10/2018	6:20:00	30.41	0.168	5.11	29.35	0.009	0.26
6/10/2018	6:25:00	30.47	0.192	5.85	29.4	0.024	0.71
6/10/2018	6:30:00	30.5	0.228	6.95	29.51	0.021	0.62
6/10/2018	6:35:00	30.53	0.252	7.69	29.63	0.03	0.89
6/10/2018	6:40:00	30.41	0.24	7.30	29.68	0.054	1.60
6/10/2018	6:45:00	30.55	0.3	9.17	29.72	0.069	2.05
6/10/2018	6:50:00	30.66	0.384	11.77	29.76	0.09	2.68
6/10/2018	6:55:00	30.8	0.295	9.09	29.8	0.117	3.49
6/10/2018	7:00:00	30.83	0.367	11.31	29.89	0.147	4.39
6/10/2018	7:05:00	30.65	0.432	13.24	30.08	0.174	5.23
6/10/2018	7:10:00	30.55	0.475	14.51	30.23	0.192	5.80
6/10/2018	7:15:00	31.02	0.499	15.48	30.26	0.327	9.90
6/10/2018	7:20:00	31.11	0.553	17.20	30.37	0.303	9.20
6/10/2018	7:25:00	31.22	0.72	22.48	30.52	0.306	9.34
6/10/2018	7:30:00	31.12	0.696	21.66	30.57	0.369	11.28
6/10/2018	7:35:00	31.7	0.762	24.16	30.72	0.42	12.90
6/10/2018	7:40:00	31.86	0.812	25.87	30.81	0.459	14.14
6/10/2018	7:45:00	31.81	0.912	29.01	30.87	0.582	17.97
6/10/2018	7:50:00	32.3	1.093	35.30	30.94	0.635	19.65
6/10/2018	7:55:00	31.9	1.212	38.66	31.11	0.641	19.94
6/10/2018	8:00:00	31.66	1.258	39.83	31.06	0.7	21.74
6/10/2018	8:05:00	32.54	1.285	41.81	31.2	0.736	22.96
6/10/2018	8:10:00	32.79	1.262	41.38	31.23	0.761	23.77
6/10/2018	8:15:00	32.65	1.532	50.02	31.27	0.781	24.42
6/10/2018	8:20:00	31.66	1.489	47.14	31.3	0.798	24.98
6/10/2018	8:25:00	32.54	1.586	51.61	31.35	0.826	25.90
6/10/2018	8:30:00	32.79	1.62	53.12	31.56	0.876	27.65
6/10/2018	8:35:00	32.65	1.582	51.65	31.62	0.901	28.49
6/10/2018	8:40:00	32.64	1.628	53.14	31.41	0.952	29.90
6/10/2018	8:45:00	32.53	1.74	56.60	31.29	1.05	32.85
6/10/2018	8:50:00	32.34	1.705	55.14	31.81	1.08	34.35

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
6/10/2018	8:55:00	33.15	1.759	58.31	31.92	1.052	33.58
6/10/2018	9:00:00	32.27	1.867	60.25	31.85	1.019	32.46
6/10/2018	9:05:00	32.85	1.828	60.05	31.81	1.185	37.69
6/10/2018	9:10:00	32.02	1.543	49.41	31.12	0.706	21.97
6/10/2018	9:15:00	32.24	1.654	53.32	31.97	0.815	26.06
6/10/2018	9:20:00	31.98	1.678	53.66	31.03	0.826	25.63
6/10/2018	9:25:00	31.89	1.765	56.29	31.16	0.937	29.20
6/10/2018	9:30:00	32.7	1.982	64.81	32.17	1.326	42.66
6/10/2018	9:35:00	32.91	1.909	62.83	31.77	1.366	43.40
6/10/2018	9:40:00	32.45	1.921	62.34	31.67	1.372	43.45
6/10/2018	9:45:00	32.12	1.932	62.06	31.71	1.392	44.14
6/10/2018	9:50:00	33.14	2.109	69.89	31.83	1.584	50.42
6/10/2018	9:55:00	32.99	2.186	72.12	32.26	1.664	53.68
6/10/2018	10:00:00	32.85	2.217	72.83	32.23	1.756	56.60
6/10/2018	10:05:00	32.84	2.105	69.13	32.12	1.852	59.49
6/10/2018	10:10:00	32.7	2.159	70.60	32.33	1.779	57.52
6/10/2018	10:15:00	32.79	2.171	71.19	31.92	1.852	59.12
6/10/2018	10:20:00	32.52	2.298	74.73	31.83	1.845	58.73
6/10/2018	10:25:00	32.69	2.283	74.63	31.89	1.812	57.78
6/10/2018	10:30:00	32.37	2.313	74.87	31.51	1.839	57.95
6/10/2018	10:35:00	32.85	2.286	75.10	31.55	1.786	56.35
6/10/2018	10:40:00	32.27	2.286	73.77	31.62	1.766	55.84
6/10/2018	10:45:00	33.15	2.313	76.68	31.51	1.806	56.91
6/10/2018	10:50:00	32.34	2.286	73.93	30.99	1.799	55.75
6/10/2018	10:55:00	32.53	2.259	73.49	31.11	1.763	54.85
6/10/2018	11:00:00	32.64	2.367	77.26	31.32	1.885	59.04
6/10/2018	11:05:00	32.65	2.298	75.03	31.93	1.766	56.39
6/10/2018	11:10:00	32.79	2.329	76.37	32.13	1.792	57.58
6/10/2018	11:15:00	32.94	2.321	76.45	32.41	1.766	57.24
6/10/2018	11:20:00	32.46	2.286	74.20	31.92	1.829	58.38
6/10/2018	11:25:00	33.14	2.325	77.05	32.6	1.885	61.45
6/10/2018	11:30:00	32.99	2.336	77.06	32.45	1.786	57.96
6/10/2018	11:35:00	32.93	2.329	76.69	32.4	1.766	57.22
6/10/2018	11:40:00	32.84	2.275	74.71	32.3	1.829	59.08
6/10/2018	11:45:00	32.73	2.271	74.33	32.21	1.819	58.59
6/10/2018	11:50:00	32.78	2.298	75.33	32.26	1.842	59.42
6/10/2018	11:55:00	33.11	2.244	74.30	32.59	1.796	58.53
6/10/2018	12:00:00	33.19	2.236	74.21	32.69	1.789	58.48
6/10/2018	12:05:00	33.12	2.267	75.08	32.62	1.815	59.21
6/10/2018	12:10:00	33.16	2.263	75.04	32.65	1.806	58.97
6/10/2018	12:15:00	33.09	2.29	75.78	32.49	1.799	58.45
6/10/2018	12:20:00	32.97	2.283	75.27	32.37	1.809	58.56
6/10/2018	12:25:00	33.05	2.298	75.95	32.44	1.756	56.96
6/10/2018	12:30:00	32.99	2.283	75.32	32.39	1.743	56.46
6/10/2018	12:35:00	32.91	2.259	74.34	32.31	1.749	56.51

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
6/10/2018	12:40:00	32.8	2.236	73.34	32.2	1.73	55.71
6/10/2018	12:45:00	32.72	2.221	72.67	32.11	1.723	55.33
6/10/2018	12:50:00	32.56	2.229	72.58	32.21	1.7	54.76
6/10/2018	12:55:00	32.05	2.118	67.88	31.98	1.581	50.56
6/10/2018	13:00:00	31.96	2.078	66.41	31.87	1.525	48.60
6/10/2018	13:05:00	32.07	2.156	69.14	31.86	1.611	51.33
6/10/2018	13:10:00	32.51	2.227	72.40	31.81	1.712	54.46
6/10/2018	13:15:00	32.58	2.29	74.61	31.9	1.815	57.90
6/10/2018	13:20:00	32.65	2.259	73.76	32	1.789	57.25
6/10/2018	13:25:00	32.53	2.248	73.13	32.05	1.779	57.02
6/10/2018	13:30:00	32.42	2.283	74.01	32.2	1.809	58.25
6/10/2018	13:35:00	32.45	2.213	71.81	31.52	1.716	54.09
6/10/2018	13:40:00	32.43	2.202	71.41	31.94	1.746	55.77
6/10/2018	13:45:00	32.34	2.209	71.44	32.04	1.756	56.26
6/10/2018	13:50:00	32.55	2.236	72.78	32.07	1.743	55.90
6/10/2018	13:55:00	32.91	2.252	74.11	32.17	1.766	56.81
6/10/2018	14:00:00	32.5	2.217	72.05	31.36	1.779	55.79
6/10/2018	14:05:00	32.1	2.233	71.68	30.95	1.624	50.26
6/10/2018	14:10:00	31.86	2.244	71.49	30.7	1.578	48.44
6/10/2018	14:15:00	32.08	2.252	72.24	30.91	1.624	50.20
6/10/2018	14:20:00	32.4	2.198	71.22	31.19	1.393	43.45
6/10/2018	14:25:00	32.15	2.053	66.00	30.92	1.284	39.70
6/10/2018	14:30:00	32.13	1.962	63.04	30.86	1.215	37.49
6/10/2018	14:35:00	32.07	1.966	63.05	30.65	1.142	35.00
6/10/2018	14:40:00	32	1.957	62.62	30.6	1.136	34.76
6/10/2018	14:45:00	32.11	1.892	60.75	30.87	1.086	33.52
6/10/2018	14:50:00	32.16	1.686	54.22	30.83	0.672	20.72
6/10/2018	14:55:00	32.09	1.603	51.44	30.8	0.564	17.37
6/10/2018	15:00:00	32.06	1.551	49.73	30.66	0.555	17.02
6/10/2018	15:05:00	31.71	1.163	36.88	31.12	0.321	9.99
6/10/2018	15:10:00	31.54	1.214	38.29	31.08	0.297	9.23
6/10/2018	15:15:00	31.47	1.062	33.42	31.13	0.294	9.15
6/10/2018	15:20:00	31.41	1	31.41	30.74	0.288	8.85
6/10/2018	15:25:00	31.32	0.917	28.72	30.59	0.288	8.81
6/10/2018	15:30:00	31.17	0.862	26.87	30.54	0.285	8.70
6/10/2018	15:35:00	31.42	0.848	26.64	30.49	0.285	8.69
6/10/2018	15:40:00	31.27	0.828	25.89	30.41	0.228	6.93
6/10/2018	15:45:00	31.16	0.71	22.12	30.28	0.189	5.72
6/10/2018	15:50:00	31.13	0.696	21.67	30.15	0.258	7.78
6/10/2018	15:55:00	30.98	0.676	20.94	30.02	0.222	6.66
6/10/2018	16:00:00	30.79	0.6	18.47	29.83	0.156	4.65
6/10/2018	16:05:00	30.7	0.607	18.63	29.8	0.189	5.63
6/10/2018	16:10:00	30.66	0.503	15.42	29.66	0.18	5.34
6/10/2018	16:15:00	30.62	0.496	15.19	29.55	0.15	4.43
6/10/2018	16:20:00	30.58	0.531	16.24	29.41	0.189	5.56

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
6/10/2018	16:25:00	30.53	0.489	14.93	29.53	0.18	5.32
6/10/2018	16:30:00	30.41	0.462	14.05	29.5	0.162	4.78
6/10/2018	16:35:00	30.3	0.158	4.79	29.47	0.03	0.88
6/10/2018	16:40:00	30.25	0.255	7.71	29.41	0.084	2.47
6/10/2018	16:45:00	30.04	0.082	2.46	29.29	0.003	0.09
6/10/2018	16:50:00	29.95	0.027	0.81	29.15	0.006	0.17
6/10/2018	16:55:00	29.87	0.013	0.39	29.06	0.003	0.09
6/10/2018	17:00:00	29.81	0.006	0.18	28.89	0	0.00
6/10/2018	17:05:00	29.66	0.006	0.18	28.54	0	0.00
6/10/2018	17:10:00	29.88	0	0.00	28.12	0	0.00
6/10/2018	17:15:00	29.1	0	0.00	27.45	0	0.00
6/10/2018	17:20:00	28.89	0	0.00	27.43	0	0.00
6/10/2018	17:25:00	28.88	0	0.00	26.98	0	0.00
6/10/2018	17:30:00	28.78	0	0.00	26.87	0	0.00

Lampiran F.

Tabel 16. Pengambilan data tegangan, arus, dan daya pada komponen utama pada PV panel *hybrid solar tracker* dengan reflektor

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
5:30:00	5.41	0.052	0.28	10.29	0.148	1.52	11.04	0.396	4.37
5:35:00	5.48	0.053	0.29	9.7	0.128	1.24	10.64	0.317	3.37
5:40:00	5.48	0.052	0.28	10.12	0.122	1.23	10.75	0.33	3.55
5:45:00	5.39	0.059	0.32	9.82	0.147	1.44	11.4	0.359	4.09
5:50:00	5.41	0.065	0.35	10.98	0.152	1.67	10.54	0.286	3.01
5:55:00	5.49	0.059	0.32	11.14	0.163	1.82	11.09	0.409	4.54
6:00:00	5.48	0.048	0.26	11.24	0.195	2.19	11.89	0.299	3.56
6:05:00	5.43	0.051	0.28	9.61	0.134	1.29	10.18	0.49	4.99
6:10:00	5.48	0.053	0.29	10.94	0.09	0.98	10.24	0.253	2.59
6:15:00	5.35	0.056	0.30	10.8	0.092	0.99	10.65	0.449	4.78
6:20:00	5.35	0.063	0.34	11.88	0.129	1.53	11.73	0.28	3.28
6:25:00	5.43	0.056	0.30	10.15	0.115	1.17	9.78	0.283	2.77
6:30:00	5.5	0.056	0.31	10.56	0.184	1.94	11.88	0.41	4.87
6:35:00	5.39	0.058	0.31	10.69	0.138	1.48	11.72	0.391	4.58
6:40:00	5.46	0.05	0.27	11.05	0.11	1.22	9.67	0.307	2.97
6:45:00	5.41	0.059	0.32	9.65	0.163	1.57	11.3	0.388	4.38
6:50:00	5.41	0.054	0.29	9.75	0.108	1.05	10.15	0.313	3.18
6:55:00	5.47	0.051	0.28	11.13	0.149	1.66	9.97	0.31	3.09
7:00:00	5.42	0.066	0.36	10.61	0.172	1.82	11.91	0.384	4.57
7:05:00	5.48	0.05	0.27	11.43	0.119	1.36	10.24	0.305	3.12
7:10:00	5.36	0.056	0.30	9.8	0.1	0.98	11.82	0.452	5.34
7:15:00	5.48	0.066	0.36	10.34	0.091	0.94	11.06	0.397	4.39
7:20:00	5.43	0.056	0.30	10.58	0.108	1.14	9.63	0.494	4.76
7:25:00	5.36	0.056	0.30	11.45	0.11	1.26	9.97	0.309	3.08
7:30:00	5.47	0.054	0.30	11.29	0.086	0.97	11.88	0.461	5.48
7:35:00	5.43	0.045	0.24	10.71	0.18	1.93	10.63	0.369	3.92
7:40:00	5.47	0.047	0.26	10.75	0.115	1.24	10.5	0.274	2.88
7:45:00	5.37	0.06	0.32	11.98	0.19	2.28	11.44	0.25	2.86
7:50:00	5.49	0.05	0.27	10.16	0.106	1.08	11.66	0.31	3.61
7:55:00	5.38	0.055	0.30	11.96	0.163	1.95	10.68	0.487	5.20
8:00:00	5.41	0.052	0.28	10.15	0.118	1.20	11.04	0.471	5.20
8:05:00	5.47	0.063	0.34	9.84	0.131	1.29	11.61	0.38	4.41
8:10:00	5.36	0.063	0.34	11.55	0.169	1.95	9.56	0.337	3.22
8:15:00	5.46	0.05	0.27	10.94	0.193	2.11	10.24	0.3	3.07
8:20:00	5.49	0.054	0.30	11.06	0.138	1.53	9.69	0.429	4.16
8:25:00	5.47	0.063	0.34	10.74	0.173	1.86	11.46	0.462	5.29
8:30:00	5.45	0.062	0.34	10.84	0.195	2.11	10.28	0.363	3.73
8:35:00	5.48	0.065	0.36	11.73	0.168	1.97	11.98	0.42	5.03
8:40:00	5.49	0.048	0.26	11.28	0.128	1.44	11.32	0.305	3.45
8:45:00	5.38	0.063	0.34	9.68	0.124	1.20	10.85	0.441	4.78

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
8:50:00	5.39	0.05	0.27	9.61	0.089	0.86	11.42	0.425	4.85
8:55:00	5.49	0.06	0.33	10.88	0.14	1.52	11.01	0.398	4.38
9:00:00	5.47	0.05	0.27	10.35	0.193	2.00	11.56	0.458	5.29
9:05:00	5.37	0.048	0.26	9.6	0.083	0.80	10.76	0.35	3.77
9:10:00	5.43	0.064	0.35	10.42	0.175	1.82	9.5	0.457	4.34
9:15:00	5.48	0.053	0.29	11.04	0.083	0.92	9.73	0.431	4.19
9:20:00	5.35	0.059	0.32	10.13	0.18	1.82	11.21	0.438	4.91
9:25:00	5.41	0.05	0.27	10.03	0.108	1.08	11.78	0.468	5.51
9:30:00	5.35	0.049	0.26	10.72	0.162	1.74	9.76	0.41	4.00
9:35:00	5.4	0.065	0.35	11.75	0.17	2.00	10.71	0.281	3.01
9:40:00	5.48	0.056	0.31	10.41	0.083	0.86	11.8	0.376	4.44
9:45:00	5.41	0.058	0.31	10.08	0.196	1.98	9.72	0.386	3.75
9:50:00	5.41	0.066	0.36	9.94	0.085	0.84	11.68	0.29	3.39
9:55:00	5.46	0.062	0.34	11.63	0.084	0.98	10.38	0.285	2.96
10:00:00	5.39	0.061	0.33	10.29	0.189	1.94	11.17	0.396	4.42
10:05:00	5.47	0.065	0.36	11.89	0.128	1.52	11.33	0.252	2.86
10:10:00	5.44	0.057	0.31	11.71	0.112	1.31	11.52	0.424	4.88
10:15:00	5.43	0.052	0.28	11.23	0.092	1.03	10.27	0.489	5.02
10:20:00	5.48	0.063	0.35	9.59	0.152	1.46	10.13	0.402	4.07
10:25:00	5.38	0.048	0.26	10.53	0.19	2.00	10.99	0.327	3.59
10:30:00	5.46	0.063	0.34	10.37	0.194	2.01	11.33	0.397	4.50
10:35:00	5.41	0.059	0.32	11.2	0.113	1.27	11.85	0.477	5.65
10:40:00	5.48	0.047	0.26	10.86	0.126	1.37	10.43	0.343	3.58
10:45:00	5.37	0.062	0.33	11.15	0.147	1.64	10.87	0.419	4.55
10:50:00	5.48	0.065	0.36	10.4	0.163	1.70	10.48	0.437	4.58
10:55:00	5.43	0.056	0.30	11.17	0.098	1.09	9.6	0.449	4.31
11:00:00	5.43	0.058	0.31	10.83	0.106	1.15	10.28	0.489	5.03
11:05:00	5.41	0.048	0.26	9.56	0.15	1.43	10.84	0.37	4.01
11:10:00	5.5	0.064	0.35	9.66	0.104	1.00	11.93	0.376	4.49
11:15:00	5.41	0.058	0.31	10.84	0.097	1.05	9.96	0.501	4.99
11:20:00	5.42	0.054	0.29	11.85	0.19	2.25	11.76	0.45	5.29
11:25:00	5.36	0.046	0.25	9.76	0.16	1.56	10.85	0.35	3.80
11:30:00	5.42	0.061	0.33	10.59	0.134	1.42	10.58	0.312	3.30
11:35:00	5.35	0.051	0.27	11.32	0.123	1.39	10.62	0.376	3.99
11:40:00	5.49	0.051	0.28	10.92	0.142	1.55	11.86	0.477	5.66
11:45:00	5.35	0.065	0.35	11.34	0.158	1.79	11	0.47	5.17
11:50:00	5.41	0.05	0.27	10.24	0.139	1.42	10.02	0.346	3.47
11:55:00	5.46	0.056	0.31	10.82	0.148	1.60	9.97	0.362	3.61
12:00:00	5.39	0.045	0.24	9.61	0.18	1.73	9.95	0.486	4.84
12:05:00	5.49	0.047	0.26	11.01	0.114	1.26	10.86	0.442	4.80
12:10:00	5.41	0.056	0.30	9.81	0.194	1.90	10.23	0.417	4.27
12:15:00	5.36	0.059	0.32	11.33	0.088	1.00	11.26	0.358	4.03
12:20:00	5.42	0.066	0.36	11.3	0.162	1.83	10.58	0.287	3.04
12:25:00	5.35	0.053	0.28	11.46	0.112	1.28	11.29	0.329	3.71
12:30:00	5.43	0.061	0.33	10.47	0.17	1.78	11.6	0.396	4.59

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
12:35:00	5.47	0.046	0.25	11.19	0.113	1.26	11.08	0.377	4.18
12:40:00	5.5	0.051	0.28	11.78	0.185	2.18	11.88	0.267	3.17
12:45:00	5.49	0.062	0.34	11.23	0.152	1.71	11.61	0.383	4.45
12:50:00	5.38	0.062	0.33	10.87	0.136	1.48	9.88	0.462	4.56
12:55:00	5.46	0.057	0.31	9.85	0.161	1.59	10.78	0.31	3.34
13:00:00	5.42	0.052	0.28	11.8	0.152	1.79	10.48	0.317	3.32
13:05:00	5.46	0.056	0.31	9.86	0.157	1.55	11.63	0.384	4.47
13:10:00	5.48	0.061	0.33	10.42	0.173	1.80	10.98	0.477	5.24
13:15:00	5.5	0.058	0.32	11.23	0.101	1.13	10.34	0.35	3.62
13:20:00	5.43	0.062	0.34	9.85	0.091	0.90	10.43	0.502	5.24
13:25:00	5.37	0.051	0.27	9.65	0.177	1.71	10.45	0.483	5.05
13:30:00	5.39	0.062	0.33	9.54	0.08	0.76	11.87	0.46	5.46
13:35:00	5.42	0.055	0.30	9.59	0.127	1.22	11.21	0.257	2.88
13:40:00	5.47	0.066	0.36	10.39	0.169	1.76	11.34	0.393	4.46
13:45:00	5.49	0.063	0.35	11.2	0.087	0.97	10.33	0.44	4.55
13:50:00	5.44	0.058	0.32	11.92	0.193	2.30	11.81	0.352	4.16
13:55:00	5.49	0.046	0.25	10.9	0.139	1.52	10.2	0.393	4.01
14:00:00	5.38	0.063	0.34	10.35	0.172	1.78	10.67	0.489	5.22
14:05:00	5.39	0.053	0.29	10.33	0.165	1.70	10.16	0.273	2.77
14:10:00	5.41	0.049	0.27	11.97	0.091	1.09	10.97	0.437	4.79
14:15:00	5.4	0.061	0.33	10.36	0.177	1.83	10	0.444	4.44
14:20:00	5.42	0.057	0.31	10.64	0.087	0.93	10.66	0.408	4.35
14:25:00	5.39	0.054	0.29	10.74	0.191	2.05	10.9	0.273	2.98
14:30:00	5.48	0.065	0.36	11.93	0.139	1.66	11.29	0.274	3.09
14:35:00	5.37	0.063	0.34	10.54	0.125	1.32	11.69	0.43	5.03
14:40:00	5.4	0.05	0.27	9.94	0.113	1.12	11.43	0.47	5.37
14:45:00	5.47	0.046	0.25	10.07	0.112	1.13	11.8	0.273	3.22
14:50:00	5.41	0.052	0.28	10.25	0.105	1.08	9.63	0.441	4.25
14:55:00	5.36	0.056	0.30	11.23	0.092	1.03	11.19	0.352	3.94
15:00:00	5.43	0.06	0.33	11.09	0.121	1.34	11.3	0.499	5.64
15:05:00	5.35	0.055	0.29	10.89	0.165	1.80	11.99	0.483	5.79
15:10:00	5.38	0.06	0.32	10.19	0.196	2.00	11.59	0.435	5.04
15:15:00	5.46	0.048	0.26	10.33	0.086	0.89	10.69	0.393	4.20
15:20:00	5.41	0.066	0.36	10.06	0.1	1.01	10.99	0.43	4.73
15:25:00	5.46	0.05	0.27	10.62	0.145	1.54	10.1	0.371	3.75
15:30:00	5.38	0.05	0.27	10.39	0.089	0.92	11.4	0.492	5.61
15:35:00	5.43	0.048	0.26	9.95	0.109	1.08	11.22	0.316	3.55
15:40:00	5.41	0.047	0.25	11.27	0.097	1.09	11.76	0.394	4.63
15:45:00	5.46	0.047	0.26	10.27	0.158	1.62	11.41	0.275	3.14
15:50:00	5.49	0.056	0.31	10.56	0.121	1.28	11.12	0.479	5.33
15:55:00	5.36	0.055	0.29	11.77	0.12	1.41	10.01	0.483	4.83
16:00:00	5.38	0.066	0.36	11.51	0.091	1.05	10.75	0.343	3.69
16:05:00	5.4	0.053	0.29	9.94	0.127	1.26	10.23	0.359	3.67
16:10:00	5.36	0.057	0.31	10.33	0.192	1.98	10.03	0.466	4.67
16:15:00	5.44	0.059	0.32	9.99	0.114	1.14	11.3	0.26	2.94

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
16:20:00	5.48	0.058	0.32	10.79	0.098	1.06	11.6	0.265	3.07
16:25:00	5.4	0.046	0.25	9.94	0.17	1.69	10.23	0.334	3.42
16:30:00	5.47	0.052	0.28	9.8	0.125	1.23	11.64	0.3	3.49
16:35:00	5.48	0.049	0.27	11.59	0.198	2.29	11.54	0.502	5.79
16:40:00	5.38	0.051	0.27	11	0.156	1.72	10.83	0.374	4.05
16:45:00	5.48	0.063	0.35	11.75	0.191	2.24	11.49	0.426	4.89
16:50:00	5.35	0.048	0.26	10.02	0.166	1.66	9.82	0.268	2.63
16:55:00	5.47	0.052	0.28	10.31	0.112	1.15	9.54	0.364	3.47
17:00:00	5.46	0.059	0.32	11.26	0.168	1.89	11.33	0.469	5.31
17:05:00	5.45	0.057	0.31	10.68	0.138	1.47	11.42	0.487	5.56
17:10:00	5.4	0.047	0.25	9.88	0.114	1.13	11.56	0.43	4.97
17:15:00	5.4	0.057	0.31	10.91	0.184	2.01	10.48	0.407	4.27
17:20:00	5.5	0.048	0.26	10.77	0.128	1.38	11.51	0.325	3.74
17:25:00	5.47	0.049	0.27	9.94	0.14	1.39	10.3	0.416	4.28
17:30:00	5.49	0.049	0.27	11.88	0.167	1.98	9.91	0.501	4.96

Tabel 17. Pengambilan data sudut *azimuth*, elevasi, suhu dan intensitas radiasi *solar tracker*

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Azimuth (°)	Sudut Elevasi (°)
5:30:00	26.68	1.22	65.9	30.1
5:35:00	27.66	2.43	68.6	30.5
5:40:00	27.33	3.12	67.9	30.4
5:45:00	27.44	5.76	66.3	30.4
5:50:00	27.78	10.54	68.4	30.1
5:55:00	27.95	15.45	66.2	30.3
6:00:00	28.44	38.23	65.4	30.5
6:05:00	29.55	39.92	67.3	30.3
6:10:00	29.56	44.3	67.5	30.1
6:15:00	29.65	51.3	66.9	30.2
6:20:00	29.77	64.78	66.8	30
6:25:00	29.98	65	65.7	30.2
6:30:00	30.26	76.45	66.7	30.1
6:35:00	30.61	86.84	64.5	30.6
6:40:00	30.68	101.52	63.1	30.2
6:45:00	30.72	115.89	65.6	30.1
6:50:00	30.81	137.14	64.8	30.4
6:55:00	31.15	185.25	61.5	30.6
7:00:00	31.28	188.25	64.7	30.2
7:05:00	31.55	193.16	64.2	30.5
7:10:00	31.87	214.94	62.3	30.1
7:15:00	32.19	215.38	61.3	30.2
7:20:00	32.66	223.4	60.9	30.5
7:25:00	32.87	224.35	62.4	30.4
7:30:00	32.76	225.01	62	30.1
7:35:00	33.79	233.41	59.3	30.5
7:40:00	34.23	251.44	59.6	30.6
7:45:00	34.47	272.66	58.8	30.6
7:50:00	34.55	275.54	57.3	30.1
7:55:00	34.63	280.24	58.5	30.6
8:00:00	34.71	283.27	58.2	30.6
8:05:00	35.16	310.5	58.9	30.3
8:10:00	35.29	315.51	55	32
8:15:00	35.86	342.05	54.1	32.8
8:20:00	36.23	355.87	55.6	34.2
8:25:00	36.31	388.68	53.3	34.2
8:30:00	36.43	427.76	55.8	36.5

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Azimuth (°)	Sudut Elevasi (°)
8:35:00	36.78	437.19	54.4	37.6
8:40:00	36.8	460.25	52.5	37.9
8:45:00	37.02	464.87	53.5	40.2
8:50:00	37.73	476.69	49.1	39.4
8:55:00	37.75	525.73	50.1	43.7
9:00:00	38.12	535.43	50.3	43
9:05:00	38.13	542.08	50	45
9:10:00	38.18	551.94	47.8	44.3
9:15:00	38.94	593.38	45.5	46.7
9:20:00	39.02	636.37	45.3	48.1
9:25:00	39.34	691.11	45.2	46
9:30:00	39.97	701.85	41.1	46.5
9:35:00	40.05	708.44	41.3	50.9
9:40:00	40.09	729.39	40.3	51.2
9:45:00	40.19	745.46	40.8	49.3
9:50:00	40.88	750.86	36.5	51
9:55:00	41	777.34	36	51.2
10:00:00	41.89	784.73	34.8	54.4
10:05:00	41.93	789.64	34.9	54
10:10:00	42.4	809.08	33.5	55.4
10:15:00	42.49	863.74	28.2	55.2
10:20:00	42.6	862.68	27.5	56.4
10:25:00	44.34	860.7	25.3	55.5
10:30:00	44.56	888.21	26.7	55.2
10:35:00	45.13	838.57	22.7	58.9
10:40:00	45.45	866.26	20.4	58.5
10:45:00	47.54	859.58	19.3	56.6
10:50:00	48.67	865.43	17.6	58.2
10:55:00	49.34	883.44	15.2	60.1
11:00:00	50.02	925.84	10.8	59.7
11:05:00	49.54	878.5	10.4	60.4
11:10:00	48.34	843.22	9.1	57.9
11:15:00	48.69	816.97	6.2	57.9
11:20:00	49.59	866.93	2.9	58.3
11:25:00	49.56	804.58	1	60.1
11:30:00	49.48	855.87	357.8	59.6
11:35:00	49.48	811.71	358.7	57.7
11:40:00	49.28	806.46	355.3	59.7
11:45:00	49.1	806.32	353.2	58.5
11:50:00	48.99	814.14	350.5	58.4

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Azimuth (°)	Sudut Elevasi (°)
11:55:00	48.7	861.39	346.4	58
12:00:00	48.58	834.67	347.4	59.3
12:05:00	48.54	803.32	344	59.2
12:10:00	48.47	798.44	340.6	56.1
12:15:00	48.42	797.34	338.4	57.6
12:20:00	48.35	786.7	336	56
12:25:00	48.29	768	333.8	55.3
12:30:00	47.88	767.8	335.8	55.2
12:35:00	47.7	755.86	331.9	53.7
12:40:00	47.51	747.71	329.4	54.8
12:45:00	47.37	734.39	328.3	54.8
12:50:00	47	741.53	325.2	54.8
12:55:00	46.82	742.12	325.1	52.2
13:00:00	46.7	726	323.3	51.6
13:05:00	46.65	707.47	322.7	52.2
13:10:00	45.84	717.18	321.9	51.4
13:15:00	45.73	702.92	320	51.6
13:20:00	45.67	706.66	319.6	50.7
13:25:00	45.63	728.3	316.4	49.2
13:30:00	45.56	703.93	317.7	47
13:35:00	45.23	728.25	315.4	48.2
13:40:00	44.24	257.53	313.5	47.6
13:45:00	44.18	695.82	312.5	43.6
13:50:00	43.5	683.75	312.4	44.2
13:55:00	42.92	672.43	311.8	43.5
14:00:00	42.86	625.31	311.1	42.5
14:05:00	42.14	607.72	310.6	39.3
14:10:00	41.61	593.4	309.8	40.5
14:15:00	41.25	591.57	309.3	37.3
14:20:00	41.06	589.73	305.1	38.9
14:25:00	40.41	579.91	306.6	37.2
14:30:00	40	577.25	305.7	37.6
14:35:00	39.68	536.63	304.5	34.2
14:40:00	38.95	510.15	306.1	34.2
14:45:00	38.65	509.81	303.9	34.6
14:50:00	37.86	477.53	302	33.1
14:55:00	37.5	459.42	303.6	30.3
15:00:00	37.2	454.1	300.8	30.4
15:05:00	37.14	436.05	299.5	30.4
15:10:00	36.76	350.66	301.7	30

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Azimuth (°)	Sudut Elevasi (°)
15:15:00	36.7	335.72	299.1	30.1
15:20:00	36.67	289.34	298	30.1
15:25:00	36.42	250.12	299.9	30.6
15:30:00	35.85	233.65	299	30.6
15:35:00	35.8	210.55	300.6	30.1
15:40:00	34.32	200.55	296.6	30.1
15:45:00	33.44	150.32	297.8	30.1
15:50:00	32.34	143.44	299.4	30.3
15:55:00	32.87	120.42	297.4	30.5
16:00:00	32.66	114.33	296.5	30.4
16:05:00	32.19	123.5	296.4	30.2
16:10:00	31.87	113.23	295.2	30.2
16:15:00	31.55	100.32	297.2	30.5
16:20:00	31.28	96.04	293.9	30.5
16:25:00	31.15	88.8	294.9	30.2
16:30:00	30.81	84.95	295.5	30.1
16:35:00	30.72	62.8	294.5	30.6
16:40:00	30.68	61.51	292.6	30.2
16:45:00	30.61	58.91	295	30.4
16:50:00	30.26	52.18	294.5	30.3
16:55:00	29.98	40.09	292.5	30.5
17:00:00	29.77	37.21	295.2	30.1
17:05:00	29.65	25.12	295.1	30.6
17:10:00	29.56	15.33	293.1	30.1
17:15:00	29.55	5.43	293.3	30.6
17:20:00	28.44	3.45	291.1	30.5
17:25:00	27.95	2.12	292.8	30.2
17:30:00	27.45	1.77	294.5	30.6

Lampiran G.

Tabel 18. Pengambilan data uji telemetri dengan penghalang

Jarak (m)	Detik ke (s)										Jumlah Data String yng Dikirim	Jumlah Data String yang Diterima	Data Losses (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
10	23	18	14	18	20	14	26	20	13	12	10	10	0
20	16	19	14	11	23	27	18	18	23	28	10	10	0
30	11	25	23	15	24	13	26	15	19	25	10	10	0
40	24	19	11	27	25	15	14	21	28	18	10	10	0
50	13	15	12	22	16	26	27	28	14	11	10	10	0
60	27	21	18	27	28	27	27	24	14	19	10	10	0
70	23	16	11	24	13	27	26	18	26	14	10	10	0
80	20	23	24	25	16	28	13	18	11	15	10	10	0
90	12	28	25	18	11	19	14	15	26	11	10	10	0
100	18	11	15	27	22	27	24	25	18	-	10	9	10
110	18	19	25	19	15	21	16	-	-	-	10	7	30
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	0	100

Tabel 19. Pengambilan data uji telemetri tanpa penghalang

Jarak (m)	Detik ke (s)										Jumlah Data String yng Dikirim	Jumlah Data String yang Diterima	Data Losses (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
50	20	23	24	25	16	28	13	16	11	22	10	10	0
100	18	11	15	27	22	27	24	25	18	27	10	10	0
150	13	23	19	28	14	22	26	11	26	18	10	10	0
200	26	18	26	14	27	21	26	13	14	15	10	10	0
250	14	21	23	11	12	18	11	24	25	15	10	10	0
300	25	16	28	13	16	11	22	15	15	19	10	10	0
350	13	15	12	22	16	26	27	28	-	-	10	8	20
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	0	100

Lampiran H.

Tabel 20. Pengambilan data PV panel *hybrid solar tracker* tanpa reflektor

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
7/14/2018	5:30:00	28.27	0	0.00	27.41	0	0.00
7/14/2018	5:35:00	28.38	0	0.00	27.51	0	0.00
7/14/2018	5:40:00	28.39	0	0.00	27.52	0	0.00
7/14/2018	5:45:00	28.39	0	0.00	27.73	0	0.00
7/14/2018	5:50:00	29.22	0	0.00	28.51	0	0.00
7/14/2018	5:55:00	29.26	0	0.00	28.76	0	0.00
7/14/2018	6:00:00	29.35	0.024	0.70	28.84	0	0.00
7/14/2018	6:05:00	29.87	0.12	3.58	29.07	0.006	0.17
7/14/2018	6:10:00	29.95	0.144	4.31	29.12	0.009	0.26
7/14/2018	6:15:00	30.04	0.144	4.33	29.23	0.012	0.35
7/14/2018	6:20:00	30.25	0.168	5.08	29.35	0.009	0.26
7/14/2018	6:25:00	30.3	0.192	5.82	29.54	0.024	0.71
7/14/2018	6:30:00	30.41	0.228	6.93	29.67	0.021	0.62
7/14/2018	6:35:00	30.53	0.252	7.69	29.77	0.03	0.89
7/14/2018	6:40:00	30.58	0.24	7.34	29.91	0.054	1.62
7/14/2018	6:45:00	30.62	0.3	9.19	30.05	0.069	2.07
7/14/2018	6:50:00	30.66	0.584	17.91	30.16	0.09	2.71
7/14/2018	6:55:00	30.7	0.495	15.20	30.3	0.117	3.55
7/14/2018	7:00:00	30.79	0.567	17.46	30.33	0.147	4.46
7/14/2018	7:05:00	30.98	0.632	19.58	30.15	0.174	5.25
7/14/2018	7:10:00	31.13	0.675	21.01	30.05	0.192	5.77
7/14/2018	7:15:00	31.16	0.699	21.78	30.52	0.327	9.98
7/14/2018	7:20:00	31.27	0.753	23.55	30.61	0.303	9.27
7/14/2018	7:25:00	31.42	0.92	28.91	30.72	0.306	9.40
7/14/2018	7:30:00	31.47	0.896	28.20	30.62	0.369	11.30
7/14/2018	7:35:00	31.62	0.962	30.42	31	0.42	13.02
7/14/2018	7:40:00	31.71	1.012	32.09	31.16	0.459	14.30
7/14/2018	7:45:00	31.77	1.112	35.33	31.11	0.582	18.11
7/14/2018	7:50:00	31.84	1.293	41.17	31.23	0.635	19.83
7/14/2018	7:55:00	32.01	1.412	45.20	31.2	0.641	20.00
7/14/2018	8:00:00	31.96	1.458	46.60	30.96	0.7	21.67
7/14/2018	8:05:00	32.1	1.485	47.67	31.34	0.736	23.07
7/14/2018	8:10:00	32.13	1.462	46.97	31.33	0.761	23.84
7/14/2018	8:15:00	32.17	1.543	49.64	31.41	0.781	24.53
7/14/2018	8:20:00	32.2	1.589	51.17	30.96	0.798	24.71
7/14/2018	8:25:00	32.25	1.686	54.37	31.64	0.826	26.13
7/14/2018	8:30:00	32.46	1.62	52.59	31.89	0.876	27.94
7/14/2018	8:35:00	32.52	1.582	51.45	31.75	0.901	28.61
7/14/2018	8:40:00	32.31	1.628	52.60	31.74	0.952	30.22
7/14/2018	8:45:00	32.19	1.74	56.01	31.63	1.05	33.21
7/14/2018	8:50:00	32.71	1.705	55.77	31.44	1.08	33.96

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
7/14/2018	8:55:00	32.82	1.759	57.73	32.25	1.052	33.93
7/14/2018	9:00:00	32.75	1.867	61.14	31.37	1.019	31.97
7/14/2018	9:05:00	32.71	1.828	59.79	31.95	1.185	37.86
7/14/2018	9:10:00	32.79	1.882	61.71	31.47	1.188	37.39
7/14/2018	9:15:00	32.73	1.863	60.98	31.79	1.218	38.72
7/14/2018	9:20:00	32.82	1.905	62.52	31.62	1.158	36.62
7/14/2018	9:25:00	32.76	2.002	65.59	31.89	1.251	39.89
7/14/2018	9:30:00	33.07	1.982	65.54	31.8	1.326	42.17
7/14/2018	9:35:00	32.67	1.909	62.37	32.01	1.366	43.73
7/14/2018	9:40:00	32.57	1.921	62.57	31.55	1.372	43.29
7/14/2018	9:45:00	32.61	1.932	63.00	31.22	1.392	43.46
7/14/2018	9:50:00	32.73	2.109	69.03	31.66	1.584	50.15
7/14/2018	9:55:00	33.16	2.186	72.49	32.09	1.664	53.40
7/14/2018	10:00:00	33.13	2.182	72.29	32.15	1.875	60.28
7/14/2018	10:05:00	33.02	2.171	71.69	32.14	1.872	60.17
7/14/2018	10:10:00	33.23	2.198	73.04	32	1.895	60.64
7/14/2018	10:15:00	32.82	2.144	70.37	32.09	1.848	59.30
7/14/2018	10:20:00	32.73	2.136	69.91	31.82	1.842	58.61
7/14/2018	10:25:00	32.79	2.167	71.06	31.99	1.868	59.76
7/14/2018	10:30:00	32.41	2.156	69.88	31.67	1.865	59.06
7/14/2018	10:35:00	32.45	2.148	69.70	32.15	1.74	55.94
7/14/2018	10:40:00	32.52	2.159	70.21	31.57	1.749	55.22
7/14/2018	10:45:00	32.41	2.098	68.00	32.45	1.763	57.21
7/14/2018	10:50:00	32.63	2.082	67.94	31.64	1.749	55.34
7/14/2018	10:55:00	32.63	2.09	68.20	31.83	1.73	55.07
7/14/2018	11:00:00	32.74	2.067	67.67	31.94	1.71	54.62
7/14/2018	11:05:00	32.83	2.059	67.60	31.95	1.697	54.22
7/14/2018	11:10:00	32.83	2.032	66.71	32.09	1.703	54.65
7/14/2018	11:15:00	33.11	2.059	68.17	32.24	1.664	53.65
7/14/2018	11:20:00	32.62	2.059	67.16	31.76	1.664	52.85
7/14/2018	11:25:00	33.3	2.098	69.86	32.44	1.697	55.05
7/14/2018	11:30:00	33.32	2.364	78.77	32.42	1.812	58.75
7/14/2018	11:35:00	33.39	2.34	78.13	32.66	1.954	63.82
7/14/2018	11:40:00	33.29	2.244	74.70	32.41	1.822	59.05
7/14/2018	11:45:00	32.96	2.159	71.16	32.08	1.749	56.11
7/14/2018	11:50:00	32.91	2.125	69.93	32.23	1.72	55.44
7/14/2018	11:55:00	33	2.136	70.49	32.34	1.73	55.95
7/14/2018	12:00:00	33.1	2.167	71.73	32.43	1.756	56.95
7/14/2018	12:05:00	33.15	2.105	69.78	32.49	1.703	55.33
7/14/2018	12:10:00	33.35	2.259	75.34	32.42	1.862	60.37
7/14/2018	12:15:00	33.19	2.302	76.40	32.59	1.885	61.43
7/14/2018	12:20:00	33.07	2.31	76.39	32.47	1.908	61.95
7/14/2018	12:25:00	33.14	2.263	75.00	32.55	1.885	61.36
7/14/2018	12:30:00	33.09	2.286	75.64	32.49	1.885	61.24
7/14/2018	12:35:00	33.01	2.348	77.51	32.41	1.908	61.84

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
7/14/2018	12:40:00	32.9	2.317	76.23	32.3	1.881	60.76
7/14/2018	12:45:00	32.81	2.356	77.30	32.22	1.895	61.06
7/14/2018	12:50:00	32.91	2.363	77.77	32.32	1.786	57.72
7/14/2018	12:55:00	32.99	2.279	75.18	32.43	1.776	57.60
7/14/2018	13:00:00	32.89	2.363	77.72	32.28	1.73	55.84
7/14/2018	13:05:00	32.56	2.217	72.19	32.13	1.756	56.42
7/14/2018	13:10:00	32.51	2.263	73.57	32.01	1.921	61.49
7/14/2018	13:15:00	32.6	2.286	74.52	32.08	1.928	61.85
7/14/2018	13:20:00	32.7	2.248	73.51	32.15	1.918	61.66
7/14/2018	13:25:00	32.75	2.336	76.50	32.03	1.885	60.38
7/14/2018	13:30:00	32.9	2.263	74.45	31.92	1.914	61.09
7/14/2018	13:35:00	32.22	2.294	73.91	31.95	1.921	61.38
7/14/2018	13:40:00	32.64	2.263	73.86	31.93	1.895	60.51
7/14/2018	13:45:00	32.74	2.252	73.73	31.84	1.819	57.92
7/14/2018	13:50:00	32.77	2.236	73.27	32.05	1.842	59.04
7/14/2018	13:55:00	32.87	2.263	74.38	32.01	1.855	59.38
7/14/2018	14:00:00	32.26	2.279	73.52	31.6	1.825	57.67
7/14/2018	14:05:00	31.85	2.271	72.33	31.2	1.839	57.38
7/14/2018	14:10:00	31.6	2.217	70.06	30.96	1.848	57.21
7/14/2018	14:15:00	31.81	2.271	72.24	31.18	1.855	57.84
7/14/2018	14:20:00	32.09	2.272	72.91	31.5	1.584	49.90
7/14/2018	14:25:00	31.82	2.128	67.71	31.25	1.476	46.13
7/14/2018	14:30:00	31.76	2.036	64.66	31.23	1.406	43.91
7/14/2018	14:35:00	31.55	1.94	61.21	31.17	1.41	43.95
7/14/2018	14:40:00	31.5	1.931	60.83	31.1	1.403	43.63
7/14/2018	14:45:00	31.22	1.865	58.23	30.83	1.353	41.71
7/14/2018	14:50:00	31.21	1.385	43.23	30.44	0.742	22.59
7/14/2018	14:55:00	31.33	1.367	42.83	30.42	0.658	20.02
7/14/2018	15:00:00	30.21	1.066	32.20	29.72	0.459	13.64
7/14/2018	15:05:00	29.98	0.533	15.98	29.42	0.353	10.39
7/14/2018	15:10:00	30.21	0.876	26.46	29.66	0.603	17.88
7/14/2018	15:15:00	31.22	1.145	35.75	30.42	0.621	18.89
7/14/2018	15:20:00	31.64	1.11	35.12	30.51	0.594	18.12
7/14/2018	15:25:00	31.49	1.055	33.22	30.42	0.594	18.07
7/14/2018	15:30:00	31.44	1.207	37.95	30.27	0.591	17.89
7/14/2018	15:35:00	31.39	0.966	30.32	30.52	0.591	18.04
7/14/2018	15:40:00	31.31	1.041	32.59	30.37	0.534	16.22
7/14/2018	15:45:00	31.18	1.083	33.77	30.26	0.495	14.98
7/14/2018	15:50:00	31.05	0.917	28.47	30.23	0.564	17.05
7/14/2018	15:55:00	30.92	0.828	25.60	30.08	0.528	15.88
7/14/2018	16:00:00	30.73	0.986	30.30	29.89	0.462	13.81
7/14/2018	16:05:00	30.7	0.593	18.21	29.8	0.345	10.28
7/14/2018	16:10:00	30.56	0.441	13.48	29.76	0.322	9.58
7/14/2018	16:15:00	30.45	0.517	15.74	29.72	0.304	9.03
7/14/2018	16:20:00	30.31	0.496	15.03	29.68	0.297	8.81

Tanggal	Waktu	V *Tracker* (Volt)	I *Tracker* (A)	P *Tracker* (Watt)	V *Fixed* (Volt)	I *Fixed* (A)	P *Fixed* (Watt)
7/14/2018	16:25:00	30.43	0.427	12.99	29.63	0.286	8.47
7/14/2018	16:30:00	30.4	0.448	13.62	29.51	0.268	7.91
7/14/2018	16:35:00	30.17	0.427	12.88	29.4	0.136	4.00
7/14/2018	16:40:00	30.11	0.386	11.62	29.35	0.19	5.58
7/14/2018	16:45:00	29.99	0.082	2.46	29.14	0.109	3.18
7/14/2018	16:50:00	29.85	0.207	6.18	29.05	0.112	3.25
7/14/2018	16:55:00	29.76	0.02	0.60	28.97	0.023	0.67
7/14/2018	17:00:00	29.59	0.027	0.80	28.91	0	0.00
7/14/2018	17:05:00	29.24	0	0.00	29.16	0	0.00
7/14/2018	17:10:00	28.82	0	0.00	29.38	0	0.00
7/14/2018	17:15:00	28.15	0	0.00	28.6	0	0.00
7/14/2018	17:20:00	28.13	0	0.00	28.39	0	0.00
7/14/2018	17:25:00	27.92	0	0.00	28.38	0	0.00
7/14/2018	17:30:00	27.82	0	0.00	26.82	0	0.00

Lampiran I.

Tabel 21. Pengambilan data tegangan, arus, dan daya pada komponen utama pada PV panel *hybrid solar tracker* tanpa reflektor

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
5:30:00	5.41	0.052	0.28	10.56	0.092	0.97	11.04	0.474	5.23
5:35:00	5.48	0.053	0.29	9.8	0.19	1.86	10.64	0.277	2.95
5:40:00	5.48	0.052	0.28	11.8	0.087	1.03	10.75	0.466	5.01
5:45:00	5.39	0.059	0.32	9.84	0.138	1.36	11.4	0.277	3.16
5:50:00	5.41	0.065	0.35	9.86	0.163	1.61	10.54	0.257	2.71
5:55:00	5.49	0.059	0.32	10.71	0.108	1.16	11.09	0.316	3.50
6:00:00	5.48	0.048	0.26	10.53	0.098	1.03	11.89	0.399	4.74
6:05:00	5.43	0.051	0.28	11.23	0.19	2.13	10.18	0.404	4.11
6:10:00	5.48	0.053	0.29	11.85	0.196	2.32	10.24	0.229	2.34
6:15:00	5.35	0.056	0.30	11.97	0.136	1.63	10.65	0.227	2.42
6:20:00	5.35	0.063	0.34	10.42	0.138	1.44	11.73	0.451	5.29
6:25:00	5.43	0.056	0.30	10.36	0.168	1.74	9.78	0.294	2.88
6:30:00	5.5	0.056	0.31	11.92	0.167	1.99	11.88	0.193	2.29
6:35:00	5.39	0.058	0.31	11.2	0.158	1.77	11.72	0.277	3.25
6:40:00	5.46	0.05	0.27	11.06	0.152	1.68	9.67	0.441	4.26
6:45:00	5.41	0.059	0.32	9.65	0.163	1.57	11.3	0.289	3.27
6:50:00	5.41	0.054	0.29	11.98	0.134	1.61	10.15	0.44	4.47
6:55:00	5.47	0.051	0.28	9.68	0.092	0.89	9.97	0.304	3.03
7:00:00	5.42	0.066	0.36	10.75	0.162	1.74	11.91	0.233	2.78
7:05:00	5.48	0.05	0.27	10.64	0.172	1.83	10.24	0.204	2.09
7:10:00	5.36	0.056	0.30	11.93	0.18	2.15	11.82	0.404	4.78
7:15:00	5.48	0.066	0.36	10.08	0.139	1.40	11.06	0.29	3.21
7:20:00	5.43	0.056	0.30	11.26	0.127	1.43	9.63	0.404	3.89
7:25:00	5.36	0.056	0.30	10.74	0.191	2.05	9.97	0.348	3.47
7:30:00	5.47	0.054	0.30	11.75	0.092	1.08	11.88	0.309	3.67
7:35:00	5.43	0.045	0.24	9.94	0.09	0.89	10.63	0.22	2.34
7:40:00	5.47	0.047	0.26	9.61	0.156	1.50	10.5	0.202	2.12
7:45:00	5.37	0.06	0.32	9.85	0.114	1.12	11.44	0.204	2.33
7:50:00	5.49	0.05	0.27	10.92	0.106	1.16	11.66	0.264	3.08
7:55:00	5.38	0.055	0.30	11.55	0.161	1.86	10.68	0.469	5.01
8:00:00	5.41	0.052	0.28	10.31	0.195	2.01	11.04	0.4	4.42
8:05:00	5.47	0.063	0.34	10.33	0.17	1.76	11.61	0.293	3.40
8:10:00	5.36	0.063	0.34	10.82	0.084	0.91	9.56	0.26	2.49
8:15:00	5.46	0.05	0.27	11.14	0.173	1.93	10.24	0.402	4.12
8:20:00	5.49	0.054	0.30	10.35	0.083	0.86	9.69	0.296	2.87
8:25:00	5.47	0.063	0.34	11.78	0.112	1.32	11.46	0.355	4.07
8:30:00	5.45	0.062	0.34	10.77	0.196	2.11	10.28	0.295	3.03
8:35:00	5.48	0.065	0.36	10.39	0.088	0.91	11.98	0.358	4.29
8:40:00	5.49	0.048	0.26	11.88	0.1	1.19	11.32	0.318	3.60
8:45:00	5.38	0.063	0.34	9.66	0.112	1.08	10.85	0.212	2.30

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
8:50:00	5.39	0.05	0.27	9.85	0.138	1.36	11.42	0.475	5.42
8:55:00	5.49	0.06	0.33	11.01	0.091	1.00	11.01	0.333	3.67
9:00:00	5.47	0.05	0.27	10.34	0.163	1.69	11.56	0.368	4.25
9:05:00	5.37	0.048	0.26	11.59	0.113	1.31	10.76	0.407	4.38
9:10:00	5.43	0.064	0.35	11.51	0.11	1.27	9.5	0.389	3.70
9:15:00	5.48	0.053	0.29	11.75	0.172	2.02	9.73	0.239	2.33
9:20:00	5.35	0.059	0.32	9.54	0.121	1.15	11.21	0.443	4.97
9:25:00	5.41	0.05	0.27	10.02	0.114	1.14	11.78	0.372	4.38
9:30:00	5.35	0.049	0.26	10.42	0.101	1.05	9.76	0.202	1.97
9:35:00	5.4	0.065	0.35	10.33	0.118	1.22	10.71	0.316	3.38
9:40:00	5.48	0.056	0.31	10.12	0.087	0.88	11.8	0.332	3.92
9:45:00	5.41	0.058	0.31	10.35	0.173	1.79	9.72	0.223	2.17
9:50:00	5.41	0.066	0.36	9.6	0.115	1.10	11.68	0.222	2.59
9:55:00	5.46	0.062	0.34	11.46	0.125	1.43	10.38	0.207	2.15
10:00:00	5.39	0.061	0.33	10.61	0.14	1.49	11.17	0.252	2.81
10:05:00	5.47	0.065	0.36	11.15	0.152	1.69	11.33	0.238	2.70
10:10:00	5.44	0.057	0.31	11.13	0.091	1.01	11.52	0.195	2.25
10:15:00	5.43	0.052	0.28	10.91	0.162	1.77	10.27	0.319	3.28
10:20:00	5.48	0.063	0.35	10.98	0.194	2.13	10.13	0.359	3.64
10:25:00	5.38	0.048	0.26	9.94	0.193	1.92	10.99	0.213	2.34
10:30:00	5.46	0.063	0.34	10.72	0.106	1.14	11.33	0.381	4.32
10:35:00	5.41	0.059	0.32	11.2	0.165	1.85	11.85	0.346	4.10
10:40:00	5.48	0.047	0.26	11.17	0.152	1.70	10.43	0.398	4.15
10:45:00	5.37	0.062	0.33	11.96	0.147	1.76	10.87	0.304	3.30
10:50:00	5.48	0.065	0.36	10.89	0.169	1.84	10.48	0.351	3.68
10:55:00	5.43	0.056	0.30	10.84	0.114	1.24	9.6	0.369	3.54
11:00:00	5.43	0.058	0.31	10.41	0.122	1.27	10.28	0.348	3.58
11:05:00	5.41	0.048	0.26	11.05	0.086	0.95	10.84	0.393	4.26
11:10:00	5.5	0.064	0.35	10.9	0.128	1.40	11.93	0.189	2.25
11:15:00	5.41	0.058	0.31	11.28	0.08	0.90	9.96	0.292	2.91
11:20:00	5.42	0.054	0.29	11.43	0.091	1.04	11.76	0.209	2.46
11:25:00	5.36	0.046	0.25	11.24	0.112	1.26	10.85	0.206	2.24
11:30:00	5.42	0.061	0.33	10.58	0.109	1.15	10.58	0.377	3.99
11:35:00	5.35	0.051	0.27	11.29	0.193	2.18	10.62	0.226	2.40
11:40:00	5.49	0.051	0.28	10.94	0.108	1.18	11.86	0.461	5.47
11:45:00	5.35	0.065	0.35	10.19	0.11	1.12	11	0.37	4.07
11:50:00	5.41	0.05	0.27	11.89	0.17	2.02	10.02	0.348	3.49
11:55:00	5.46	0.056	0.31	11.23	0.147	1.65	9.97	0.287	2.86
12:00:00	5.39	0.045	0.24	10.15	0.113	1.15	9.95	0.255	2.54
12:05:00	5.49	0.047	0.26	11.71	0.115	1.35	10.86	0.328	3.56
12:10:00	5.41	0.056	0.30	10.15	0.18	1.83	10.23	0.332	3.40
12:15:00	5.36	0.059	0.32	9.61	0.125	1.20	11.26	0.252	2.84
12:20:00	5.42	0.066	0.36	10.68	0.127	1.36	10.58	0.218	2.31
12:25:00	5.35	0.053	0.28	10.27	0.097	1.00	11.29	0.267	3.01
12:30:00	5.43	0.061	0.33	10.74	0.108	1.16	11.6	0.234	2.71

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
12:35:00	5.47	0.046	0.25	9.88	0.168	1.66	11.08	0.253	2.80
12:40:00	5.5	0.051	0.28	11.32	0.163	1.85	11.88	0.467	5.55
12:45:00	5.49	0.062	0.34	11.88	0.105	1.25	11.61	0.34	3.95
12:50:00	5.38	0.062	0.33	11.33	0.134	1.52	9.88	0.269	2.66
12:55:00	5.46	0.057	0.31	10.37	0.083	0.86	10.78	0.471	5.08
13:00:00	5.42	0.052	0.28	9.59	0.12	1.15	10.48	0.208	2.18
13:05:00	5.46	0.056	0.31	9.8	0.085	0.83	11.63	0.275	3.20
13:10:00	5.48	0.061	0.33	10.4	0.157	1.63	10.98	0.432	4.74
13:15:00	5.5	0.058	0.32	10.13	0.177	1.79	10.34	0.25	2.59
13:20:00	5.43	0.062	0.34	10.07	0.098	0.99	10.43	0.257	2.68
13:25:00	5.37	0.051	0.27	9.59	0.089	0.85	10.45	0.437	4.57
13:30:00	5.39	0.062	0.33	10.39	0.184	1.91	11.87	0.411	4.88
13:35:00	5.42	0.055	0.30	11.77	0.124	1.46	11.21	0.286	3.21
13:40:00	5.47	0.066	0.36	11.19	0.166	1.86	11.34	0.414	4.69
13:45:00	5.49	0.063	0.35	10.56	0.104	1.10	10.33	0.432	4.46
13:50:00	5.44	0.058	0.32	11.34	0.123	1.39	11.81	0.241	2.85
13:55:00	5.49	0.046	0.25	11.23	0.089	1.00	10.2	0.385	3.93
14:00:00	5.38	0.063	0.34	9.94	0.185	1.84	10.67	0.211	2.25
14:05:00	5.39	0.053	0.29	11.09	0.148	1.64	10.16	0.416	4.23
14:10:00	5.41	0.049	0.27	10.24	0.131	1.34	10.97	0.191	2.10
14:15:00	5.4	0.061	0.33	9.99	0.177	1.77	10	0.44	4.40
14:20:00	5.42	0.057	0.31	10.8	0.192	2.07	10.66	0.384	4.09
14:25:00	5.39	0.054	0.29	10.84	0.193	2.09	10.9	0.479	5.22
14:30:00	5.48	0.065	0.36	9.56	0.121	1.16	11.29	0.478	5.40
14:35:00	5.37	0.063	0.34	10.47	0.113	1.18	11.69	0.362	4.23
14:40:00	5.4	0.05	0.27	10.59	0.128	1.36	11.43	0.339	3.87
14:45:00	5.47	0.046	0.25	11	0.195	2.15	11.8	0.398	4.70
14:50:00	5.41	0.052	0.28	11.45	0.091	1.04	9.63	0.281	2.71
14:55:00	5.36	0.056	0.30	11.04	0.175	1.93	11.19	0.382	4.27
15:00:00	5.43	0.06	0.33	9.7	0.145	1.41	11.3	0.244	2.76
15:05:00	5.35	0.055	0.29	11.73	0.14	1.64	11.99	0.479	5.74
15:10:00	5.38	0.06	0.32	10.79	0.198	2.14	11.59	0.273	3.16
15:15:00	5.46	0.048	0.26	10.33	0.189	1.95	10.69	0.232	2.48
15:20:00	5.41	0.066	0.36	11.23	0.17	1.91	10.99	0.266	2.92
15:25:00	5.46	0.05	0.27	9.94	0.142	1.41	10.1	0.454	4.59
15:30:00	5.38	0.05	0.27	10.88	0.15	1.63	11.4	0.181	2.06
15:35:00	5.43	0.048	0.26	10.29	0.139	1.43	11.22	0.18	2.02
15:40:00	5.41	0.047	0.25	9.82	0.083	0.82	11.76	0.329	3.87
15:45:00	5.46	0.047	0.26	10.62	0.128	1.36	11.41	0.419	4.78
15:50:00	5.49	0.056	0.31	10.03	0.169	1.70	11.12	0.464	5.16
15:55:00	5.36	0.055	0.29	10.54	0.128	1.35	10.01	0.207	2.07
16:00:00	5.38	0.066	0.36	10.29	0.126	1.30	10.75	0.334	3.59
16:05:00	5.4	0.053	0.29	10.16	0.148	1.50	10.23	0.183	1.87
16:10:00	5.36	0.057	0.31	10.25	0.1	1.03	10.03	0.368	3.69
16:15:00	5.44	0.059	0.32	11.27	0.184	2.07	11.3	0.187	2.11

Waktu	Mikrokontroller Arduino			Motor Azimuth			Motor elevasi		
	V	I	P	V	I	P	V	I	P
16:20:00	5.48	0.058	0.32	9.65	0.119	1.15	11.6	0.26	3.02
16:25:00	5.4	0.046	0.25	10.69	0.149	1.59	10.23	0.326	3.33
16:30:00	5.47	0.052	0.28	9.94	0.158	1.57	11.64	0.227	2.64
16:35:00	5.48	0.049	0.27	10.83	0.129	1.40	11.54	0.396	4.57
16:40:00	5.38	0.051	0.27	10.94	0.19	2.08	10.83	0.306	3.31
16:45:00	5.48	0.063	0.35	9.76	0.165	1.61	11.49	0.32	3.68
16:50:00	5.35	0.048	0.26	9.75	0.194	1.89	9.82	0.189	1.86
16:55:00	5.47	0.052	0.28	9.61	0.139	1.34	9.54	0.324	3.09
17:00:00	5.46	0.059	0.32	11.3	0.16	1.81	11.33	0.213	2.41
17:05:00	5.45	0.057	0.31	11.63	0.086	1.00	11.42	0.348	3.97
17:10:00	5.4	0.047	0.25	9.95	0.191	1.90	11.56	0.393	4.54
17:15:00	5.4	0.057	0.31	9.81	0.097	0.95	10.48	0.204	2.14
17:20:00	5.5	0.048	0.26	10.86	0.112	1.22	11.51	0.421	4.85
17:25:00	5.47	0.049	0.27	10.06	0.18	1.81	10.3	0.43	4.43
17:30:00	5.49	0.049	0.27	10.87	0.152	1.65	9.91	0.358	3.55

Tabel 22. Pengambilan data sudut *azimuth*, elevasi, suhu dan intensitas radiasi matahari dan tegangan LDR pada PV panel *hybrid solar tracker* tanpa reflektor

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Elevasi (°)	Sudut Azimuth (°)	NOAA Sudut Elevasi (°)	NOAA Sudut Azimuth (°)	V LDR (V)
5:30:00	27.19	1.5	30.6	68.8	-3.7	68.6	1.23
5:35:00	27.32	2.93	30.5	65.5	-2.5	68.4	1.24
5:40:00	27.4	5.29	30.1	68.7	-1.2	68.3	1.85
5:45:00	27.48	13.74	30.1	68	0.2	68.1	1.98
5:50:00	28.17	15.97	30.6	70.1	1.2	68.0	2.37
5:55:00	28.23	33.04	30.3	69.7	2.3	67.8	3.03
6:00:00	28.39	41.18	30.4	66.4	3.4	67.6	3.05
6:05:00	28.55	42.47	30.3	68.2	4.5	67.4	3.15
6:10:00	28.67	56.26	30.1	70.1	5.6	67.2	3
6:15:00	28.81	58.13	30.1	68.5	6.7	67.0	3.43
6:20:00	29.31	64.63	30.2	67.8	7.8	66.8	3.4
6:25:00	29.65	83.64	30.5	66.3	9.0	66.6	3.28
6:30:00	29.73	87.14	30.2	68.3	10.1	66.3	3.12
6:35:00	29.91	90.03	30.4	66.9	11.2	66.1	3.21
6:40:00	30.07	93.94	30.6	66.5	12.3	65.8	3.15
6:45:00	30.51	119	30.1	66.6	13.5	65.6	3.48
6:50:00	30.97	122.58	30.4	63.8	14.6	65.3	3.47
6:55:00	31.01	132.53	30.2	67.3	15.7	65.0	3.52
7:00:00	31.31	155.96	30.1	65.9	16.8	64.7	4.02
7:05:00	31.4	172	30.2	61.1	17.9	64.3	4.68
7:10:00	32.09	193.81	30.5	64.4	19.0	64.0	4.17
7:15:00	32.19	204.71	30.3	62.9	20.2	63.6	4.57
7:20:00	32.28	209.59	30.6	65.7	21.3	63.3	4.86
7:25:00	32.47	224.56	30	61.5	22.4	62.9	4.37
7:30:00	32.64	238.22	30.1	56.5	23.5	62.5	4.38
7:35:00	33.37	240.22	30.5	69	24.6	62.1	4.07
7:40:00	33.73	243.76	30.6	56.2	25.7	61.7	4.08
7:45:00	33.99	247.03	30.2	68.2	26.7	61.2	4.41
7:50:00	34.57	270.68	30.4	57	27.8	60.7	4.26
7:55:00	35.35	292.93	30.5	62.8	28.9	60.2	4.73
8:00:00	35.63	296.92	30.6	59.7	30.0	59.7	4.35
8:05:00	36.55	303.31	30.1	67	31.0	59.2	4.82
8:10:00	37.71	307.09	31	61.7	32.1	58.7	4.04
8:15:00	38.31	342.2	34.6	57.4	33.2	58.1	4.76
8:20:00	38.8	347.78	35.4	59.4	34.2	57.5	4.49

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Elevasi (°)	Sudut Azimuth (°)	NOAA Sudut Elevasi (°)	NOAA Sudut Azimuth (°)	V LDR (V)
8:25:00	38.85	373.65	36.5	54.3	35.2	56.9	4.81
8:30:00	39.35	427.76	35.6	60.4	36.3	56.2	4.04
8:35:00	39.93	437.19	36.4	61.1	37.3	55.5	4.68
8:40:00	39.97	460.25	39.4	49.2	38.3	54.8	4.61
8:45:00	39.98	464.87	39	58	39.3	54.1	4.28
8:50:00	40.1	476.69	40.8	46.3	40.3	53.3	4.56
8:55:00	40.19	514.61	42.8	48.8	41.3	52.5	4.84
9:00:00	40.26	520.76	40.7	44.1	42.3	51.7	4.11
9:05:00	40.31	522.47	43.7	44.8	43.3	50.8	4.46
9:10:00	40.34	526.7	44.4	42	44.2	49.9	4.32
9:15:00	40.7	530.91	47	46.4	45.2	48.9	4.71
9:20:00	40.96	531.02	46.8	42.2	46.1	47.9	4.53
9:25:00	40.96	559.76	45.8	40.3	47.0	46.9	4.4
9:30:00	41.18	570.15	49.8	53.7	47.9	45.8	4.68
9:35:00	41.67	580.56	50.2	39	48.8	44.7	4.87
9:40:00	42.08	614.86	47.8	49.2	49.6	43.5	4.34
9:45:00	42.34	668.61	49.6	39.2	50.5	42.2	4.7
9:50:00	42.47	676.28	52	42	51.3	40.9	4.15
9:55:00	42.63	722.79	52.6	40.1	52.1	39.6	4.33
10:00:00	42.71	737.53	52.5	40.4	52.9	38.2	4.78
10:05:00	43.19	782.98	55.2	34.8	53.6	36.7	4.2
10:10:00	43.94	795.5	52.4	37.1	54.4	35.1	4.47
10:15:00	44.69	803.22	54.4	27.5	55.1	33.5	4.62
10:20:00	45.87	817.66	57.6	38.9	55.7	31.9	4.07
10:25:00	46.58	830.58	55.2	23.7	56.4	30.1	4.38
10:30:00	47.18	834.76	55.9	35.7	57.0	28.3	4.37
10:35:00	47.73	839.69	56.3	29.2	57.6	26.5	4.56
10:40:00	47.99	841.93	56.4	25.6	58.1	24.5	4.3
10:45:00	48.79	848.04	60.3	16.9	58.6	22.5	4.88
10:50:00	48.91	848.34	59.7	23	59.0	20.5	4.74
10:55:00	48.96	848.36	61.4	12.8	59.5	18.3	4.36
11:00:00	48.99	864.32	57.9	9.3	59.8	16.2	4.01
11:05:00	49.06	871.01	60.8	18.7	60.1	13.9	4.72
11:10:00	49.4	906.74	60.7	19.5	60.4	11.7	4.21
11:15:00	49.9	937.97	60.9	10.2	60.6	9.3	4.74
11:20:00	50.62	954.95	60.2	8.5	60.8	7.0	4.6
11:25:00	52	957.9	61.9	-2.3	60.9	4.6	4.51
11:30:00	52.29	998.55	62	3	61.0	2.2	4.95
11:35:00	52.34	1003.21	62.9	363.1	61.0	359.8	4.65

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Elevasi (°)	Sudut Azimuth (°)	NOAA Sudut Elevasi (°)	NOAA Sudut Azimuth (°)	V LDR (V)
11:40:00	51.37	997.42	60.4	359.6	61.0	357.4	4.42
11:45:00	51.34	997.38	62.4	350	60.9	355.1	4.88
11:50:00	51	991.74	60.5	347.7	60.8	352.7	4.44
11:55:00	50.6	990.46	61.1	352.8	60.6	350.3	4.64
12:00:00	50.59	979.3	61.4	346.9	60.4	348.0	4.82
12:05:00	50.46	958.23	61.3	338.4	60.1	345.8	4.48
12:10:00	50.16	943.31	58.5	344.8	59.8	343.5	4.12
12:15:00	49.7	940.37	59.9	339.5	59.4	341.4	4.71
12:20:00	49.39	917.45	57.6	334.8	59.0	339.2	4.38
12:25:00	49.17	912.73	59.1	343.1	58.5	337.2	4.42
12:30:00	48.88	883.05	58.5	335.3	58.0	335.2	4.17
12:35:00	48.33	854.97	58.3	339.7	57.5	333.3	4
12:40:00	48.31	845.23	56.9	336.6	56.9	331.4	4.51
12:45:00	48.17	820.62	56.3	330.8	56.3	329.6	4.3
12:50:00	47.92	818.08	54.6	334.6	55.7	327.9	4.01
12:55:00	47.88	804.95	54.9	325.1	55.0	326.2	4.82
13:00:00	46.44	799.86	54.3	317.6	54.3	324.6	4.22
13:05:00	46.18	751.3	51.5	320.3	53.6	323.1	4.36
13:10:00	45.45	744.58	51.6	323.6	52.8	321.6	4.42
13:15:00	44.99	739.07	50.1	321.5	52.0	320.2	4.38
13:20:00	43.77	731.54	49.8	311	51.2	318.9	4.75
13:25:00	43.6	713.27	51.3	312.6	50.4	317.6	4.81
13:30:00	43.42	710.26	50.9	323.3	49.5	316.3	4.08
13:35:00	42.71	700.64	49.7	310.6	48.7	315.1	4.19
13:40:00	42.64	661.77	46.8	309.1	47.8	314.0	4.42
13:45:00	42.27	655.11	45.5	316.2	46.9	312.9	4.74
13:50:00	41.32	646.4	45.5	309.7	46.0	311.9	4.75
13:55:00	40.98	643.5	45	303.8	45.1	310.9	4.69
14:00:00	40.97	640.6	42.7	307.1	44.1	309.9	4.77
14:05:00	40.9	638.45	44.4	315.2	43.2	309.0	4.56
14:10:00	40.7	635.56	43	305.5	42.2	308.2	4.13
14:15:00	40.58	581.37	41.7	304.9	41.2	307.3	4.73
14:20:00	40.46	565.29	39.3	309.2	40.2	306.5	4.04
14:25:00	40.45	563.41	39.6	304.6	39.2	305.8	4.01
14:30:00	40.36	557.01	39.7	300.8	38.2	305.0	4.85
14:35:00	39.82	530.33	35.9	311.6	37.2	304.3	4.41
14:40:00	39.53	521.51	38.1	297	36.2	303.7	4.84
14:45:00	39.33	514.27	35.7	308.6	35.1	303.0	4.27
14:50:00	38.87	439.48	35.9	304.6	34.1	302.4	4.01

Waktu	Suhu (°C)	Intensitas radiasi (W/m^2)	Sudut Elevasi (°)	Sudut Azimuth (°)	NOAA Sudut Elevasi (°)	NOAA Sudut Azimuth (°)	V LDR (V)
14:55:00	38.84	404.81	32.9	296.6	33.0	301.8	3.72
15:00:00	38.63	398.09	32.7	302.5	32.0	301.2	3.47
15:05:00	37.32	394.91	31.7	301.9	30.9	300.7	3.27
15:10:00	37.23	364.11	30.6	303.1	29.9	300.1	3.46
15:15:00	37.03	340.87	30.3	298.5	28.8	299.6	4.17
15:20:00	36.62	289.34	30.2	295.5	27.7	299.2	4.69
15:25:00	36.23	250.12	30.3	296.2	26.6	298.7	4.62
15:30:00	35.9	233.65	30.1	297.9	25.5	298.2	4.55
15:35:00	34.71	210.55	30.3	304.5	24.4	297.8	4.14
15:40:00	34.24	200.55	30.1	299.6	23.3	297.4	4.1
15:45:00	34.1	150.32	30.5	296.8	22.2	297.0	4.68
15:50:00	33.56	143.44	30.6	289.1	21.1	296.6	4.4
15:55:00	33.13	120.42	29.9	303.8	20.0	296.3	4.69
16:00:00	32.66	125.26	30.5	292	18.9	295.9	4.57
16:05:00	32.25	112.98	30.2	291.7	17.8	295.6	3.92
16:10:00	32.25	109.62	30.2	296.4	16.7	295.2	4.28
16:15:00	31.96	88.19	30.1	293.5	15.6	294.9	4.72
16:20:00	31.47	86.61	30.6	288.3	14.4	294.6	3.94
16:25:00	31.39	81.72	30.5	293.1	13.3	294.3	3.97
16:30:00	30.58	81.49	30	295.8	12.2	294.1	3.53
16:35:00	30.37	78.89	30.3	291.1	11.1	293.8	3.45
16:40:00	30.05	71.74	30.4	293.5	9.9	293.6	3.36
16:45:00	30	65.69	30.7	291.1	8.8	293.3	3.32
16:50:00	29.79	62.79	30.5	290.6	7.7	293.1	3.28
16:55:00	29.71	61.58	30.6	293.7	6.6	292.9	3.36
17:00:00	29.48	54.16	30.5	293.8	5.4	292.7	3.37
17:05:00	29.2	21.54	29.9	292.3	4.3	292.5	3.26
17:10:00	28.78	13.43	30.5	290.9	3.2	292.3	3.21
17:15:00	28.75	10.23	30.4	290.8	2.1	292.1	2.98
17:20:00	28.7	4.21	30.2	290.7	1.1	291.9	2.78
17:25:00	28.49	3.32	30.2	289.9	0.1	291.8	2.23
17:30:00	28.12	2.12	30.6	290	-1.4	291.6	1.98

BIODATA PENULIS

Muhammad Ardiansyah, lahir di Gresik pada tanggal 4 November 1995 dari pasangan ayah bernama Fatah Yasin dan ibu bernama Kasiati. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pada tahun 2008 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di Minu Trate Putera Gresik, tiga tahun berikutnya pada tahun 2011 menyelesaikan pendidikan SMP di SMP Negeri 3 Gresik, pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan SMA di SMA Negeri 1 Gresik. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Fisika ITS. Selama masa studinya, penulis juga turut aktif di beberapa organisasi. Pada tahun 2016/2017 penulis diamanahi menjadi wakil kepala departemen kesejahteraan mahasiswa HMTF-ITS. Penulis pun turut aktif menjadi asisten laboratorium pengukuran fisis teknik fisika ITS. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, Anda dapat menghubungi melalui nomor: 08977352100 dan atau email: *ardiakar@gmail.com*