

**RANCANG BANGUN *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN  
LENSA FRESNEL BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* UNTUK  
OPTIMASI *DAYA OUTPUT SOLAR CELL***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RIFKI MOHAMAD KURNIAWANSYAH  
1957041011**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN LENSA FRESNEL BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* UNTUK OPTIMASI *DAYA OUTPUT SOLAR CELL*

Oleh

**Rifki Mohamad Kurniawansyah**

Telah direalisasikan pembuatan alat *dual axis solar tracker* menggunakan lensa fresnel yang bertujuan untuk mengoptimalkan *daya output* pada *solar cell*. Sistem *solar tracker* dimonitoring menggunakan *website* yang menampilkan nilai tegangan (volt), arus (ampere), sudut kemiringan ( $^{\circ}$ ), dan *daya output* (watt) secara *realtime*. Alat *dual axis solar tracker* ini dirancang menggunakan panel surya 20 Wp, lensa fresnel, *Solar Charger Controller*, *Accumulator*, Arduino Nano, ESP32, *Buck Converter*, motor driver L298N, sensor FZ0430 sebagai pengukur tegangan, sensor ACS712 sebagai pengukur arus, dan sensor MPU6050 sebagai pengukur sudut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data mengenai tegangan, arus, sudut kemiringan, daya, intensitas cahaya, dan suhu selama 19 data dalam 1 hari, Pengambilan data dilakukan selama 7 hari tanpa menggunakan lensa dan 7 hari menggunakan lensa. Alat ini mampu mengukur nilai tegangan listrik dengan tingkat error sebesar 1,88%, akurasi sebesar 98,12%, dan presisi sebesar 99,15%. Pada pengukuran arus listrik memiliki tingkat error sebesar 3,82%, akurasi sebesar 96,18%, dan presisi sebesar 96,84%. Pada pengukuran cahaya memiliki tingkat error sebesar 1,85%, akurasi sebesar 98,15%, dan presisi sebesar 98,78%. Pada pengukuran sudut memiliki tingkat error sebesar 5,95% dan akurasi sebesar 94,05%. Sistem *dual axis solar tracker* menggunakan lensa memiliki efisiensi daya sebesar 20,09% dibandingkan *dual axis solar tracker* tanpa menggunakan lensa.

**Kata kunci:** *Dual Axis*, IoT, Lensa Fresnel, *Solar Tracker*

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF DUAL AXIS SOLAR TRACKER USING FRESNEL LENS BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT) FOR OPTIMIZING SOLAR CELL OUTPUT POWER**

**By**

**Rifki Mohamad Kurniawansyah**

The creation of a dual-axis solar tracking device using a Fresnel lens has been realized, with the aim of optimizing the power output of the solar cell. The solar tracker system is monitored through a website that displays real-time values of voltage (volts), current (amperes), tilt angle ( $^{\circ}$ ), and output power (watts). This dual-axis solar tracking tool is designed using a 20 Wp solar panel, a Fresnel lens, a Solar Charger Controller, an Accumulator, an Arduino Nano, an ESP32, a Buck Converter, an L298N motor driver, an FZ0430 sensor as a voltage meter, an ACS712 sensor as a current meter, and an MPU6050 sensor as an angle gauge. The research method involved collecting data on voltage, current, tilt angle, power, light intensity, and temperature for 19 data points in one day. Data collection was carried out for seven days without using lenses and seven days using lenses. This tool is capable of measuring electric voltage values with an error rate of 1,88%, an accuracy of 98,12%, and a precision of 99,15%. The electric current measurement has an error rate of 3,82%, an accuracy of 96,18%, and a precision of 96,84%. Light measurements have an error rate of 1,85%, an accuracy of 98,15%, and a precision of 98,78%. The angle measurement has an error rate of 5,95% and an accuracy of 94,05%. The dual-axis solar tracker system using lenses has a power efficiency of 20,09% compared to dual-axis solar trackers without using lenses.

**Keywords:** Dual Axis, Fresnel Lens, IoT, Solar Tracker

**RANCANG BANGUN *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN  
LENSA FRESNEL BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* UNTUK  
OPTIMASI *DAYA OUTPUT SOLAR CELL***

**Oleh**

**RIFKI MOHAMAD KURNIAWANSYAH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**



Judul Skripsi : Rancang Bangun *Dual Axis Solar Tracker*  
Menggunakan Lensa Fresnel Berbasis *Internet of Things* (IoT) Untuk Optimasi Daya Output Solar Cell

Nama Mahasiswa : Rifki Mohamad Kurniawansyah


Nomor Pokok Mahasiswa : 1957041011

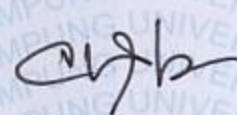
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

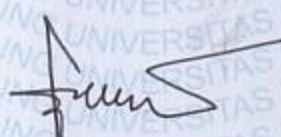


Bandar Lampung, 8 November 2023

  
Drs. Amir Supriyanto, M.Si.  
NIP. 196504071991111001

  
Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.  
NIP. 199011252019032018

2. Ketua Jurusan Fisika

  
Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.  
NIP. 198010102005011002



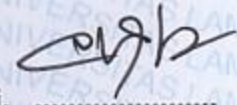
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



Sekretaris : **Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 November 2023

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 November 2023  
Penulis,



Rifki Mohamad Kurniawansyah  
NPM. 1957041011



## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Rifki Mohamad Kurniawansyah. Penulis dilahirkan di Bekasi pada 27 Agustus 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Teteng Supriatna dan Almarhumah Ibu Iyoh Masruroh. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Jatimulya 09 tahun 2013, SMPN 04 Tambun Selatan tahun 2016 dan SMAN 05 Tambun Selatan tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur mandiri SMMPTN tahun 2019. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung pada organisasi Komunitas Kreativitas (Kukis) tahun 2019 – 2020 sebagai anggota divisi elektronika, Badan Eksekutif Mahasiswa tingkat Fakultas (BEMF) periode 2020 – 2021 sebagai anggota dinas Isu dan Pergerakan (Isper), Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode 2020 – 2021 sebagai anggota bidang Komunikasi dan Informasi (Kominfo). Penulis pernah menjadi asisten praktikum Sistem Akuisisi dan Transmisi Data.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (P3TKEBTKE) Bogor pada tahun 2022 dengan judul “Pra Studi Kelayakan Pembangunan PLTS Terapung di Waduk Riam Kanan Menggunakan *Software* PVSYST”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan Periode II tahun 2022 di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.



## **MOTTO**

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”*

**- Q.S. Al-Insyirah Ayat 5-6**

*“Agama tanpa ilmu adalah buta. Ilmu tanpa agama adalah lumpuh”*

**- Albert Einstein**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah SWT, Karya ini saya persembahkan kepada:

### *Kedua Orangtuaku*

**Bapak Teteng Supriatna dan Almarhumah Ibu Iyoh Masruroh**

Terimakasih atas semua doa, dukungan moril serta materi, dan harapan yang telah diberikan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini.

### *Kakak-kakakku*

Terimakasih telah memberikan semangat, bantuan, dan dukungan kepadaku baik dalam bentuk materi dan doa.

### *Adik-adikku*

Terimakasih telah memberikan semangat, bantuan, dukungan dan doa kepadaku.

Almamaterku tercinta

**“UNIVERSITAS LAMPUNG”**

## KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**RANCANG BANGUN *DUAL AXIS SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN LENSA FRESNEL BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* UNTUK OPTIMASI *DAYA OUTPUT SOLAR CELL*”**”. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan alam Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya. Semoga kita semua dapat memperoleh pertolongan beliau di hari akhir kelak. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.****

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi penambah referensi dan rujukan terhadap pengembangan riset *dual axis solar tracker* menggunakan lensa fresnel berbasis *internet of things* selanjutnya.

Bandar Lampung, 8 November 2023  
Penulis,

Rifki Mohamad Kurniawansyah  
NPM. 1957041011



## SANWACANA

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Menggunakan Lensa Fresnel Berbasis *Internet of Things* (IoT) Untuk Optimasi Daya Output Solar Cell”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si., sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan koreksi, kritik serta saran yang membangun selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Gurus Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan MIPA Universitas Lampung.
7. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

8. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Kedua Orang Tua Penulis, Bapak Teteng Supriatna dan Almarhumah Ibu Iyoh Masruroh yang telah memberikan perhatian, doa, nasihat, dan dukungan kepada penulis selama menjalani kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
10. Mentari Medinawati selaku kakak penulis yang telah memberikan semangat, doa, dukungan moril serta materi selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
11. Eriyadit Ramadhansyah selaku kakak penulis, Saddam Mohamad Taufiqurahman, Kemal Mohamad Husni Tahir selaku adik penulis yang telah memberikan semangat, doa, dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
12. Muhammad Asrizal, Imtiyas Azzahra, Daffa Abdul Malik, Muhammad Ridwan, Aryu Kusmita, Aulia Nofidzhar, Haposan Sihombing, Razka Wildan, Ester, Rhabecca, Lidya, Ruth selaku sahabat penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
13. Teman-teman satu perjuangan Fisika angkatan 2019, keluarga besar Himafi FMIPA Unila, yang telah bersama-sama dengan penulis dalam menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis agar bisa menjalani kehidupan yang akan datang.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala kebikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 8 November 2023

Rifki Mohamad Kurniawansyah

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	5
1.4. Manfaat Penelitian .....	5
1.5. Batasan Masalah.....	5



## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Penelitian Terkait .....	6
2.2	Energi Surya.....	12
2.3	Panel Surya .....	13
2.3.1	Prinsip Kerja Sel Surya.....	13
2.3.2	Jenis – Jenis Panel Surya .....	15
2.3.3	Karakteristik Panel Surya .....	15
2.3.4	<i>Solar Tracker</i> .....	17
2.4	<i>Solar Charge Controller (SCC)</i> .....	19
2.5	Arduino Nano.....	20
2.6	NodeMCU ESP32 .....	22
2.7	Motor Servo MG995 .....	23
2.8	Sensor <i>Light dependent resistor (LDR)</i> .....	25
2.9	Sensor Arus ACS712 .....	26
2.10	Sensor Tegangan FZ0430 .....	27
2.11	Sensor MPU6050 .....	28
2.12	<i>Internet of Things</i> .....	29
2.13	Driver L298N .....	31
2.14	<i>Buck Converter</i> .....	32

## III. METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	34
3.2	Alat dan Bahan.....	34
3.3	Prosedur Penelitian.....	36
3.3.1	Perancangan Desain Alat .....	38
3.3.2	Perancangan Perangkat Keras.....	40
3.3.3	Perancangan Perangkat Lunak.....	42
3.3.4	Karakterisasi Sensor .....	44
3.3.5	Pembuatan Alat.....	47
3.3.6	Pengambilan dan Analisis Data .....	51

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	55
4.2	Kalibrasi Sensor .....	58
4.2.1	Kalibrasi Sensor Tegangan FZ0430 .....	58
4.2.2	Kalibrasi Sensor Arus ACS712 .....	60
4.2.3	Kalibrasi Sensor Cahaya Light Dependent Resistor (LDR) .....	62
4.2.4	Kalibrasi Sensor Sudut MPU6050.....	64
4.3	Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) Sistem Monitoring .....	67
4.3.1	Pembuatan Komposisi Tampilan ( <i>Front-End</i> ) .....	67
4.3.2	Pembuatan <i>Server Database (Back-End)</i> .....	73
4.3.3	Pengiriman Data Sensor Ke <i>Server Database</i> .....	74

4.3.4	Pengiriman Data dari <i>Server Database</i> ke Laman Web .....	77
4.4	Realisasi Sistem <i>Solar Tracker</i> .....	80
4.4.1	Servo Horizontal .....	80
4.4.2	Servo Rotasi .....	82
4.5	Pengujian Keseluruhan Sistem dan Komponen .....	84
4.6	Realisasi Alat dan Sistem Monitoring.....	86
4.6.1	Data Uji Tanpa Menggunakan Lensa Fresnel .....	86
4.6.2	Data Uji Menggunakan Lensa Frenel .....	88
4.6.3	Perbandingan Daya <i>Output</i> Tanpa Lensa dan dengan Lensa ...	90
4.6.4	Hubungan Sudut Kemriingan Panel Surya dengan Daya .....	92

## V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan .....	95
5.2	Saran.....	95

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Jenis – Jenis Lensa.....	6
<b>Gambar 2.2</b> Panel Surya Sistem Statis dan <i>Tracker</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Kemiringan Panel Surya Posisi Tegak Lurus dan $\theta$ .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Sistem <i>Dual axis solar tracker</i> .....	9
<b>Gambar 2.5</b> Diagram Blok Sistem.....	10
<b>Gambar 2.6</b> Hasil Pengujian <i>Ouput Solar Tracker</i> .....	11
<b>Gambar 2.7</b> Jenis – Jenis Panel Surya .....	13
<b>Gambar 2.8</b> Prinsip Kerja Sel Surya.....	14
<b>Gambar 2.9</b> Kurva <i>I – V</i> Pada Modul Surya.....	16
<b>Gambar 2.11</b> <i>Single axis solar tracker</i> .....	18
<b>Gambar 2.11</b> <i>Dual axis solar tracker</i> .....	19
<b>Gambar 2.12</b> Jenis – Jenis <i>Solar Charge Controller (SCC)</i> .....	20
<b>Gambar 2.13</b> Arduino Nano .....	21
<b>Gambar 2.14</b> Papan NodeMCU ESP32.....	23
<b>Gambar 2.15</b> Rangkaian Motor Servo MG995 .....	24
<b>Gambar 2.16</b> Sinyal Modulasi Lebar Pulsa PWM .....	24
<b>Gambar 2.17</b> Rangkaian Sensor LDR .....	25



<b>Gambar 2.18</b> Rangkaian Sensor Arus ACS712.....	27
<b>Gambar 2.19</b> Rangkaian Sensor Tegangan FZ0430.....	28
<b>Gambar 2.20</b> Sensor MPU6050.....	29
<b>Gambar 2.21</b> Konsep <i>Internet of Things</i> .....	30
<b>Gambar 2.22</b> Motor Driver L298N.....	31
<b>Gambar 2.23</b> DC-DC <i>Converter</i> .....	32
<b>Gambar 2.24</b> Sistem Rangkaian <i>Buck Converter</i> .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	37
<b>Gambar 3.2</b> Jarak Ideal Konsentrator Lensa Fresnel dengan Panel Surya.....	38
<b>Gambar 3.3</b> Desain Alat Keseluruhan .....	39
<b>Gambar 3.4</b> Desain Letak Mikrokontroler dan Sensor Keseluruhan.....	40
<b>Gambar 3.5</b> Diagram Blok Perancangan Sistem .....	41
<b>Gambar 3.6</b> Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras .....	42
<b>Gambar 3.7</b> Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak .....	43
<b>Gambar 3.8</b> Tampilan Antarmuka <i>Website</i> .....	44
<b>Gambar 3.9</b> Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan.....	45
<b>Gambar 3.10</b> Grafik Kalibrasi Sensor ACS712 .....	46
<b>Gambar 3.11</b> Grafik Kalibrasi Sensor LDR .....	47
<b>Gambar 3.12</b> Rangkaian Panel Surya dengan SCC dan Aki .....	48
<b>Gambar 3.13</b> Rangkaian Sensor LDR dan Motor Servo .....	48
<b>Gambar 3.14</b> Rangkaian Sensor Tegangan .....	49
<b>Gambar 3.15</b> Rangkaian Sensor ACS712 .....	50
<b>Gambar 3.16</b> Rangkaian Sensor MPU6050.....	50

<b>Gambar 3.17</b> Rangkaian Keseluruhan Alat .....	51
<b>Gambar 3.18</b> Data Uji Daya Panel Surya Terhadap Waktu .....	53
<b>Gambar 3.19</b> Data Uji Daya Panel Surya Terhadap Orientasi Kemiringan .....	53
<b>Gambar 3.20</b> Perbandingan Daya <i>Output</i> .....	54
<b>Gambar 4.1</b> Realisasi Alat Tampak Keseluruhan.....	55
<b>Gambar 4.2</b> (a) Posisi Servo (b) Tampak Panel Surya Sisi Bawah.....	56
<b>Gambar 4.3</b> <i>Wiring</i> Kontrol <i>Solar Tracker</i> Tampak Dalam.....	57
<b>Gambar 4.4</b> Sistem <i>Solar Tracker</i> Menggunakan Lensa Fresnel.....	58
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan.....	59
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Kalibrasi Sensor Arus.....	61
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Kalibrasi Sensor LDR .....	63
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Kalibrasi Sensor MPU6050.....	66
<b>Gambar 4.9</b> Sistem <i>Database</i> Pada <i>PhpMyAdmin</i> .....	74
<b>Gambar 4.10</b> Posisi Panel Surya Hadap Timur, Barat, dan $90^0$ .....	81
<b>Gambar 4.12</b> Posisi Panel Surya Hadap Timur dan Barat (Servo Rotasi) .....	83
<b>Gambar 4.12</b> Pengujian <i>Server Database</i> .....	85
<b>Gambar 4.13</b> Pengujian Laman Web.....	85
<b>Gambar 4.14</b> Data Uji Tanpa Menggunakan Lensa Fresnel .....	87
<b>Gambar 4.15</b> Data Uji Menggunakan Lensa Fresnel .....	89
<b>Gambar 4.16</b> Perbandingan Daya <i>Output</i> .....	91
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Hubungan Sudut Kemiringan Tanpa Lensa .....	92
<b>Gambar 4.18</b> Grafik Hubungan Sudut Kemiringan Menggunakan Lensa .....	93

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap <i>Output</i> Panel Surya.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Arduino Nano .....	21
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi NodeMCU ESP32.....	23
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Sensor ACS712.....	27
<b>Tabel 3.1</b> Rancangan Jadwal Penelitian .....	34
<b>Tabel 3.2</b> Alat yang digunakan.....	35
<b>Tabel 3.3</b> Bahan yang digunakan .....	35
<b>Tabel 3.4</b> Perangkat Lunak yang digunakan .....	36
<b>Tabel 3.5</b> Nilai Kalibrasi Sensor Tegangan.....	45
<b>Tabel 3.6</b> Nilai Kalibrasi Sensor ACS712.....	46
<b>Tabel 3.7</b> Nilai Kalibrasi Sensor LDR .....	46
<b>Tabel 3.8</b> Nilai Error Sensor MPU6050 .....	47
<b>Tabel 3.9</b> Data Uji Sebelum Menggunakan Lensa Fresnel .....	52
<b>Tabel 3.10</b> Data Uji Setelah Menggunakan Lensa Fresnel .....	52
<b>Tabel 3.11</b> Perbandingan Daya <i>Output</i> .....	53
<b>Tabel 4.1</b> Kalibrasi Sensor Tegangan.....	60
<b>Tabel 4.2</b> Kalibrasi Sensor Arus ACS712.....	62
<b>Tabel 4.3</b> Kalibrasi Sensor Cahaya LDR .....	64

<b>Tabel 4.4</b> Kalibrasi Sensor Sudut MPU6050 .....	66
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Daya <i>Output</i> .....	90

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Matahari sebagai sumber energi terbarukan berpotensi untuk mengatasi permasalahan *global warming* akibat sisa pembakaran dari bahan bakar minyak. Pemanfaatan matahari sebagai sumber energi listrik di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal (Suryawinata *et al.*, 2017). Indonesia terletak digaris khatulistiwa, memiliki cuaca dengan kondisi cerah pertahun sekitar 2975 jam atau 124 hari, memiliki sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari diseluruh wilayahnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi untuk memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai energi alternatif pembangkit listrik (Anhar *et al.*, 2017).

Dalam bidang energi terbarukan, khususnya pada panel surya, besar daya *output* yang dihasilkan oleh panel surya ditentukan oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya yang berubah-ubah dan perubahan suhu, arah datangnya sinar matahari setiap waktu menyebabkan daya keluaran panel surya ikut berfluktuasi (Fachri *et al.*, 2015). Untuk menghitung parameter efisiensi dari *output* panel surya, perlu dilakukan metode pengukuran menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT adalah kinerja pada panel surya yang menghasilkan daya *output* maksimum. Daya *output* maksimum dapat dilakukan menggunakan pengujian pada panel surya. Pengujian tersebut memerlukan iluminasi buatan yang disebut *Standard Test Conditions* (STC) dengan iluminasi sebesar 1.000 W/m<sup>2</sup> sehingga menghasilkan *output* panel surya maksimal (Windarko *et al.*, 2020).

Dalam pemakaiannya dari waktu ke waktu, kapasitas daya listrik dari panel surya terganggu karena adanya jamur dan kotoran pada permukaan panel surya. Berkurangnya daya seringkali tidak diketahui, kecuali dengan melakukan pengukuran secara terus-menerus. Pengukuran secara terus-menerus (*real time*) lebih efektif dalam pemantauan (*monitoring*) kapasitas daya panel surya secara optimal (Rarumangkay *et al.*, 2021). Pemantauan dalam kondisi *realtime* diperlukan untuk meningkatkan keandalan, evaluasi dan implementasi. Sistem *Internet of Things* (IoT) mampu menjawab permasalahan tersebut, *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi yang memanfaatkan konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus yang memiliki kemampuan seperti berbagi data dan kontrol sistem. Pengembangan sistem *internet of things* (IoT) untuk pemantauan daya panel surya dapat diterapkan (Kurniansyah *et al.*, 2020).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ratnasari (2022) yang berjudul “Monitoring Daya Listrik Pada Panel Surya Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram” bertujuan untuk mengukur panel surya kapasitas 20 Wp sistem statis (tidak bergerak) dengan pengukuran selama 3 hari. Pada pengukuran hari pertama didapatkan nilai rata – rata daya *output* selama 6 jam sebesar 9,52 Wp. Pengukuran hari kedua didapatkan rata-rata daya *output* sebesar 9,56 Wp. Selanjutnya pada pengukuran hari ketiga didapatkan rata-rata daya *output* sebesar 9,59 WP.

Panel surya jenis statis memiliki kekurangan yaitu, tidak dapat menyesuaikan sudut panel surya dengan arah datangnya sinar matahari, sehingga panel surya jenis statis tidak dapat memaksimalkan *output* yang dihasilkan. Karena hal tersebut, diperlukan pengembangan panel surya yang dapat mengikuti arah datang sinar matahari menggunakan motor penggerak dan sensor cahaya. Sistem tersebut dinamakan *solar tracker*. Sistem *solar tracker* terdapat 2 jenis, *single axis solar tracker* dan *dual axis solar tracker*. Panel surya dengan sistem *tracker* akan menghasilkan *output* daya yang lebih besar dibanding panel surya sistem statis (Uddin *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Syahab *et al* (2019) yang berjudul “Rancang Bangun *Solar Tracker* Otomatis Pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis



*Internet of Things*” melakukan pengukuran *output* daya panel surya kapasitas 20 WP berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan dengan sistem dinamis satu sumbu (*single axis*). Panel surya bergerak satu arah (timur – barat). Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan pada pukul 1 siang sampai pukul 4 sore dengan interval pengambilan data adalah selama 15 menit. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, didapatkan tegangan panel surya tertinggi sebesar 22,85 volt yang terjadi pukul 14:45. Selanjutnya arus tertinggi didapatkan sebesar 0,67 ampere yang terjadi pukul 13:30. *Output* daya tertinggi didapatkan sebesar 13 Wp yang terjadi pada pukul 13:30 dan rata-rata daya selama pengukuran sebesar 10 Wp. Hal tersebut menunjukkan panel surya dengan kapasitas yang sama pada sistem dinamis (*tracker*) satu sumbu memiliki *output* yang lebih besar dari panel surya sistem statis.

Sistem *single axis solar tracker* memiliki efisiensi *output* daya yang rendah jika dibandingkan dengan sistem dua sumbu (*dual axis solar tracker*). Sistem *dual axis solar tracker* memiliki 2 sumbu putaran menggunakan 2 motor penggerak sehingga memiliki sudut azimut yang lebih baik terhadap pancaran sinar matahari (Kurniawan & Taufik, 2021). Karena hal tersebut, maka diperlukan pengembangan *single axis solar tracker* menjadi *dual axis solar tracker* agar daya *output* panel surya dapat ditingkatkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayati (2020) berjudul “Sistem Pembangkit Panel Surya dengan *Dual Axis Solar Tracker*” melakukan perbandingan pengukuran panel surya kapasitas 50 WP dengan perbandingan pengukuran berdasarkan sistem *dual axis solar tracker* dan *single axis solar tracker*. Pengujian dilakukan pada pukul 8 pagi sampai 4 sore dengan interval pengambilan data selama 30 menit. Sistem *dual axis solar tracker* menghasilkan rata-rata *output* daya selama pengukuran adalah 10,71 watt. Sedangkan pada sistem *single axis solar tracker* menghasilkan rata-rata *output* daya sebesar 9,54 watt. Berdasarkan pengukuran tersebut, *output* daya yang dihasilkan *dual axis solar tracker* memiliki perbedaan sekitar 10 % lebih besar dibandingkan dengan daya *output single axis solar tracker*.

Sel surya akan menghasilkan daya *output* yang sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang menyinari permukaannya. Intensitas matahari dipengaruhi oleh letak panel surya berada. Intensitas cahaya matahari dapat ditingkatkan menggunakan lensa cembung yang disusun di atas panel surya (Rusmaryadi *et al.*, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Priyanto (2019) berjudul “Pemaksimalan Daya Keluaran Sel Surya Menggunakan Lensa Cembung” melakukan pengukuran daya *output* sel surya tanpa menggunakan lensa dan menggunakan lensa yang disusun secara mendatar dan disusun melengkung. Pengukuran dilakukan selama 5 hari dan lensa yang disusun secara mendatar mampu menaikkan daya *output* sel surya sebesar 25 %, sedangkan lensa cembung yang disusun secara melengkung dapat menaikkan daya *output* sebesar 53,94 %.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang sudah dilakukan, maka perlu dirancang sistem yang dapat menggerakkan panel surya secara dua arah (*dual axis solar tracker system*) dengan sumbu pertama bergerak timur – barat dan sumbu kedua bergerak rotasi. Sistem digerakkan menggunakan motor servo sebanyak 2 buah. Untuk mengoptimalkan radiasi cahaya matahari yang diterima oleh panel surya, maka perlu ditambahkan reflektor lensa fresnel yang memiliki dimensi lebih besar dari panel surya. Lensa fresnel diletakkan di atas panel surya dengan jarak tertentu dan bergerak mengikuti panel surya. *Dual axis solar tracker* yang dirancang berbasis *Internet of Things* (IoT) pada *website* yang menunjukkan nilai tegangan, arus, daya dan orientasi kemiringan panel surya sehingga dapat dilakukan pemantauan dari jarak jauh sekalipun.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana *output* daya pada panel surya sebelum dan setelah diberikan lensa fresnel?
2. Bagaimana rasio *output* daya yang dihasilkan pada panel surya terhadap orientasi kemiringan panel surya?
3. Bagaimana efisiensi daya *output* panel surya setelah diberikan lensa fresnel?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan perbandingan pengukuran daya *output* panel surya sebelum dan sesudah diberikan lensa fresnel yang ditunjukkan pada *website*.
2. Mencari hubungan antara sudut kemiringan panel surya dengan daya yang dihasilkan panel surya sebelum dan sesudah diberikan lensa fresnel.
3. Menghitung efisiensi *output* daya *solar tracker* sesudah diberikan lensa fresnel.

### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengatasi permasalahan pada wilayah yang memiliki intensitas radiasi matahari yang rendah.
2. Memonitoring daya pada panel surya dengan konsep *internet of things* (IoT) sehingga pengguna dapat memantau parameter pengukuran pada sistem dari jarak jauh sekalipun.

### 1.5. Batasan Masalah

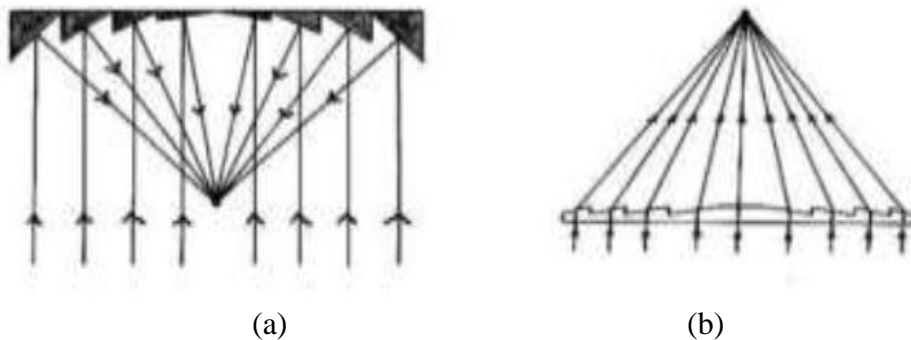
Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya jenis *polycrystalline* kapasitas 20 Wp dengan dimensi panjang 45 cm dan lebar 35 cm.
2. Penelitian ini menggunakan lensa fresnel sebagai optimasi iradiasi matahari yang diterima pada permukaan panel surya dengan dimensi panjang 55 cm, lebar 45 cm, dan panjang fokus lensa 70 cm.
3. Arduino Nano sebagai pengendali motor servo dan pembacaan data ADC sensor LDR dan ESP32 sebagai pengirim data sensor ke *website*.
4. Menggunakan sensor arus ACS712 sebagai pengukur arus, sensor FZ0430 sebagai pengukur tegangan dan sensor MPU6050 sebagai pengukur sudut panel surya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

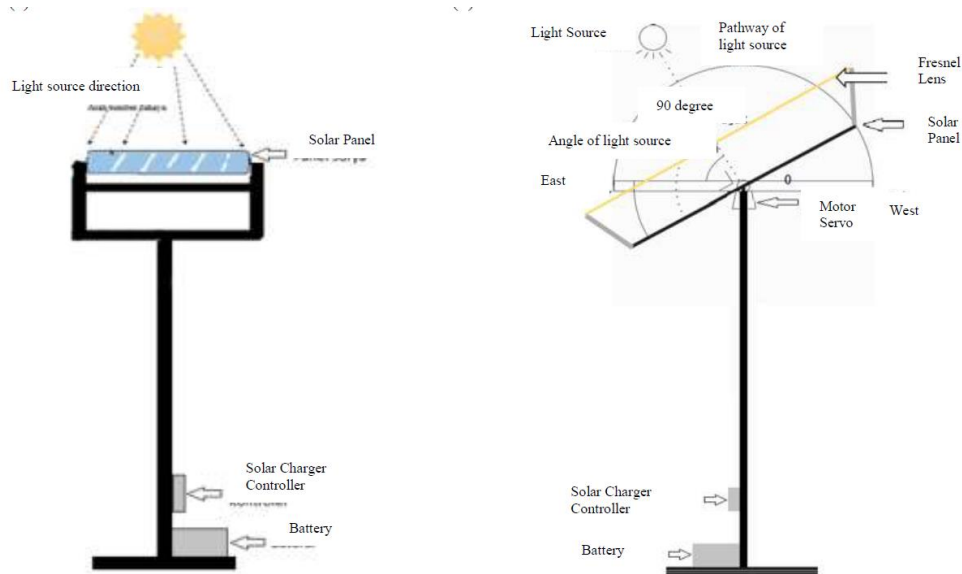
### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian dijadikan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini. Berdasarkan penelitian dari Hidayanti *et al* (2019) yang berjudul “Desain *Solar Tracker* Pada Panel Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel” dengan membandingkan *output* daya panel surya sistem statis dan panel surya *single axis tracker system* yang ditambahkan lensa fresnel. Lensa fresnel diletakkan di atas panel surya guna memfokuskan radiasi matahari yang dipancarkan oleh matahari. Radiasi matahari dapat difokuskan dengan dua cara yaitu pemantulan (*reflection*) dan pembiasan (*refraction*) yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** (a) Lensa Reflektif (b) Lensa Refraktif (Hidayanti *et al.*, 2019)

Lensa fresnel yang digunakan pada penelitian merupakan jenis lensa bias (refraktif) dengan dimensi yang lebih besar dari panel surya yang memiliki dimensi panjang 60 cm dan lebar 30 cm, sedangkan panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 10 *watt peak* (Wp) dengan dimensi panjang 32 cm dan lebar 29 cm. Lensa tersebut memiliki titik fokus sejauh 30 cm.

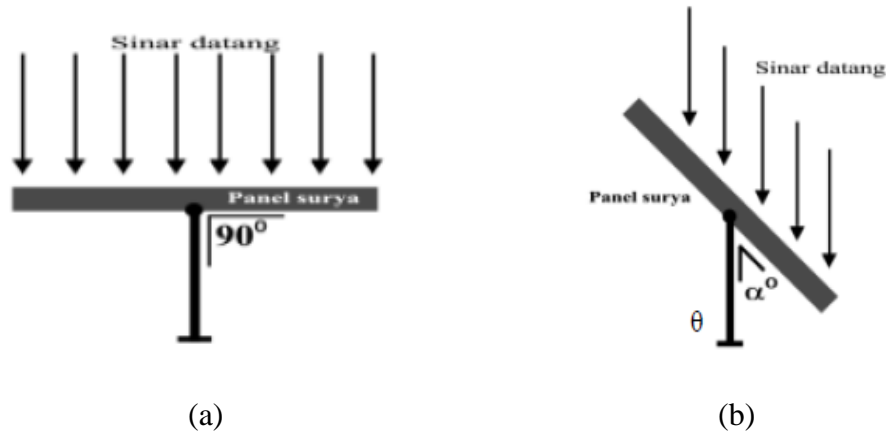


**Gambar 2.2** (a) Panel Surya Sistem Statis (b) Panel Surya Sistem *Tracker* dan Lensa Fresnel (Hidayanti *et al.*, 2019)

Berdasarkan **Gambar 2.2** menunjukkan panel surya sistem statis dan panel surya sistem *tracker* dengan lensa fresnel. Pada sistem statis posisi panel surya diatur dengan posisi  $0^\circ$  guna mendapatkan arah sinar matahari terhadap permukaan panel surya secara maksimal. Pada sistem *tracker* dengan lensa, lensa fresnel dirancang agar dapat mengikuti pergerakan panel surya sehingga sinar matahari yang dibiaskan oleh lensa menuju permukaan panel surya menghasilkan radiasi yang maksimal. Pengujian dilakukan selama 11 hari rentang 8 pagi – 4 sore dan menghasilkan *output* daya tertinggi pada hari kelima sebesar 2,367 watt dengan sistem statis dan 4,32 watt dengan sistem *tracker* menggunakan konsentrator lensa fresnel. Penelitian ini menunjukkan penggunaan sistem *tracker* dengan lensa meningkatkan *output* daya sebesar 79,8% dibandingkan dengan panel surya sistem statis (Hidayanti *et al.*, 2019).

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Hariningrum (2021) yang berjudul “Analisa Pengaruh Sudur Kemiringan Panel Surya 100 Wp Terhadap Daya Listrik” dengan menganalisa orientasi kemiringan panel surya terhadap keluaran daya panel. Proses pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan sekitar panel surya dan tegangan serta arus *output* panel surya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan sudut panel surya  $0^\circ$  -  $80^\circ$  dengan

perubahan sudut setiap  $10^\circ$ . **Gambar 2.3** menunjukkan ilustrasi sudut kemiringan panel surya terhadap sinar datang.



**Gambar 2.3** (a) Kemiringan Panel Surya Posisi Tegak Lurus dengan Sudut  $0^\circ$   
(b) Kemiringan Panel Surya dengan Posisi Sudut  $\theta$  (Hariningrum, 2021)

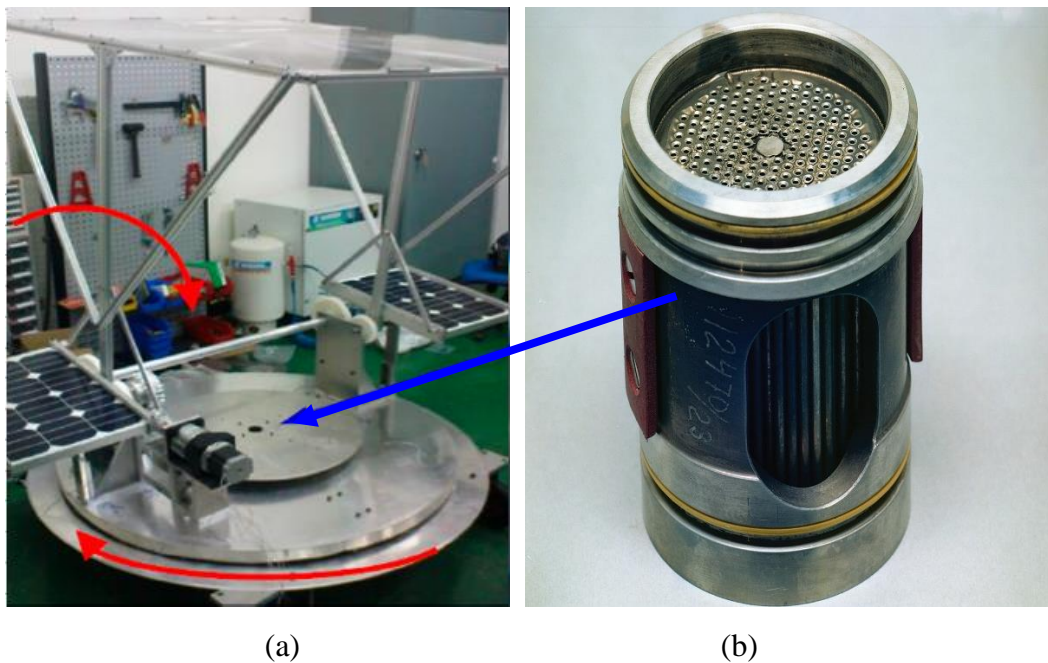
Berdasarkan **Gambar 2.3** menjelaskan sinar matahari yang datang terhadap permukaan panel surya yang berubah-ubah sehingga diperlukan penyesuaian sudut panel surya terhadap arah datang sinar matahari sehingga mengoptimalkan daya keluaran panel surya. Pengaruh tegangan, arus, intensitas cahaya, temperatur panel berdasarkan perubahan sudut kemiringan panel surya ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap *Output* Panel Surya

No.	Sudut Kemiringan ( $^\circ$ )	Intensitas Cahaya (lux)	Temperatur Panel ( $^\circ\text{C}$ )	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	0	37100	42,7	11,91	0,57
2	10	38500	42,4	11,90	0,57
3	20	39200	42,2	11,93	0,58
4	30	38900	42,2	11,96	0,74
5	40	37800	42,1	12	0,85
6	50	35400	42,1	11,95	0,51
7	60	32900	41,1	11,92	0,50
8	70	32100	40,1	11,81	0,44
9	80	29700	40,3	11,80	0,20

Berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan nilai keluaran daya maksimum diperoleh dengan kemiringan sudut sebesar  $40^\circ$  yang menghasilkan daya sebesar 12 volt dan arus 0,85 ampere (Hariningrum, 2021).

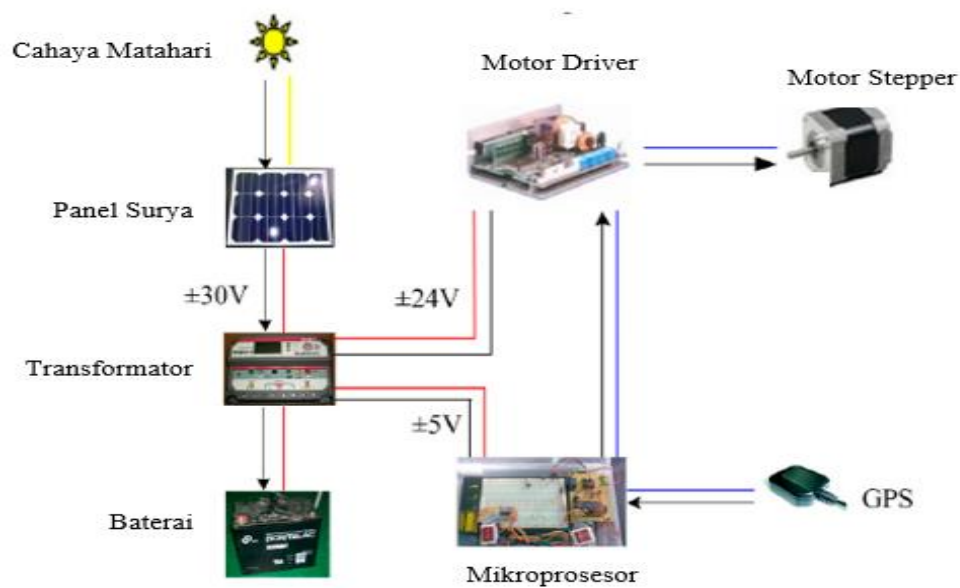
Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Cheng *et al* (2016) menggunakan konsentrator lensa fresnel dengan sistem panel surya dua sumbu (*dual axis*). Konsentrator lensa fresnel diletakkan di atas kedua panel surya yang berputar satu sumbu (utara – selatan). Pengujian pada penelitian ini dilakukan selama satu hari dengan rentang waktu 10 pagi – 5 sore dan dilakukan pengukuran setiap satu jam seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** (a) Sistem Secara Keseluruhan (b) Kepala Pemanas Mesin Stirling (Cheng *et al.*, 2016)

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah panel surya jenis *polycrystalline* dengan kapasitas 10 Wp sebanyak 2 buah. Kemudian menggunakan modul *global positioning system* (GPS) yang berguna untuk menentukan lokasi sistem dan menggunakan modul mikroprosesor sebagai pengendali motor stepper yang berfungsi untuk memutar posisi panel surya sehingga dapat bergerak untuk melacak sinar matahari sehingga dapat bergerak arah timur – barat dan utara – selatan. Diagram blok penelitian ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



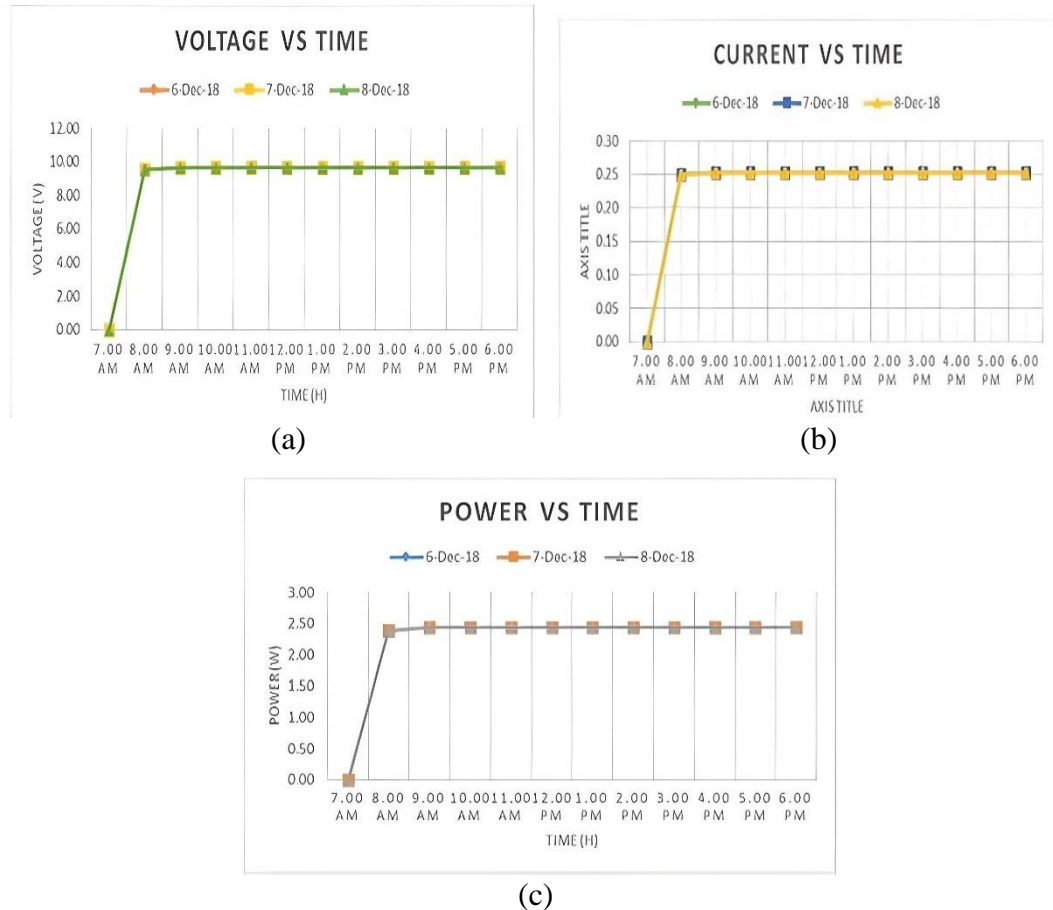


**Gambar 2.5** Diagram Blok Sistem (Cheng *et al.*, 2016)

Diagram blok tersebut menjelaskan cara kerja dari sistem saat radiasi matahari yang diterima oleh panel surya akan menghasilkan daya listrik yang kemudian diteruskan ke transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Transformator menghasilkan arus searah yang dapat disimpan dalam baterai dan sebagai catu daya mikroprosesor dan *driver* motor untuk menggerakkan motor stepper yang terhubung dengan panel surya. Selanjutnya, GPS berfungsi untuk menentukan titik koordinat dan zona waktu, kemudian data tersebut akan dikirimkan ke mikroprosesor, algoritma mikroprosesor dirancang dengan mensimulasikan jejak matahari, sehingga algoritma tersebut dapat menggerakkan motor stepper yang dihubungkan ke panel surya.

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Said *et al* (2020) terkait dengan panel surya pelacak matahari dua sumbu yang memanfaatkan *internet of things* (IoT). Penelitian ini menggunakan sensor LDR sebagai pelacak cahaya matahari, dua buah motor servo, sensor tegangan, sensor arus ACS712, mikrokontroler arduino dan modul WIFI ESP8266 sebagai pengirim informasi tegangan panel surya dan arus panel surya ke *website Ubidots*. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut mencakup 3 tahap yaitu, proses kerja dari panel surya dua sumbu, perancangan *software*, dan perancangan *hardware*. Pengujian dilakukan di luar ruangan selama 3 hari berturut-turut yang dilaksanakan pada pukul 8 pagi hingga 6 sore untuk

mendapatkan radiasi matahari yang maksimal. Respon dari masing-masing sensor ditampilkan dalam *website Ubidots* secara IoT berupa grafik yang diplot terhadap waktu ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** (a) Pengujian Tegangan ( $V$ ) Terhadap Waktu (b) Pengujian Arus ( $I$ ) Terhadap Waktu (c) Pengujian Daya ( $P$ ) Terhadap Waktu (Said *et al.*, 2020)

Berdasarkan grafik tersebut, sistem *solar tracker dual axis* mencatat parameter pengukuran selama 10 jam. Pada pukul 8 pagi panel surya menghasilkan tegangan sebesar 9,5 volt, kemudian meningkat menjadi 9,62 volt pada pukul 9 pagi, nilai tersebut konstan sampai akhir pengujian yaitu pukul 5 sore. Selanjutnya, panel surya menghasilkan nilai arus yang konstan selama pengujian yaitu sebesar 0,25 ampere. Pada pengukuran daya menghasilkan nilai yang konstan selama 10 jam yaitu sebesar 2,48 watt, perhitungan daya diperoleh dari perkalian antara tegangan dengan arus yang ditunjukkan pada **Persamaan 2.2**.

$$P = IV \quad (2.2)$$

dengan  $P$  sebagai daya *output* panel (watt),  $I$  sebagai arus *output* panel surya (ampere) dan  $V$  sebagai tegangan *output* panel surya (volt) (Said *et al.*, 2020).

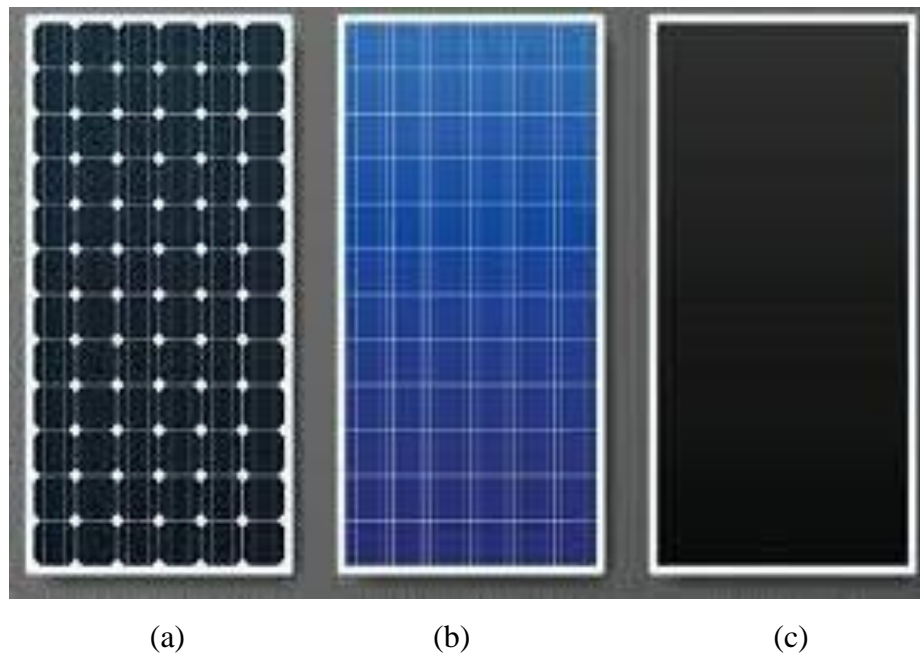
## 2.2 Energi Surya

Matahari adalah sumber energi yang berjumlah besar dan bersifat terus-menerus, khususnya energi elektro magnetik yang dipancarkan oleh matahari. Penggunaan tenaga surya tidak membutuhkan pembakaran sehingga pembakaran sehingga tidak menghasilkan gas buang berupa gas rumah kaca. Pemanfaatan energi matahari dilakukan dengan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Energi surya dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai 2 juta km<sup>2</sup> adalah sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari atau setara 112.000 *gigawatt peak* (GWp) yang didistribusikan. Indonesia memanfaatkan baru sekitar 10 *megawatt peak* (MWp), sehingga masih banyak dibutuhkan dan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Indonesia untuk dapat menghasilkan listrik (Sukmadjati, 2015).

Setiap hari matahari terbit di timur dan ketika semakin tinggi di langit, maka volume energinya meningkat hingga mencapai puncaknya pada tengah hari. Data yang paling penting dalam merencanakan suatu PLTS adalah radiasi matahari. Tingkat radiasi matahari dapat bersumber dari data primer dan data sekunder, yang paling akurat adalah data primer dengan cara melakukan pengukuran secara langsung tingkat radiasi di lokasi tersebut. Terdapat dua parameter pengukuran radiasi yang dipancarkan oleh matahari terhadap permukaan panel surya, yaitu radiasi sesaat (*irradiance*) dan radiasi waktu tertentu (*insolation*) *Irradiance* (*irradiance*) memiliki satuan watt/m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>) diukur menggunakan piranometer. Sedangkan jumlah energi matahari yang dihasilkan oleh radiasi matahari tersebut dalam waktu tertentu disebut *insolation* (*insolation*), dengan satuannya kWh/m<sup>2</sup>/hari diukur menggunakan pirheliometer (Artiningrum, 2019).

## 2.3 Panel Surya

Panel surya merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya umumnya tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Jenis panel surya yang umumnya mendominasi pada rumah-rumah adalah panel surya yang terdiri atas silikon. Sel silikon pada sel surya mempunyai struktur atom yang bersifat tunggal (*monocrystalline*), (*polycrystalline*) atau silikon lapisan tipis (*thin-film*). Bahan-bahan sel lain yang digunakan di dalam modul tenaga surya adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *copper indium* (CID) (Iskandar & Latief, 2018). Panel surya jenis *polycrystalline* dan *monocrystalline* ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

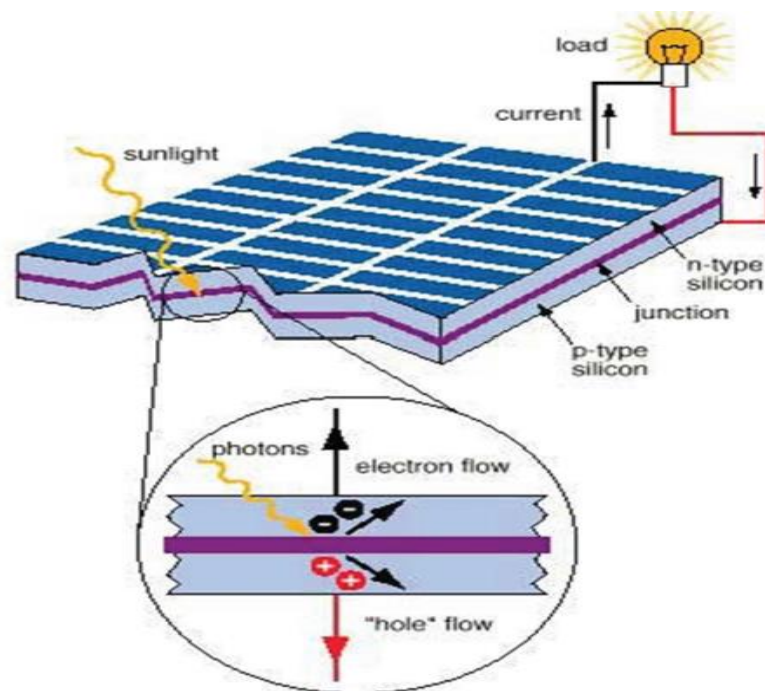


**Gambar 2.7** (a) Panel Surya Jenis *Monocrystalline* (b) Panel Surya Jenis *Polycrystalline* (c) Panel Surya Jenis *Thin-Film* (Widodo, 2019)

### 2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan silikon jenis n. Silikon jenis p adalah silikon yang bersifat positif akibat dari kekurangan elektron, sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negatif akibat dari kelebihan elektron. Ketika sel surya menerima radiasi surya (bermuatan foton) pada jenis p

dan jenis n maka muatan positif akan membentuk lubang (*hole*) dan muatan negatif akan membentuk elektron. Hal tersebut menyebabkan terciptanya polarisasi dimana *hole* bergerak menuju silikon jenis n, dengan menyambungkan kedua jenis silikon (jenis p dan jenis n) melalui suatu penghantar luar maka terjadi beda potensial diantara keduanya (Syafaruddin, 2010). Skema prinsip kerja sel surya ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Prinsip Kerja Sel Surya (Warsito *et al.*, 2013)

Sel surya membentuk susunan seri dan paralel. Saat sel surya disusun secara seri akan menambah nilai tegangan dan arus bernilai tetap, jika disusun secara paralel akan menambah nilai arus dan tegangan bernilai tetap. Gabungan dari beberapa sel surya disebut panel surya. Panel surya menghasilkan tegangan dan arus sehingga didapatkan nilai daya dari sebuah panel surya (watt). Daya *output* panel surya menghasilkan arus searah sehingga diperlukan baterai untuk menyimpan energi listrik dari *output* panel surya. Untuk mengendalikan *output* daya panel surya yang akan dialirkan menuju baterai maka diperlukan komponen yang disebut *solar charge controller* (SCC) (Warsito *et al.*, 2013).

### 2.3.2 Jenis – Jenis Panel Surya

#### a. Panel Surya Jenis *Monocrystalline*

Panel surya jenis *monocrystalline* adalah panel surya yang paling efisien dalam penggunaannya, panel surya ini menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Panel surya jenis ini dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik yang besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dengan kondisi yang kurang baik. Panel surya jenis *monocrystalline* memiliki efisiensi 15% dibanding dengan panel surya *polycrystalline*. Kelemahan panel surya jenis ini adalah tidak bekerja optimal apabila ditempat cahaya yang memiliki intensitas matahari rendah (tempat teduh).

#### b. Panel Surya Jenis *Polycrystalline*

Panel surya jenis *polycrystalline* adalah panel surya yang memiliki kristal yang acak karena di produksi dengan proses pengecoran. Panel surya jenis ini memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Kelebihan panel surya jenis ini adalah mudah didapat dan harga yang cenderung rendah.

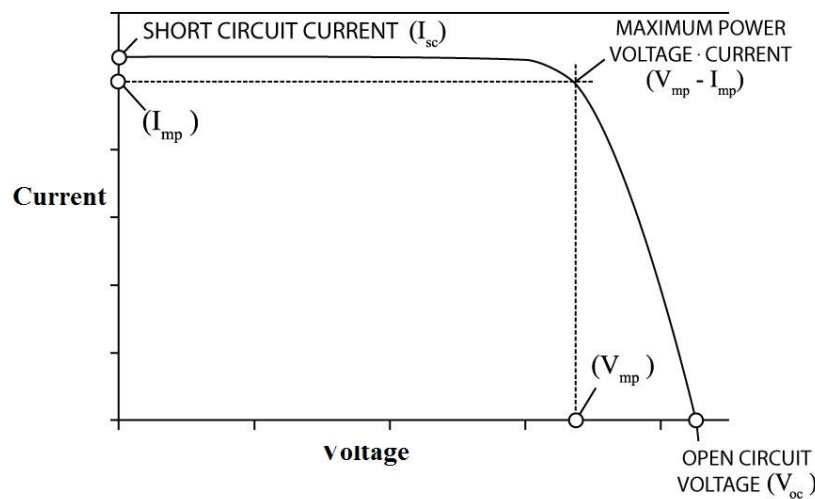
#### c. Panel Surya Lapisan Tipis (*Thin-Film*)

Panel surya jenis *thin-film* memiliki dua lapisan dengan struktur lapisan silikon dan amorphus dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga menghasilkan daya persatuan luas yang lebih besar dibanding panel surya jenis *monocrystalline* maupun *polycrystalline* (Julisman *et al.*, 2017).

### 2.3.3 Karakteristik Panel Surya

Sinar matahari memiliki intensitas yang besar ketika siang hari dibandingkan dengan pagi hari yang menyebabkan sel surya menerima penyinaran matahari dalam satu hari sangat bervariasi. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukanlah pengukuran terhadap arus keluaran panel surya ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ )

pada gugusan sel surya yang disebut modul. Untuk mengukur arus maksimum, maka kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat (*short circuit*) sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan amperemeter akan didapatkan nilai sebuah arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* ( $I_{sc}$ ). Pengukuran terhadap tegangan dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan modul surya dengan komponen lainnya, pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* ( $V_{oc}$ ). Hasil pengukuran arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) ini dapat digambarkan dalam sebuah grafik yang disebut kurva  $I - V$  yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2.9** Kurva  $I - V$  Pada Modul Surya (Haerurrozi *et al.*, 2019)

Kurva tersebut menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik bekerja maksimal (*maximum power point*) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum ( $P_{mpp}$ ). Tegangan maksimum ( $V_{mpp}$ ) bernilai lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus maksimum ( $I_{mpp}$ ) bernilai lebih kecil dari arus rangkaian terbuka ( $I_{sc}$ ). Daya keluaran panel surya dihitung berdasarkan perkalian antara  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ , dan faktor pengisi (*fill factor*). Faktor pengisi merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel surya. Nilai *fill factor* (FF) dapat dihitung yang ditunjukkan pada **Persamaan 2.3**.

$$FF = \frac{V_{mpp}I_{mpp}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (2.3)$$



dengan  $FF$  sebagai faktor pengisi,  $V_{mpp}$  sebagai tegangan maksimum (volt),  $I_{mpp}$  sebagai arus maksimum (ampere),  $V_{oc}$  sebagai tegangan sirkuit terbuka (volt) dan  $I_{sc}$  sebagai arus sirkuit terbuka (ampere). Sedangkan untuk besarnya daya keluaran pada panel surya ( $P_{out}$ ) dapat dihitung pada **Persamaan 2.4**.

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.4)$$

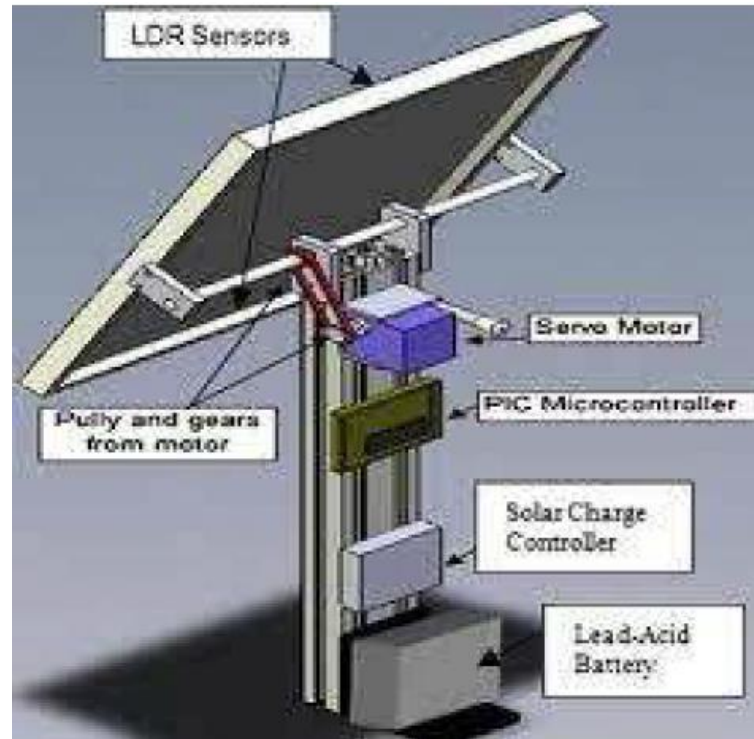
Semakin besar nilai *fill factor* suatu sel surya maka kinerja pada sel surya tersebut semakin baik, dan akan memiliki efisien konversi energi yang semakin tinggi (Demak *et al.*, 2016).

### 2.3.4 *Solar Tracker*

*Solar tracker* adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap matahari (tegak lurus) (Sungur, 2009). Sistem *solar tracker* ada beberapa jenis dan bisa diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria. Klasifikasi pertama bisa dibuat berdasarkan pada jumlah sumbu putaran. Pada klasifikasi ini, *solar tracker* dibedakan menjadi dua, satu sumbu putaran (*single axis*) dan dua sumbu putaran (*dual axis*) (Sutana, 2015).

#### a. *Single Axis Solar Tracker*

*Solar tracker* dengan satu sumbu putaran (*single axis*) adalah sistem pelacakan yang hanya dapat melacak arah cahaya matahari dengan satu sumbu putaran, yaitu secara vertikal (timur ke barat dan barat ke timur), horizontal (utara ke selatan dan selatan ke utara). Sistem *single axis* terdiri dari dua sensor cahaya yang ditempatkan pada salah satu sisi panel dan satu motor sebagai penggerak panel surya. Jika salah satu sensor cahaya menerima jumlah intensitas cahaya matahari yang lebih besar dengan sensor lainnya maka pengendali akan mengirim sinyal ke motor untuk menggerakkan panel surya ke arah sensor cahaya tersebut, dan jika kondisi saat intensitas cahaya matahari yang sama pada kedua sensor maka panel surya akan tegak lurus dengan cahaya matahari (Putra *et al.*, 2022).



**Gambar 2.10** *Single Axis Solar Tracker* (Putra et al., 2022)

*b. Dual Axis Solar Tracker*

*Solar tracker* dengan dua sumbu putaran (*dual axis*) adalah sistem pelacakan yang dapat memutar posisi panel surya dengan arah timur – barat dan rotasi 180° sampai 360°. *Dual axis solar tracker* menggunakan dua motor untuk menggerakkan arah timur – barat dan arah rotasi yang menggunakan 4 sensor cahaya. 2 sensor pada sisi panel surya untuk menggerakkan timur – barat dan 2 sensor lainnya untuk membaca intensitas cahaya sehingga dapat memutar rotasi pada sistem (*dual axis*) (Cornelyus, 2021).



**Gambar 2.11** *Dual Axis Solar Tracker* (Cornelyus, 2021)

#### **2.4 Solar Charge Controller (SCC)**

*Solar Charge Controller* (SCC) adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. SCC akan mengatur kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh (*overcharging*) dan kelebihan tegangan dari panel surya. SCC pada sistem panel surya berfungsi untuk melindungi dan melakukan otomatisasi pada pengisian baterai. Hal tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan sistem dan menjaga agar masa pakai baterai dapat dimaksimalkan. Fungsi kontrol pengendali SCC antara panel surya dan baterai jika tidak berfungsi dengan baik akan melakukan pengisian baterai melebihi tegangan daya yang dapat ditampung baterai, sehingga dapat merusak sel yang terdapat dalam baterai. Apabila mengisi daya baterai secara berlebihan akan mengakibatkan baterai meledak. SCC dapat mendeteksi saat tegangan baterai terlalu rendah. Bila tegangan baterai turun di bawah tingkat tegangan tertentu, SCC akan memutuskan beban dari baterai agar daya baterai tidak habis. Penggunaan baterai dengan kapasitas daya yang habis, akan merusak baterai. Bahkan baterai dapat menjadi tidak dapat digunakan kembali (Bakhtiar, 2020).



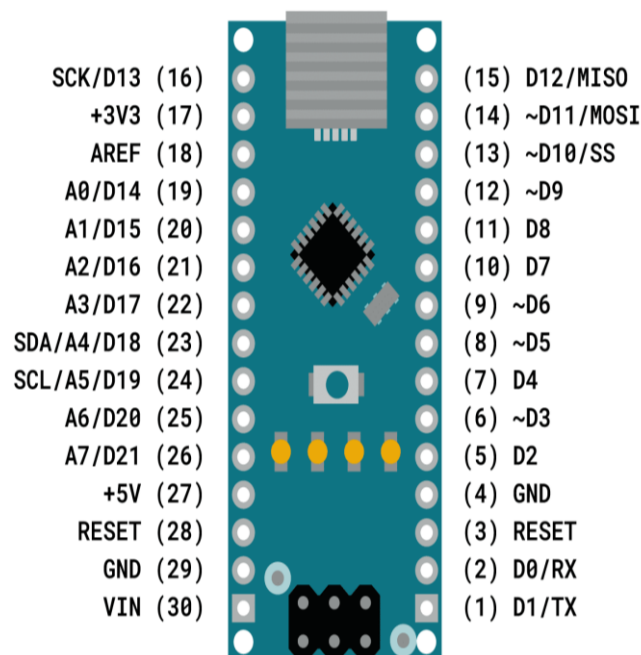
**Gambar 2.12** (a) SCC Jenis PWM (b) SCC Jenis MPPT (Wahidin *et al.*, 2022)

- a. SCC *Pulse Width Modulation* (PWM). Bekerja dengan memancarkan pulsa listrik ke baterai dengan panjang gelombang yang bervariasi, di akhir setiap pulsa, pengontrol pengisian daya mati sebentar untuk mengukur kapasitas baterai dan menyesuaikan nilai keluaran agar sesuai. Pengontrol muatan PWM pada dasarnya bertindak sebagai saklar cerdas antara baterai dan panel surya yang mengontrol tegangan dan arus yang mengalir ke baterai.
- b. SCC *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Bekerja dengan mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari panel surya dalam kondisi tertentu. MPPT merupakan konverter arus DC ke arus DC yang beroperasi dengan mengambil input DC dari panel surya, mengubahnya ke arus AC dan mengubahnya kembali ke tegangan dan arus DC yang berbeda dengan tepat mencocokkan panel surya ke baterai (Wahidin *et al.*, 2022).

## 2.5 Arduino Nano

Arduino adalah papan rangkaian elektronik yang bersifat *open-source*, yang berarti dapat ditunjukkan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan interaktif berdasarkan *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema *hardware* arduino dan membangunnya. Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler Atmega yang dirilis sebagai basis, namun ada perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level *hardware*. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui *bootloader* dan

menggunakan *downloader* untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP. Salah satu jenis arduino yang paling banyak digunakan adalah Arduino Nano, arduino ini menggunakan chip mikrokontroler jenis *surface mounted device* (SMD). Arduino Nano menggunakan chip Atmel AVR ATmega 328, memiliki 22 pin I/O digital (6 diantaranya pin PWM), 8 pin input analog. Komunikasi serial USB A to USB *micro* memudahkan komunikasi *hardware* dengan perangkat komputer/laptop (Sasmoko, 2014).



**Gambar 2.13** Arduino Nano (Sokop *et al.*, 2016)

**Tabel 2.2** Spesifikasi Arduino Nano

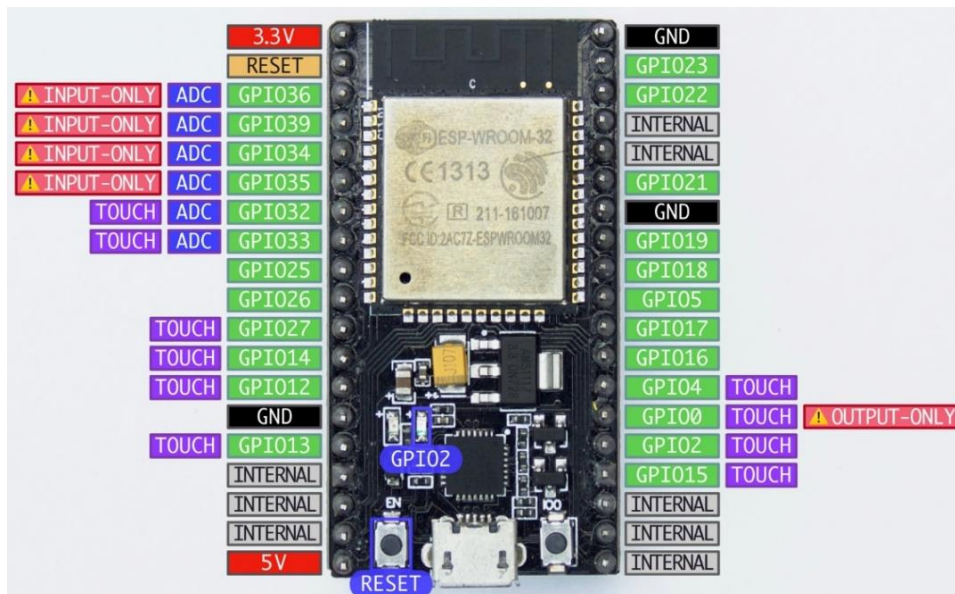
<b>Karakteristik</b>	<b>Keterangan</b>
Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan operasi	5 V
Batas tegangan <i>input</i>	7-12 V
Pin I/O <i>digital</i>	14
Pin I/O <i>analog</i>	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori	32 KB (Atmega) 0,5KB ( <i>bootloader</i> )
<i>SRAM</i>	2 KB (Atmega328)
<i>EEPROM</i>	1 KB (Atmega328)

Arduino Nano dapat disuplai melalui koneksi USB atau dengan sebuah catu daya eksternal. Suplai eksternal dapat diperoleh dari sebuah adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan mencolokkan sebuah *center-positive plug* yang panjangnya 2,1 mm ke *power jack* dari *board*. Papan Arduino Nano dapat beroperasi pada sebuah catu daya eksternal 7 sampai 12 volt. Apabila disuplai lebih kecil dari 5 volt, maka pin VCC arduino akan mensuplai kurang dari 5 volt yang menyebabkan tegangan Arduino Nano menjadi tidak stabil, jika disuplai melebihi dari 12 volt maka regulator tegangan Arduino Nano akan panas dan membahayakan papan Arduino Nano (Sokop *et al.*, 2016).

## 2.6 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Perbedaan pada mikrokontroler ESP32 dibanding dengan mikrokontroler ESP8266, memiliki pin *output* yang lebih banyak, pin analog yang lebih banyak, memori yang lebih besar, dan terdapat bluetooth 4.2 serta tersedia WiFi yang memungkinkan untuk mengaplikasikan *internet of things* (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 (Suriana *et al.*, 2021).

Keunggulan lain yang dimiliki oleh NodeMCU ESP32 dibandingkan dengan ESP8266 adalah menggunakan *Xtensa Dual-Core* 32-bit sedangkan pada NodeMCU ESP8266 menggunakan *Xtensa Single-Core* 32-bit. ESP32 memiliki pin GPIO paling banyak yaitu 34 pin GPIO dibandingkan dengan ESP8266 yang memiliki pin GPIO sebanyak 17 buah pin, sehingga dapat diputuskan pin yang akan difungsikan sebagai *universal asynchronous receiver-transmitter* (UART), 2 *integrated circuit* (I2C) dan 3 *serial peripheral interface* (SPI) yang dapat disesuaikan dengan kode program yang akan dibuat (Setiawan, 2019).



**Gambar 2.14** Papan NodeMCU ESP32 (*Theengineeringprojects*, 2021)

**Tabel 2.3** Spesifikasi NodeMCU ESP32

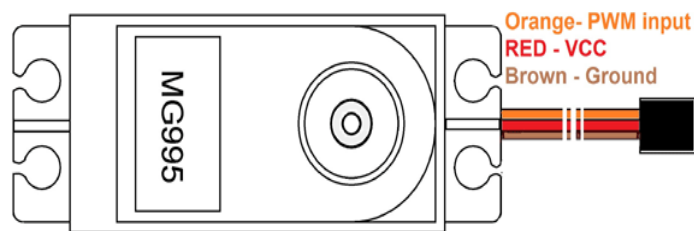
Karakteristik	Keterangan
<i>Board Type</i>	DOIT ESP32 V.1
Mikrokontroler	Tensilia Xtensa LX6 32-bit
Modul	ESP-WROOM-32
Tegangan	2,7-5 V
Pin GPIO	34
Ukuran <i>Board</i>	52 x 28,5 mm
ROM	448 KB
SRAM	520 KB
WiFi	2.4 GHz
<i>Bluetooth</i>	<i>Bluetooth</i> 4.2 dan BLE

(Wijaya & Khariono, 2022).

## 2.7 Motor Servo MG995

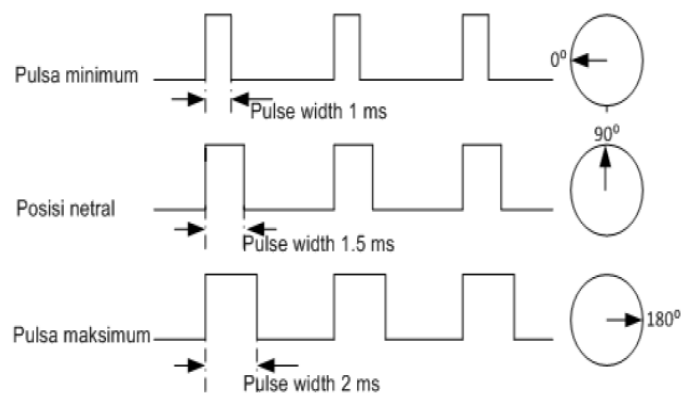
Motor servo merupakan sebuah motor DC kecil yang diberi sistem gear dan potensiometer sehingga dapat menempatkan posisi servo pada posisi yang diinginkan. Motor servo prinsipnya mempunyai sistem *close loop*, di mana posisi dari motor akan di informasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Berbeda dengan motor DC, motor servo tidak bergerak secara kontinyu, melainkan menuju sudut tertentu saja dan berhenti di sudut tersebut. Motor ini umumnya digunakan untuk aplikasi gerakan-gerakan sudut dari robot,

contohnya gerakan lengan, *gripper* penjepit benda atau gerakan kaki melangkah (Andrian *et al.*, 2020). Motor servo merupakan sistem dengan kontrol balik, sehingga dapat diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros keluaran motor dan digunakan sebagai pengendali gerakan sistem panel surya. MG995 merupakan servo yang bisa berputar  $180^{\circ}$  ( $90^{\circ}$  disetiap arah). MG995 memiliki tiga keluaran, yaitu *pulse width modulation* (PWM), VCC, dan *ground*. Rangkaian pada motor servo ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



**Gambar 2.15** Motor Servo MG995 (Sutanto, 2013)

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (PWM) melalui kabel kontrol. Lebar PWM yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan 1,5 mili detik (ms) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut  $90^{\circ}$ . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi sudut  $0^{\circ}$  atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi  $180^{\circ}$  atau ke kanan (searah arah jarum jam). Ilustrasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.



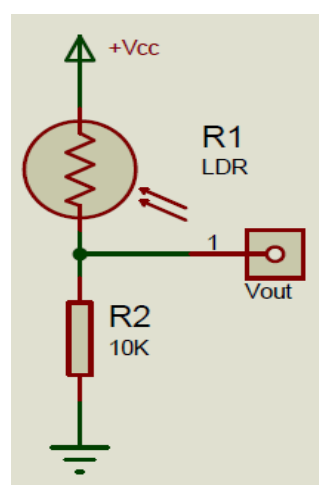
**Gambar 2.16** Sinyal Modulasi Lebar Pulsa (PWM) (Sutanto & Tanudjaja, 2013)



Saat motor servo diberikan sinyal PWM oleh mikrokontroler pada bagian pin kontrolnya dengan frekuensi 50 Hz maka akan dicapai kondisi *ton duty cycle* 1,5 ms yang mengakibatkan motor servo berhenti di sudut  $90^0$  (*intial position*). Kemudian, saat *ton duty cycle* dari sinyal PWM yang diberikan kurang dari 1,5 ms, maka gir motor servo akan membentuk menuju sudut  $0^0$ . Sedangkan, apabila *ton duty cycle* dari sinyal PWM diberikan lebih dari 1,5 maka gir motor servo akan bergerak menuju sudut  $180^0$  (Hilal *et al.*, 2013).

## 2.8 Sensor *Light dependent resistor* (LDR)

*Light dependent resistor* (LDR) adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterima oleh sensor. Besarnya nilai hambatan pada LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh sensor LDR. LDR merupakan suatu jenis hambatan yang sangat peka terhadap cahaya. Sifat dari hambatan LDR ini adalah nilai hambatannya akan berubah apabila terkena cahaya atau sinar. Untuk dapat mengetahui kesensitifan sensor LDR maka perlu dilakukan beberapa pengujian, yaitu dengan cara meletakkan sensor LDR pada tempat yang terang dan tempat gelap. Dalam proses percobaan sensor LDR dapat menggunakan bantuan cahaya dari lampu atau cahaya yang bersumber dari matahari (Siswanto & Winardi, 2015). Rangkaian sensor LDR ditunjukkan pada **Gambar 2.17**.



**Gambar 2.17** Rangkaian Sensor LDR (Syafrialdi *et al.*, 2015)

Dalam keadaan gelap resistansi pada sensor LDR bernilai  $10\text{ m}\Omega$  dan dalam keadaan terang bernilai  $1\text{ k}\Omega$  atau kurang. Sensor LDR terbuat bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida. Dengan bahan tersebut energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas dan arus listrik meingkat, artinya resistansi telah mengalami penurunan (Sudibyso *et al.*, 2015).

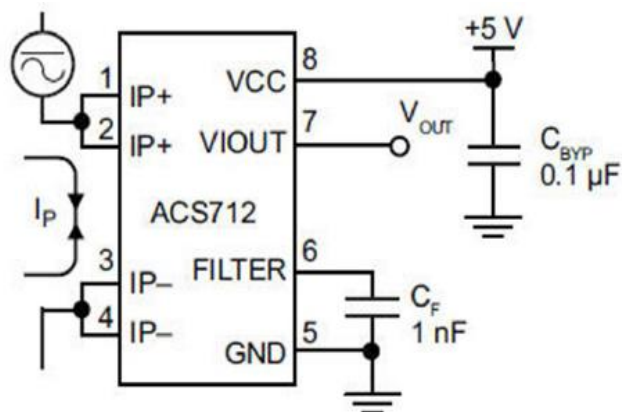
## 2.9 Sensor Arus ACS712

Teknologi efek ruang (*hall effect*) yang diterapkan oleh perusahaan Allergro menggantikan resistor pengglasir dan transformator arus menjadi sebuah sensor yang mampu mengukur arus. Istilah *hall effect* dikenal setelah Edwin H. Hall menemukan bahwa jika arus listrik mengalir melalui penghantar yang ditempatkan pada garis lintang medan magnet yang kuat, akan menghasilkan beda potensial yang melewati penghantar pada kedua sudut penghantar itu. Sensor *hall effect* adalah suatu transduser yang dapat mengubah besaran listrik yaitu berupa tegangan. Jenis sensor ini dalam pengoperasiannya untuk mendeteksi kedekatan, keberadaan atau ketiadaan medan magnet dari objek (Melipurbowo, 2016).

Sensor arus yang digunakan adalah sensor ACS712 untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat blok terminal. Sensor ini dapat mengukur arus positif dan negatif dengan kisaran  $-30$  ampere sampai  $30$  ampere. Sensor ini memerlukan suplai daya  $5$  volt. Untuk membaca nilai tengah (nol ampere) tegangan sensor diset pada  $2,5$  volt yaitu setengah kali suplai daya  $V_{cc}$  ( $5$  volt). Pada polaritas negatif pembacaan arus  $-30$  ampere terjadi pada tegangan  $0,5$  volt. Tingkat perubahan tegangan berkorelasi linear terhadap besar arus sebesar  $400\text{ mV/A}$  (Dalimunthe, 2018).

Prinsip kerja sensor arus ACS712 menggunakan teknologi *efek hall* yang memanfaatkan efek medan magnetik disekitar arus kemudian dikonversi menjadi tegangan yang linear dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini merupakan input untuk mikrokontroler yang kemudian diolah. Keluaran dari sensor ini masih berupa sinyal tegangan bolak-balik (*alternating current*), kemudian

tegangan tersebut disearahkan oleh rangkaian penyearah. Rangkaian sensor ACS712 ditunjukkan pada **Gambar 2.18**.



**Gambar 2.18** Rangkaian Sensor ACS712 (Fitriandi *et al.*, 2016)

Sensor ACS712 memiliki 3 jenis sensitivitas yang berbeda, diantaranya sensor ACS712 5 ampere dengan nilai sensitivitas 185 mV/A, sensor ACS712 20 ampere dengan nilai sensitivitas 100 mV/a dan sensor ACS712 30 ampere dengan nilai sensitivitas 66 mV/A (Fitriandi *et al.*, 2016).

**Tabel 2.4** Spesifikasi Sensor ACS712

Karakteristik	Keterangan
Tegangan	8 V (Maksimum)
Tegangan <i>Output</i>	8 V
Toleransi Arus Lebih	100 A
Sensitivitas	5 A = 185 mV/A
	20 A = 100 mV/A
	30 A = 66 mV/A

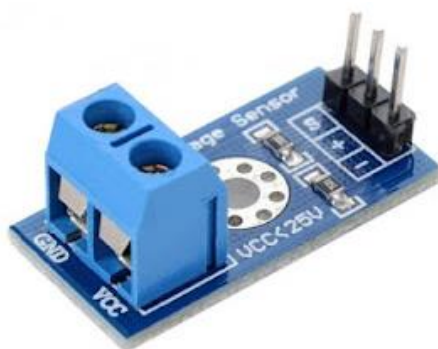
(Fitriandi *et al.*, 2016).

## 2.10 Sensor Tegangan FZ0430

Tegangan merupakan parameter dasar baik analog maupun digital. Tegangan juga merupakan besaran analog yang dapat diolah, diproses atau dikonversi dalam bentuk lainnya sedangkan dalam dunia digital tegangan akan dikonversi dengan *analog to digital converter* (ADC). Untuk membaca sensor dengan *output* tegangan analog, arduino menggunakan pin analog A0-A5 yang terhubung dengan sebuah ADC dengan resolusi 10-bit yang akan menghasilkan angka digital 0-1023 sebagai

representasi 0-5 volt. Tegangan analog yang dapat diterima oleh pin analog arduino maksimal adalah 5 VDC (Arif, 2020).

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan searah (DC) dengan rentang 0-5 volt. Dengan prinsip pembagi tegangan yang dapat mengurangi tegangan input hingga 5 kali dari tegangan asli, dengan V analog maksimum mikrokontroler yaitu 5 volt sehingga tidak bisa diberi masukan melebihi 25 volt (Ningsih, 2020).



**Gambar 2.19** Sensor Tegangan FZ0430 (Ningsih, 2020)

Untuk menghitung tegangan *output* dari sensor tegangan FZ0430 25 volt diperoleh pada **Persamaan 2.5**.

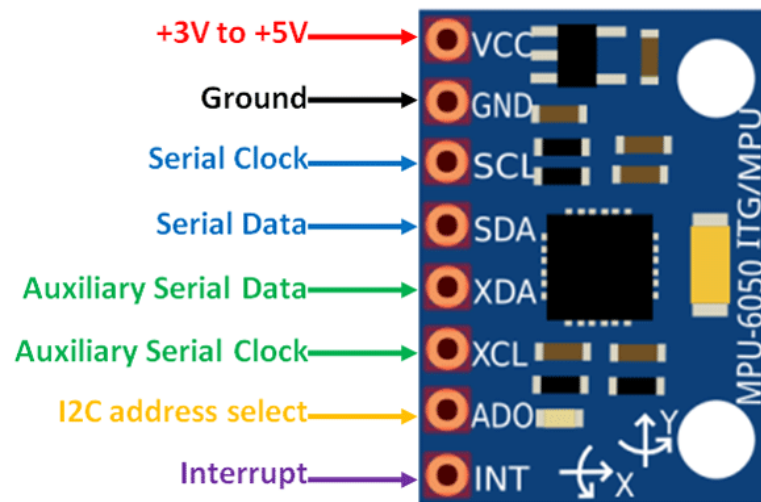
$$V_{\text{out}} = V_{\text{cc}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.5)$$

dengan  $V_{\text{out}}$  adalah tegangan output (volt),  $V_{\text{cc}}$  adalah tegangan input (volt),  $R_1$  adalah resistansi dari resistor 1 bernilai 30 k $\Omega$  dan  $R_2$  adalah resistansi dari resistor 2 bernilai 7,5 k $\Omega$  (Fachri *et al.*, 2015).

### 2.11 Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 adalah sensor dengan 3 *axis accelerometer* (sensor percepatan) dan 3 *axis gyroscope* (sensor kecepatan putaran) atau dengan kata lain 6 *degrees of freedom* (DOF) IMU. *Inverial Measurment Unit* (IMU) merupakan alat yang memanfaatkan sistem pengukuran seperti *gyroscope* dan *accelerometer* untuk memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari gerakan motor. IMU mempertahankan 6 DOF yang memperkirakan orientasi sudut dengan sumbu X, Y, Z. Selain itu, MPU6050 sendiri sudah memiliki *Digital Motion Processors* (DMP),

yang akan mengolah data mentah dari masing-masing sensor. Selain itu, DMP juga memiliki fungsi meminimalisir error yang dihasilkan (Putra *et al.*, 2019).



**Gambar 2.20** Sensor MPU6050 (Putra & Suwarno, 2019)

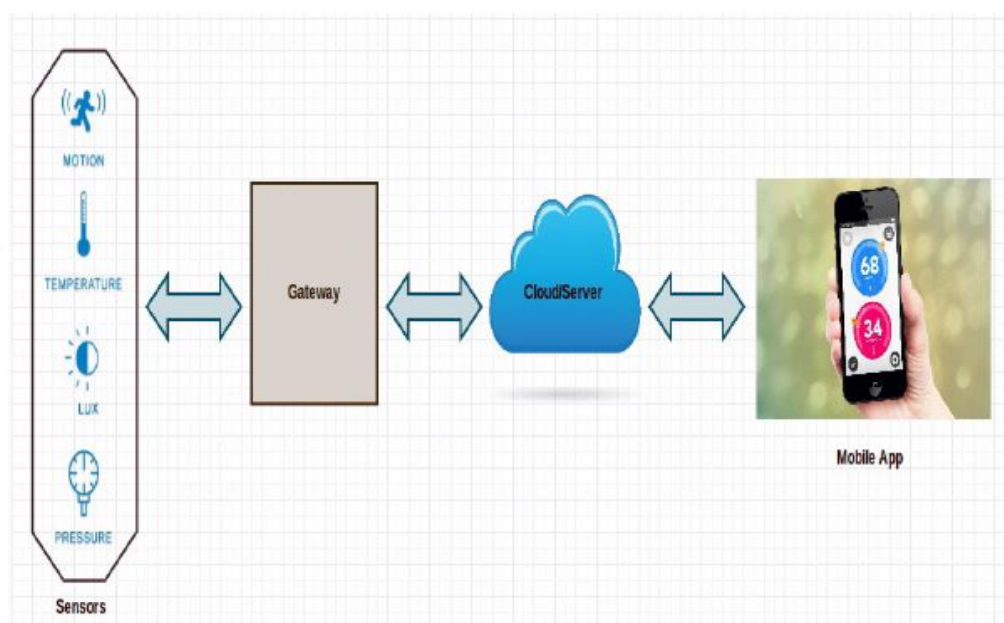
MPU6050 adalah chip IC *inverse* yang didalamnya terdapat sensor *accelometer* dan *gyroscope* yang sudah terintegrasi. *Accelerometer* sering digunakan untuk menghitung sudut kemiringan, dan hanya dapat melakukan dengan nyata ketika statis dan tidak bergerak. Untuk mempertahankan sudut akurat kemiringan, sering dikombinasikan dengan satu atau lebih gyro dan kombinasi data yang digunakan untuk menghitung sudut. *Gyroscope* adalah perangkat untuk mengukur dan mempertahankan orientasi, yang berlandaskan pada prinsip-prinsip momentum sudut (Firman, 2016).

## 2.12 Internet of Things

*Internet of Things* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1999. Kata “*Things*” pada *Internet of Things* merujuk ke berbagai perangkat (*device*) yang ada dengan menghubungkan berbagai perangkat tersebut dan menghubungkannya dengan bantuan internet yang memiliki jangkauan yang luas sehingga memudahkan masyarakat untuk terhubung dengan perangkat yang diinginkan. Sejak itu, banyak definisi untuk IoT telah disajikan, termasuk definisi yang berfokus sebagian besar

pada persyaratan konektivitas dan sensor yang terlibat dalam lingkungan IoT (Endra *et al.*, 2019).

Prinsip kerja *Internet of Things* adalah dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang dimana setiap perintah argumennya menghasilkan sebuah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dalam jarak tidak terbatas. Penghubung kedua interaksi tersebut dengan menggunakan internet, sementara manusia hanya bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut secara langsung (Adani & Salsabil, 2019). Secara sederhana konsep IoT ditunjukkan pada **Gambar 2.21**.



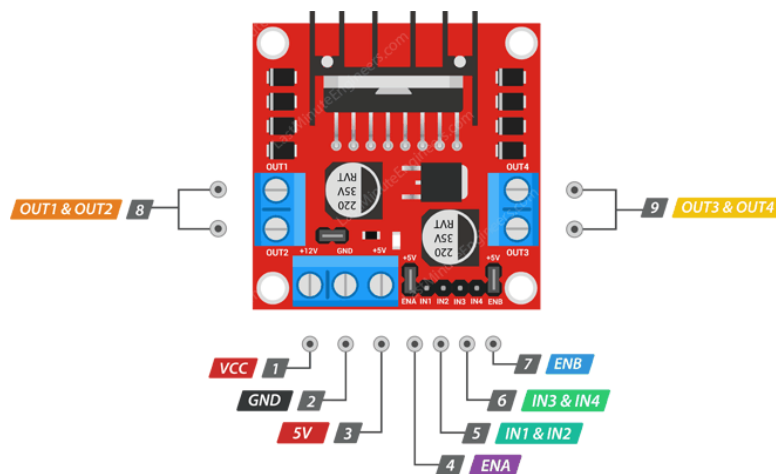
**Gambar 2.21** Konsep *Internet of Things* (Meutia, 2019)

Berdasarkan gambar di atas, konsep IoT terbagi menjadi 4 tahapan. Pada tahapan pertama, perangkat keras dapat mengenali dirinya dan mengindra lingkungannya, membaca lokasi, kondisi cuaca, gerakan mesin dan sebagainya. Perangkat yang digunakan pada lapisan ini adalah sensor, kontrol dan aktuator. Pada tahapan kedua adalah *gateway* merupakan jembatan penghubung antara jaringan internal sensor yang mengumpulkan data dengan jaringan luar internet melalui berbagai media komunikasi nirkabel seperti WiFi dan *bluetooth*. Data yang ditransmisikan melalui *gateway* kemudian disimpan dan diolah di *cloud server* dengan menggunakan

mesin analitik *big data*. Data yang sudah diolah kemudian digunakan untuk melakukan hal-hal cerdas sesuai tujuan IoT salah satunya adalah menampilkan hasil pengukuran sensor pada *smartphone* (Meutia, 2019).

### 2.13 Driver L298N

*Driver* motor L298N merupakan *driver* motor yang paling populer digunakan untuk mengontrol kecepatan dan arah pergerakan motor terutama pada robot *line follower*. Kelebihan dari *driver* L298N ini adalah cukup presisi dalam mengontrol motor. *Driver* L298N memiliki 6 pin *input*. Terdapat pin *input* vcc *driver* yang dapat beroperasi sampai tegangan 12V dan pin *ground*. Motor *driver* L298N memiliki pin *output* vcc 5V dan memiliki 4 pin yang digunakan untuk mengontrol motor DC. Pin *inable* sebanyak 4 buah sebagai *input* dari mikrokontroler yang digunakan untuk mengendalikan motor DC (Fikriyah & Rohmanu, 2018).



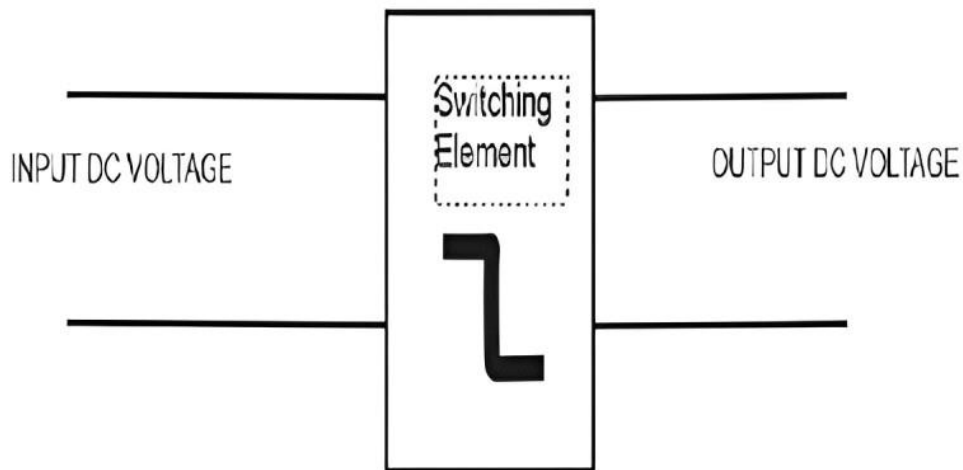
**Gambar 2.22** Motor *Driver* L298N (Fikriyah & Rohmanu, 2018)

Rangkaian *driver* L298N terdiri dari transistor-transistor logic (TTL) dengan gerbang NAND sehingga memudahkan dalam menentukan arah putaran pada motor DC. Pada motor DC tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan arus listrik yang besar pada motor DC sedangkan arus keluaran pada mikrokontroler sangat kecil. Motor *driver* L298N adalah modul *driver* motor yang memiliki dua buah rangkaian H-Bridge didalamnya, sehingga dapat

digunakan untuk mengendalikan dua buah motor DC. *H-Bridge driver* motor DC L298N masing-masing dapat menghantarkan arus hingga 2A (Fatimah *et al.*, 2021).

#### 2.14 *Buck Converter*

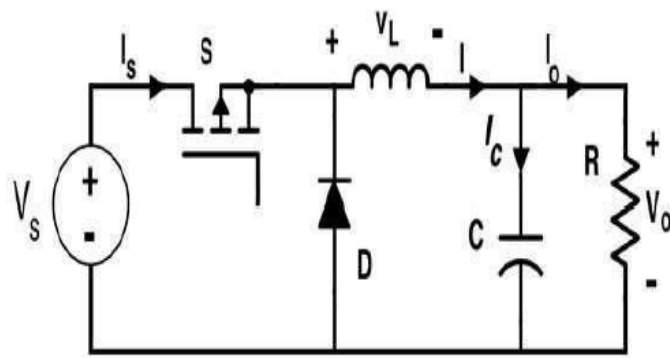
*Buck converter* adalah konverter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan searah (*direct current*). Sirkuit ini merupakan bentuk catu daya yang diperlukan ketika tegangan yang dibutuhkan oleh suatu perangkat elektronik lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan catu daya yang tersedia. Sumber tegangan DC dari konverter DC-DC dapat diperoleh dari baterai, atau dengan menyearahkan sumber tegangan AC yang kemudian dihaluskan dengan filter kapasitor untuk mengurangi riak (*ripple*) (Suryanto *et al.*, 2020).



**Gambar 2.23** DC-DC Converter (Suryanto *et al.*, 2020).

DC-DC konverter mode pensaklaran menggunakan satu atau lebih saklar (*switch*) untuk merubah DC-DC konverter dari tingkat satu ke tingkatan yang lain. Untuk DC-DC konverter dengan tegangan *input* yang diketahui sebelumnya, tegangan keluaran rata-rata dikontrol melalui pengaturan durasi yang dibutuhkan untuk saklar *on* dan *off*. Pada skema rangkaian *buck konverter* ditunjukkan pada **Gambar 2.24**.





**Gambar 2.24** Skema Rangkaian *Buck Converter* (Alhaqem & Aswardi, 2021)

Tegangan *output* konverter *buck* ditentukan oleh nilai waktu *switching* dari saklar daya ini diatur dengan metode *pulse width modulation* (PWM). Nilai *duty cycle* pulsa modulasi (PWM) saklar daya konverter menentukan tegangan keluaran konverter *buck*, agar tegangan keluaran yang dihasilkan sesuai dengan keinginan, maka *duty cycle* ini harus diatur. Saklar daya yang digunakan konverter *buck* adalah mosfet. *Buck converter* beroperasi dalam dua kondisi, yaitu ketika saklar tertutup dan ketika saklar terbuka. Pada saat saklar (S) tertutup, dioda (D) berada dalam kondisi *reverse-biased*, saklar mengalirkan arus dari sumber tegangan ( $V_s$ ) menuju induktor ( $V_L$ ), kemudian melalui kapasitor (C) dan beban ( $V_o$ ), lalu kembali ke sumber (S). Pada saat saklar terbuka, dioda berada dalam kondisi *forward-biased*, arus yang tersimpan pada induktor mengalir ke beban, kemudian menuju dioda *freewheeling*, lalu kembali ke induktor (Alhaqem & Aswardi, 2021).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei – Agustus 2023. Kegiatan penelitian ini terdiri dari studi literatur dan pembuatan proposal penelitian, perancangan sistem monitoring, kalibrasi sensor, pengujian dan pengambilan data, analisis data dan pembuatan laporan akhir yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**. Perancangan alat dilakukan di Ruang *Workshop* Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Pengambilan data dan pengujian dilakukan selama 14 hari di Lapangan Upacara Universitas Lampung.

**Tabel 3.1** Rancangan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Bulan ke-)			
		1	2	3	4
1	Studi literatur dan pembuatan proposal penelitian	■			
2	Perancangan sistem monitoring	■			
3	Kalibrasi sensor		■		
4	Pengujian dan pengambilan data penelitian			■	
5	Analisis data dan pembuatan laporan akhir			■	

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian untuk komunikasi *internet of things* adalah laptop dan *android*, sedangkan bahan yang digunakan terdiri dari sensor tegangan, ACS712, MPU6050 dan LDR yang ditunjukkan pada **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.2** Alat yang digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Laptop	Membuat program menggunakan <i>software</i> Arduino IDE
2	<i>Android</i>	Memonitoring keluaran panel surya serta derajat kemiringan pada panel surya
4	Multimeter	Mengukur tegangan dan arus
5	Luxmeter	Mengukur besaran cahaya dalam satuan lux

Bahan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada **Tabel 3.3**

**Tabel 3.3** Bahan yang digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Lensa Fresnel	Memperbesar iradiasi matahari terhadap panel surya
2	Panel Surya	Mengubah energi matahari menjadi energi listrik
3	Arduino Nano	Sebagai mikrokontroler yang mengolah sinyal masukan dari sensor LDR dan motor servo
4	NodeMCU ESP32	Sebagai mikrokontroler yang mengolah sinyal masukan dari sensor tegangan, arus, dan sensor kemiringan yang terkoneksi dengan internet (WiFi)
5	Motor Servo MG995	Menggerakkan panel surya dua sumbu
6	Sensor LDR	Mengukur dan mendeteksi cahaya
7	Sensor Tegangan	Mengukur tegangan keluaran panel surya
8	Sensor ACS712	Mengukur arus keluaran panel surya
9	Sensor MPU6050	Mengukur kemiringan panel surya dalam derajat
10	<i>Solar Charge Controller</i>	Mengatur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya
11	Aki (Accu)	Menyimpan energi listrik
14	Motor <i>Driver</i> L298N	Menyesuaikan <i>output</i> tegangan untuk mikrokontroler, sensor, dan motor servo
15	<i>Buck Converter</i>	Memperkecil tegangan <i>output</i> aki yang digunakan sebagai catu daya motor <i>driver</i> L298N

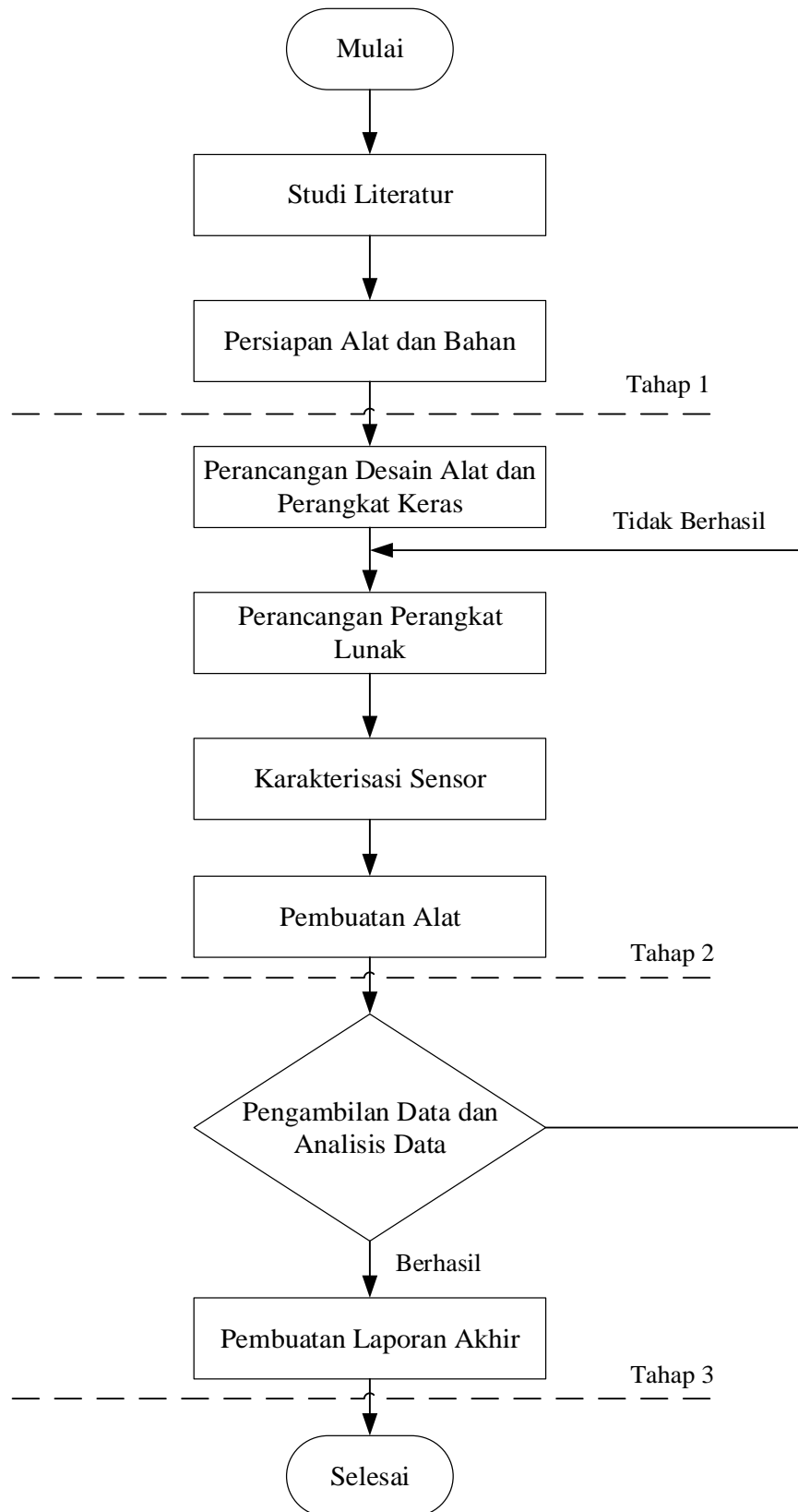
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.4**

**Tabel 3.4** Perangkat Lunak yang digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Ardunio IDE	Membuat dan mengirim program ke Arduino Nano serta NodeMCU ESP32
2	Fritzing	Membuat gambar rangkaian
3	Visual Studio Code	Berfungsi untuk membuat program yang akan menghasilkan <i>website</i> sehingga dapat digunakan untuk menampilkan nilai monitoring daya dan orientasi kemiringan
4	AutoCAD	Membuat desain alat
5	Microsoft Office Word	Menulis laporan penelitian
6	OriginLab	Menulis dan mengolah data penelitian

### 3.3 Prosedur Penelitian

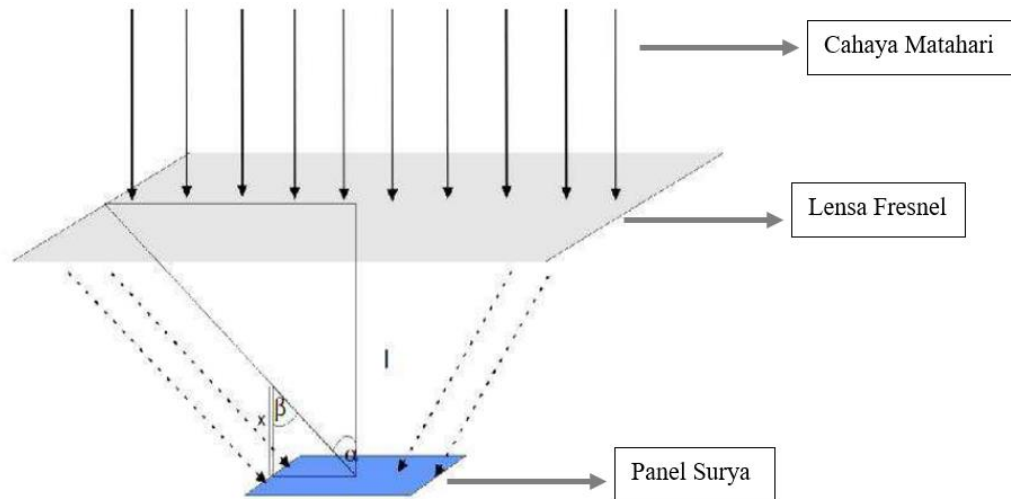
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keluaran daya panel surya sebelum dan setelah diberikan lensa fresnel serta melakukan pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap keluaran daya panel surya. Penelitian ini mengukur tegangan, arus, serta kemiringan yang dihasilkan oleh panel surya. Terdapat dua variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini terdiri dari waktu dan intensitas cahaya matahari, sedangkan variabel terikat terdiri dari, derajat kemiringan, tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ). Nilai intensitas cahaya matahari pada penelitian ini didapatkan berdasarkan pengukuran dilapangan menggunakan luxmeter. Variasi waktu yang dilakukan adalah pukul 08.00–17.00 (selama 9 jam) dilakukan selama 2 hari berturut-turut dengan hari pertama tanpa menggunakan lensa fresnel dan hari kedua menggunakan lensa fresnel. Adapun prosedur pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan alat dan bahan, perancangan desain alat, pembuatan program monitoring, karakterisasi sensor, pembuatan alat, pengujian dan analisis data, dan pembuatan laporan akhir. Prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1** di bawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.3.1 Perancangan Desain Alat

Lensa fresnel diletakkan di atas panel surya yang dapat bergerak mengikuti panel surya yang diilustrasikan pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Jarak Ideal Konsentrator Lensa Fresnel dengan Panel Surya (Riyanto & Rofii 2020)

Berdasarkan **Gambar 3.2** menunjukkan radiasi matahari yang melewati lensa fresnel akan dibiaskan sehingga dapat menyinari permukaan panel surya. Untuk mendapatkan jarak optimal antara konsentrator lensa fresnel dengan panel surya ditunjukkan pada **Persamaan 3.1**.

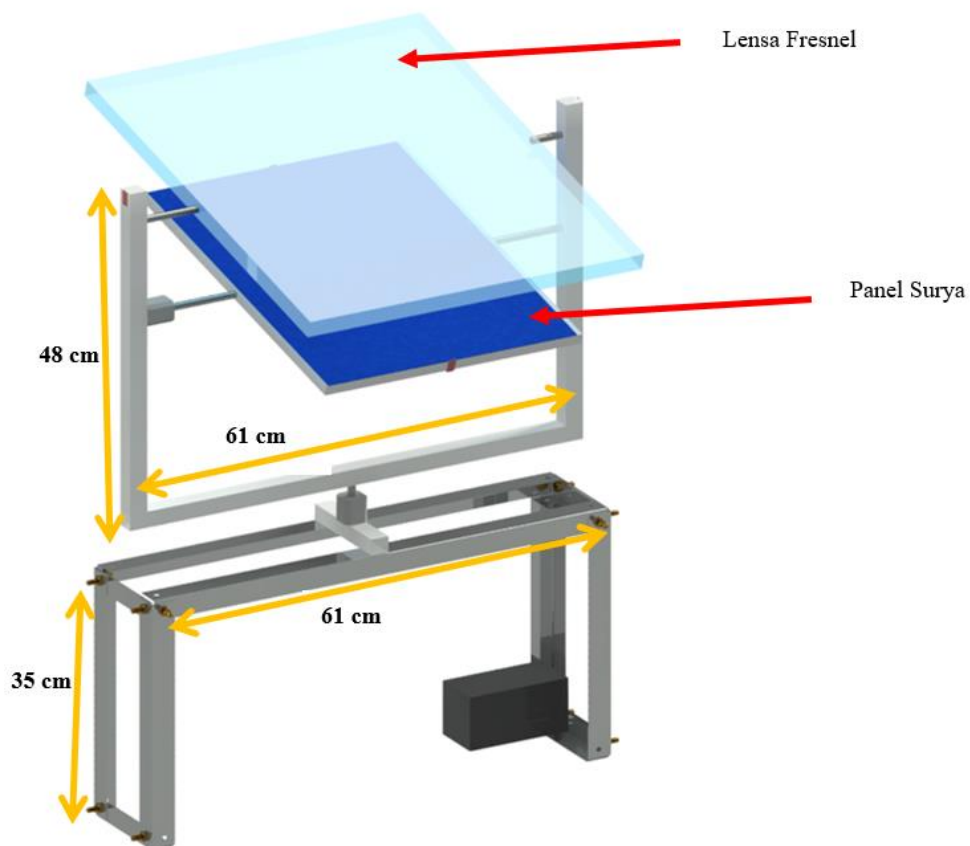
$$\tan_A = \tan_B \quad (3.1)$$

Selanjutnya **Persamaan 3.1** substitusikan dengan panjang lensa dan panjang panel surya sehingga didapatkan **Persamaan 3.2**.

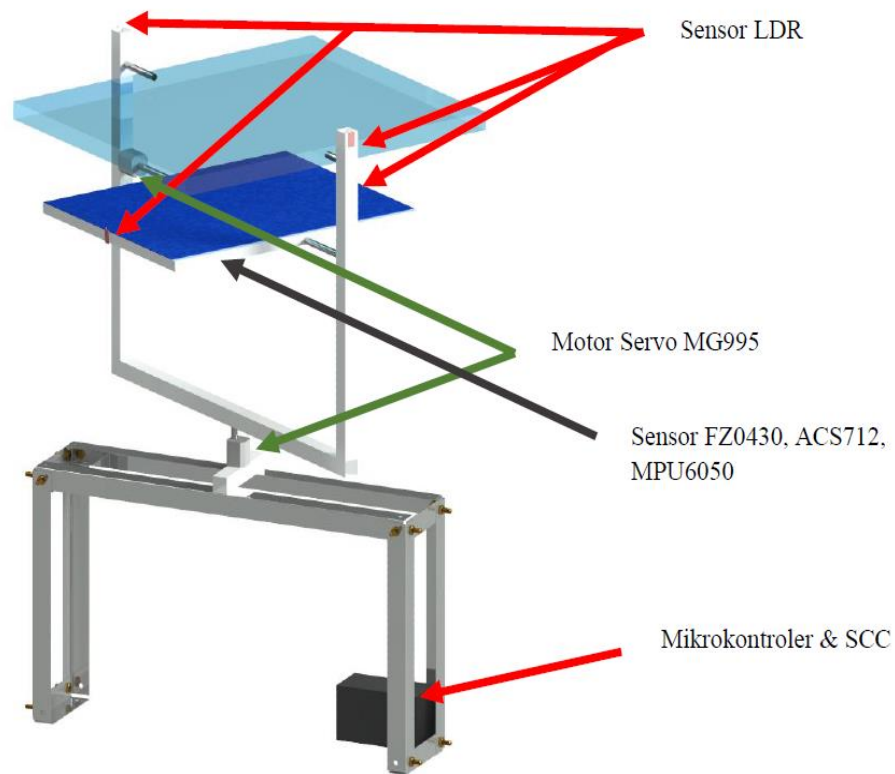
$$\frac{P_1}{2l} = \frac{P_2}{2(l-x)} \quad (3.2)$$

dengan  $P_1$  adalah panjang lensa (cm),  $P_2$  adalah panjang panel surya (cm),  $l$  sebagai jarak fokus lensa fresnel (cm), dan  $x$  adalah jarak ideal antara lensa fresnel dengan panel surya (cm) (Anhar *et al.*, 2017).

Keluaran dari panel surya dihubungkan dengan *solar charge controller* dan aki. Selanjutnya, SCC digunakan untuk memberikan catu daya ke Arduino Nano dan NodeMCU ESP32. Keluaran dari panel surya yang menghasilkan tegangan dibaca oleh sensor tegangan dan arus dibaca oleh sensor ACS712. Kemiringan panel surya dibaca oleh sensor MPU6050. Ketiga sensor tersebut, diletakkan disisi bawah panel surya dan dihubungkan dengan mikrokontroler, sensor tegangan dan sensor MPU6050 dihubungkan dengan NodeMCU ESP32, kemudian sensor ACS712 dihubungkan dengan Arduino Nano. Sedangkan sensor pelacak cahaya (LDR) diletakkan di sisi samping panel surya, sensor tersebut dihubungkan dengan Arduino Nano. Desain alat penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.3** dan desain letak mikrokontroler dan sensor secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.3** Desain Alat Keseluruhan

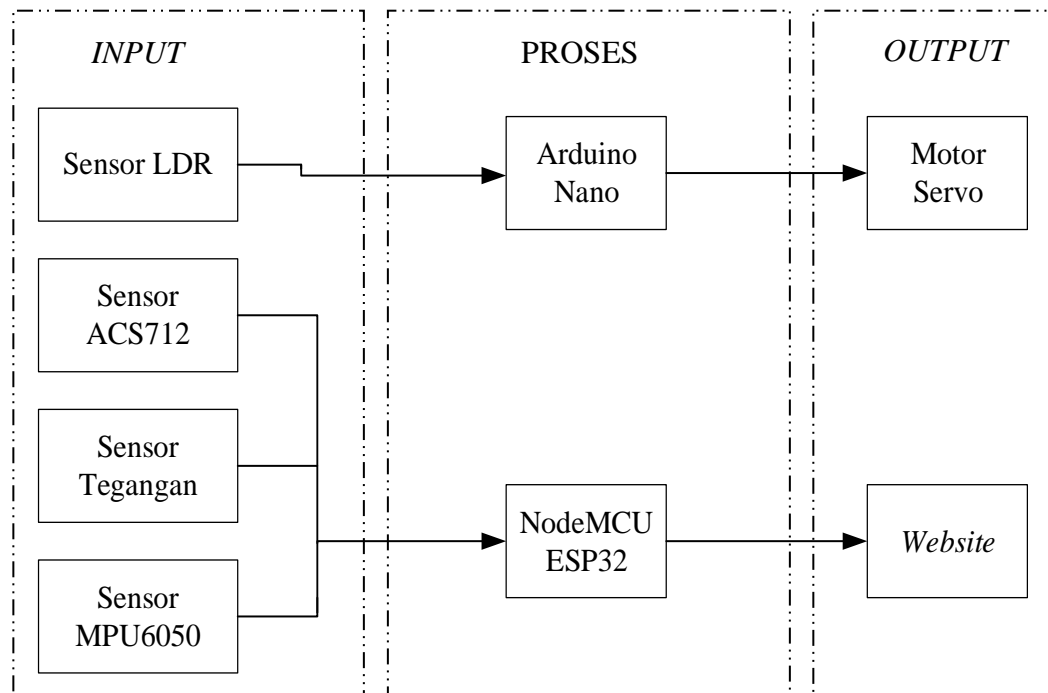


**Gambar 3.4** Desain Letak Mikrokontroler dan Sensor Keseluruhan

### 3.3.2 Perancangan Perangkat Keras

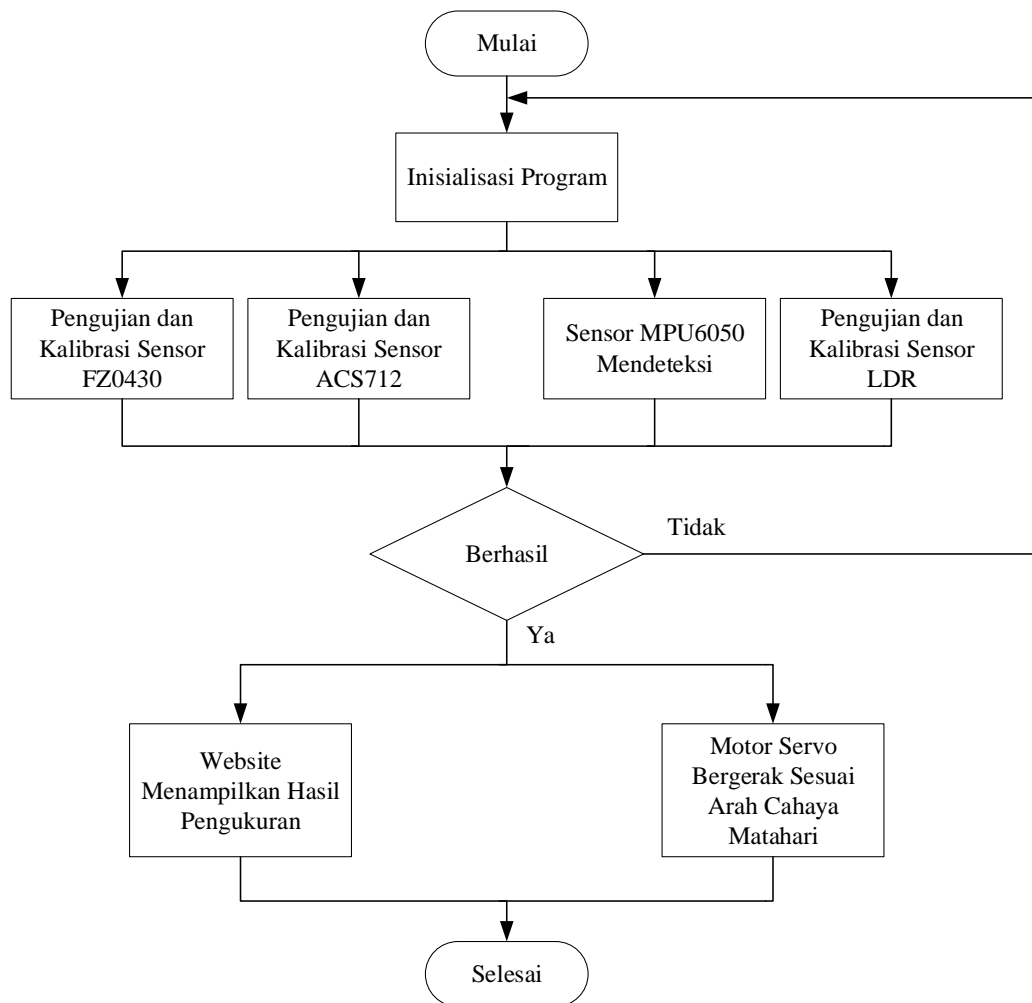
Perangkat keras yang digunakan dalam melakukan perancangan sistem *solar tracker* dengan monitoring keluaran panel surya berbasis IoT adalah Arduino Nano, NodeMCU ESP32, sensor tegangan, sensor ACS712, sensor MPU6050, sensor LDR, android/laptop, dan motor servo MG995. Adapun tampilan diagram blok sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.





**Gambar 3.5** Diagram Blok Perancangan Sistem

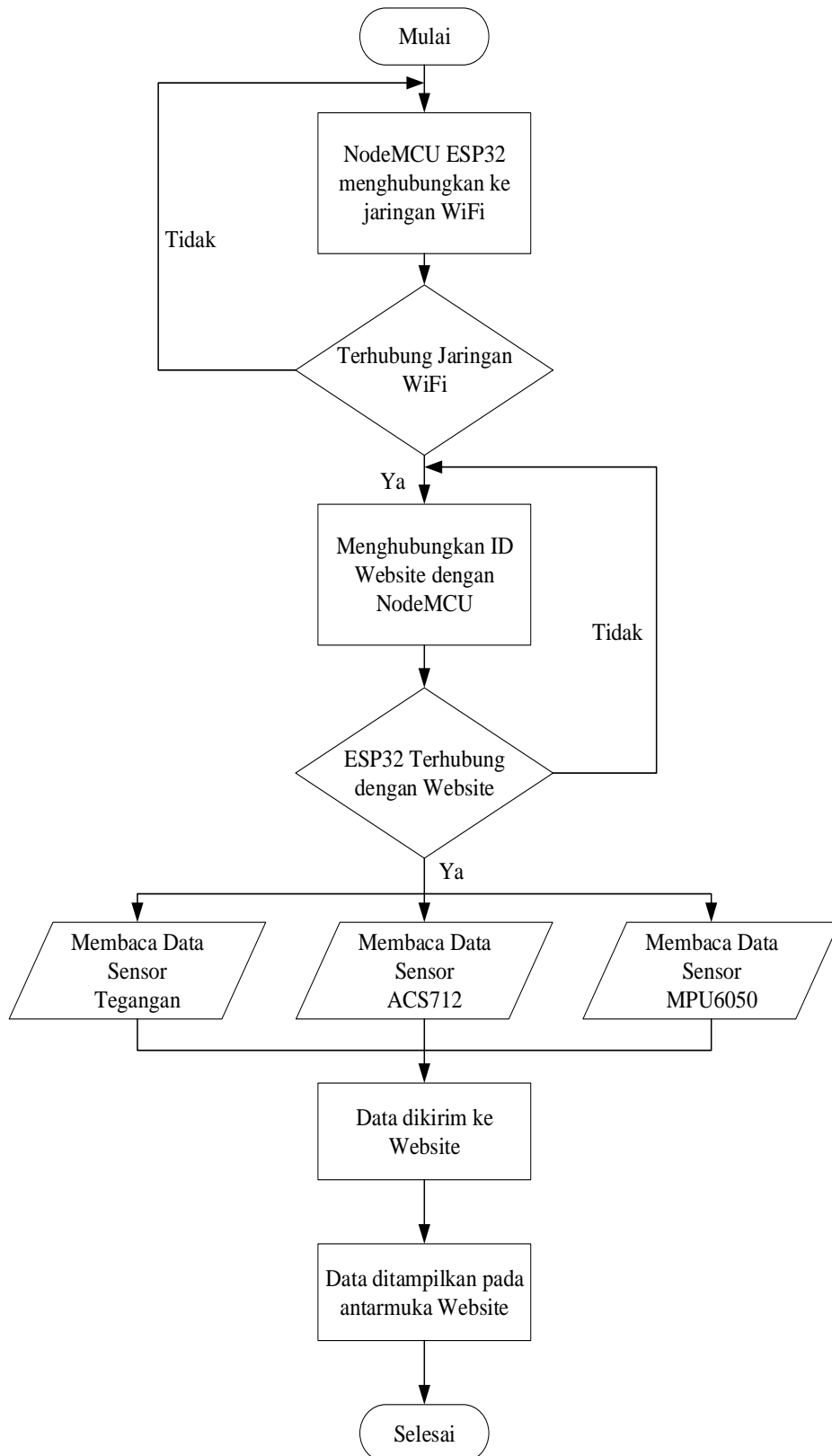
**Gambar 3.5** merupakan diagram blok perangkat keras (*hardware*) yang terbagi menjadi 3 bagian blok yaitu diagram *input* sensor LDR, sensor arus ACS712, sensor tegangan dan sensor *gyroscope* MPU6050, selanjutnya masukan dari sensor LDR diproses menggunakan Arduino Nano, sensor LDR digunakan untuk pembacaan sinyal intensitas matahari sehingga dapat menggerakkan motor servo. Kemudian, untuk sensor ACS712 diperoleh data analog yang kemudian data tersebut dikirim ke ESP32, data dari ESP32 akan ditampilkan pada *website* berupa arus (*I*). Pada sensor tegangan dan sensor kemiringan, data yang diperoleh dikirimkan ke mikrokontroler ESP32. Setelah diproses oleh ESP32, data pengukuran akan ditampilkan pada *website* berupa nilai tegangan (V) dan kemiringan ( $^{\circ}$ ). Diagram alir dari perancangan perangkat keras ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6** Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras

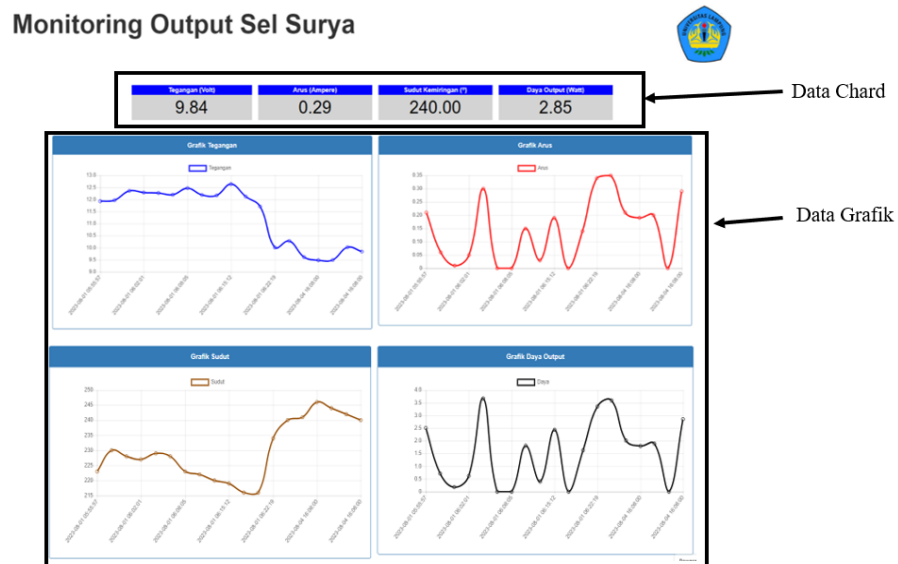
### 3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak dilakukan pemrograman berupa pembacaan data sensor, melakukan perhitungan daya *output* berdasarkan tegangan dan arus. Perancangan antar muka *website* dilakukan menggunakan *editor* Visual Studio Code. *Database* sistem menggunakan PHP MySQL yang terhubung dengan *software* XAMPP. Diagram alir perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



**Gambar 3.7** Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak

Berdasarkan **Gambar 3.7**, tahapan pertama adalah menghubungkan NodeMCU ESP32 dengan jaringan WiFi, selanjutnya ESP32 akan membaca data sensor dan selanjutnya dikirim ke *database*. Kemudian *database* akan menampilkan data hasil pengukuran melalui *website*. Tampilan antarmuka *website* ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



**Gambar 3.8** Tampilan Antarmuka *Website*

Berdasarkan **Gambar 3.8** pada tampilan antarmuka *website* terdiri dari *side bar* yang terdiri dari *settings* dan *log out*. Pada *settings* berfungsi untuk mengatur tampilan *content* sehingga dapat memunculkan data grafik dan data *chart*. Pada pilihan *log out* digunakan untuk keluar dari akun pengguna. Kemudian pada *graphic settings* berfungsi untuk mengatur rentang waktu pengukuran data.

### 3.3.4 Karakterisasi Sensor

Sebelum sensor digunakan untuk monitoring keluaran panel surya dan intensitas cahaya matahari, sensor akan dikarakterisasi terlebih dahulu agar sensor dapat membaca sesuai dengan alat ukur yang sebenarnya. Karakterisasi sensor dilakukan dengan membandingkan *output* dari instrumen yang dirancang dan instrumen terkalibrasi. Terdapat 4 parameter yang diuji, tegangan, arus, intensitas cahaya (lux) dan kemiringan. Kemudian untuk mencari nilai eror, presisi, dan akurasi dari

pembacaan sensor dengan nilai alat ukur ditunjukkan pada **Persamaan 3.3** sampai **Persamaan 3.5**.

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \left( 1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

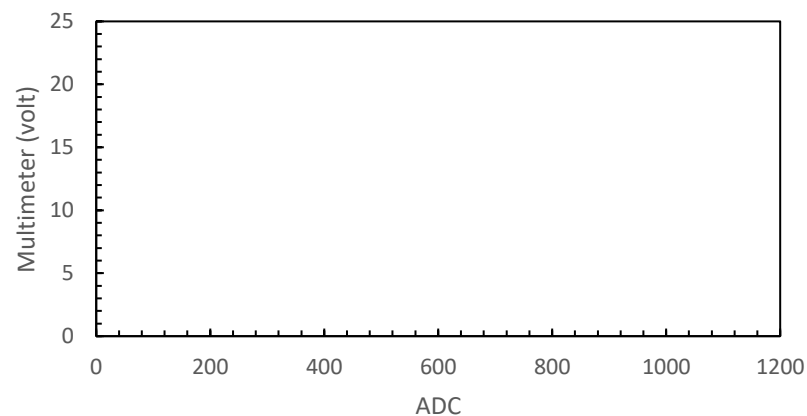
$$\text{Presisi (\%)} = \left( 1 - \left| \frac{X - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \right) \times 100\% \quad (3.5)$$

(Nugroho *et al.*, 2020).

Dimana nilai  $Y$  merupakan nilai yang ditunjukkan instrumen standar, nilai  $X$  merupakan nilai parameter terukur, nilai  $X_n$  merupakan nilai parameter ke- $n$  pada sensor,  $\bar{X}_n$  merupakan nilai rata-rata parameter ke- $n$  dan nilai 100% merupakan nilai pengonversian dalam bentuk persen.

**Tabel 3.5** Nilai Kalibrasi Sensor Tegangan

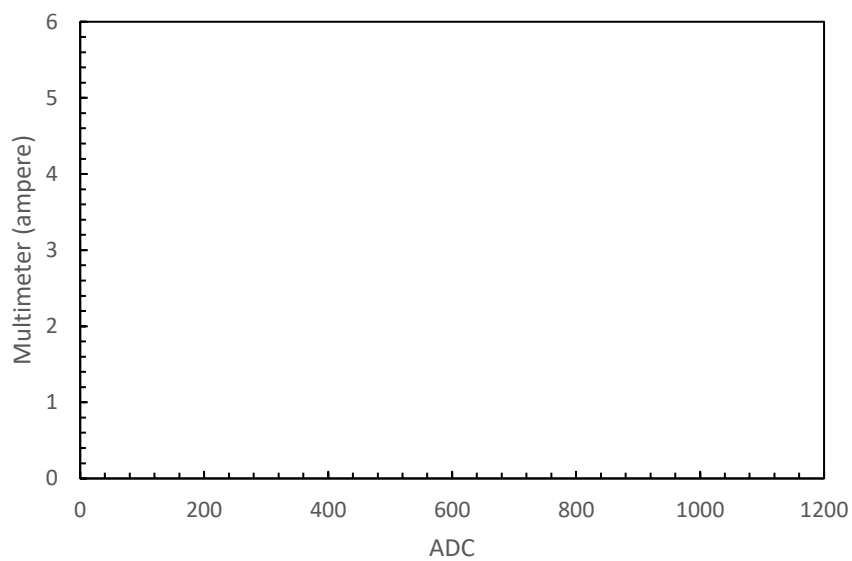
No	Sebelum Kalibrasi		Setelah Kalibrasi		Error (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
	ADC Sensor	Multimeter (volt)	Nilai Sensor (volt)	Multimeter (volt)			
1							
2							
3							
4							
5							



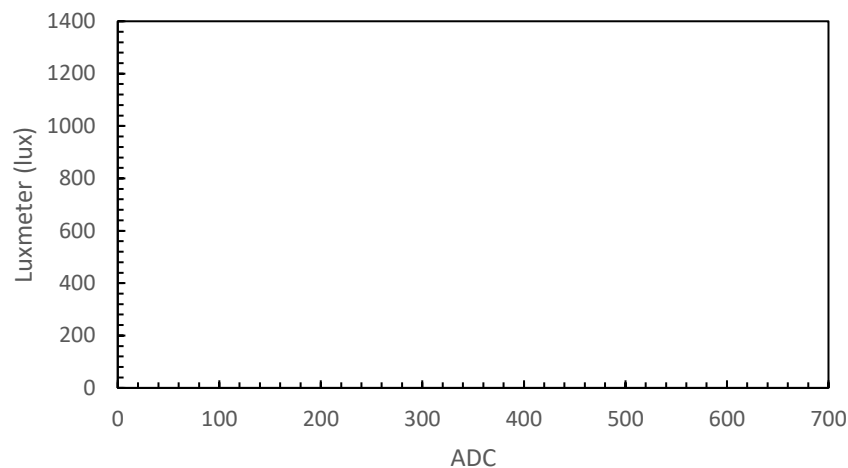
**Gambar 3.9** Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan

**Tabel 3.6** Nilai Kalibrasi Sensor Arus ACS712

No	Sebelum Kalibrasi		Setelah Kalibrasi		Error (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
	ADC Sensor	Multimeter (ampere)	Nilai Sensor (ampere)	Multimeter (ampere)			
1							
2							
3							
4							
5							

**Gambar 3.10** Grafik Kalibrasi Sensor ACS712**Tabel 3.7** Nilai Kalibrasi Sensor LDR

No	Sebelum Kalibrasi		Setelah Kalibrasi		Error (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
	ADC Sensor	Luxmeter (lux)	Nilai Sensor (lux)	Luxmeter (lux)			
1							
2							
3							
4							
5							



**Gambar 3.11** Grafik Kalibrasi Sensor LDR

**Tabel 3.8** Nilai Error Sensor MPU6050

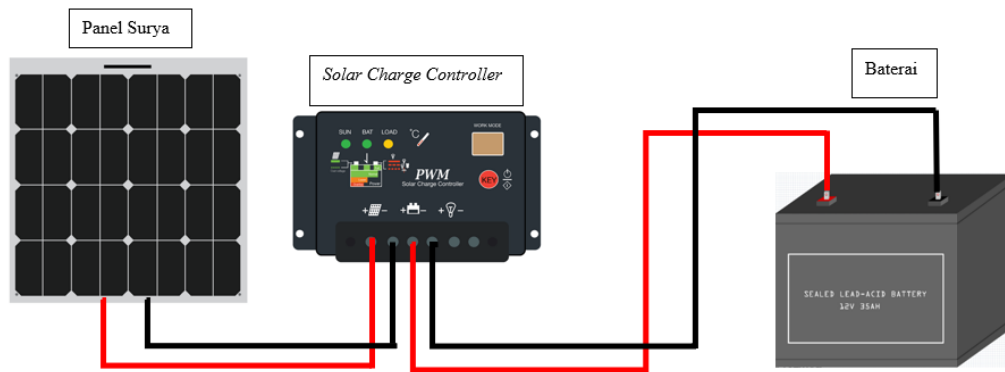
No	Nilai Sensor (°)	Busur (°)	Error (%)	Akurasi (%)
1				
2				
3				
4				
5				

### 3.3.5 Pembuatan Alat

Pada penelitian *solar tracker* menggunakan lensa fresnel berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan beberapa komponen yang terdiri dari beberapa tahapan pembuatan, diantaranya adalah.

a. Rangkaian Panel Surya 20 WP dengan SCC dan Aki

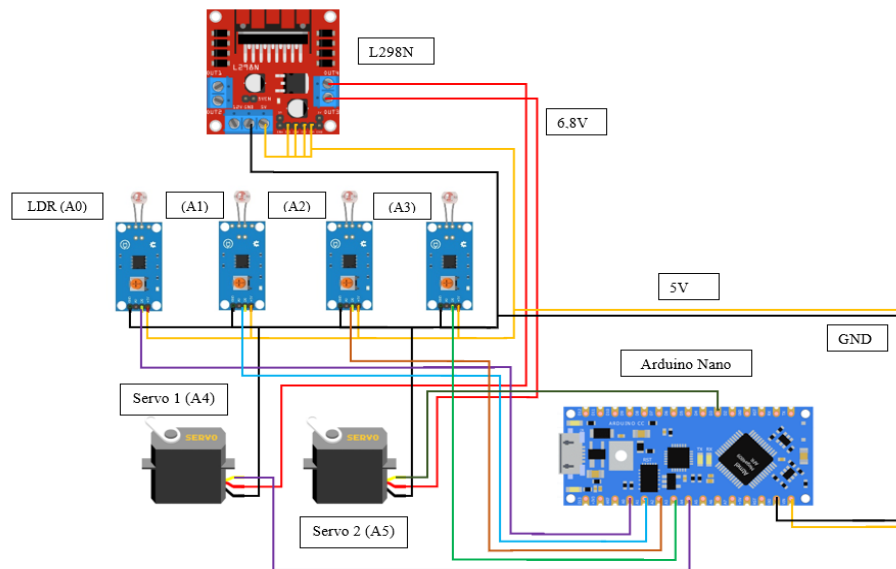
Panel surya akan menghasilkan berupa tegangan dan arus dengan daya maksimum 20 watt yang di hubungkan dengan *Solar Charge Controller* yang berfungsi sebagai pengatur pengisian daya ke baterai/aki. Panel surya yang digunakan memiliki jenis *polycrystalline*. Baterai yang digunakan memiliki tegangan maksimum 12,7 volt dan arus maksimum 5 ampere Rangkaian panel surya dengan SCC dan aki ditunjukkan pada **Gambar 3.12**.



**Gambar 3.12** Rangkaian Panel Surya dengan SCC dan Aki

b. Rangkaian Sensor LDR dan Motor Servo

Sensor LDR digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari yang datang pada panel surya, kemudian sensor LDR akan mengirimkan data analog ke mikrokontroler Arduino Nano dan setelah data diproses oleh Arduino Nano dikirim ke motor servo jenis MG995 sehingga dapat menggerakkan panel surya. Rangkaian sensor LDR dan motor servo ditunjukkan pada **Gambar 3.13**.

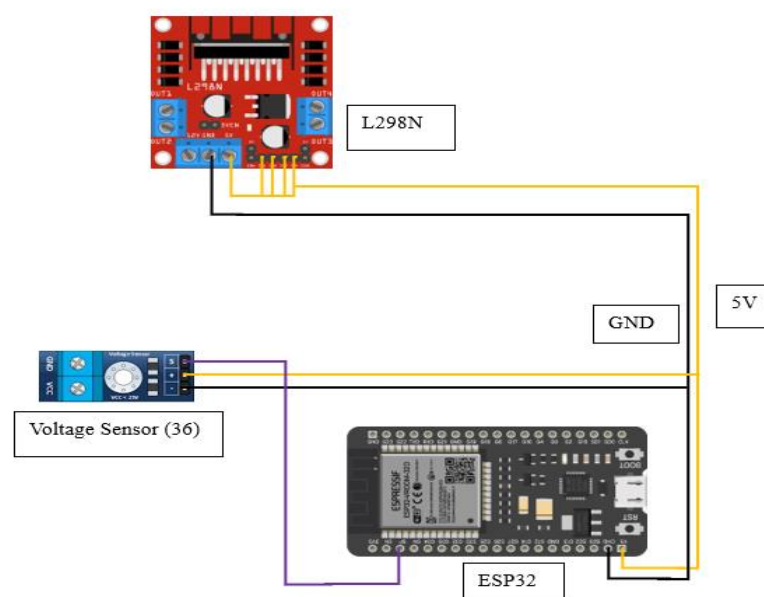


**Gambar 3.13** Rangkaian Sensor LDR dan Motor Servo



c. Rangkaian Sensor Tegangan

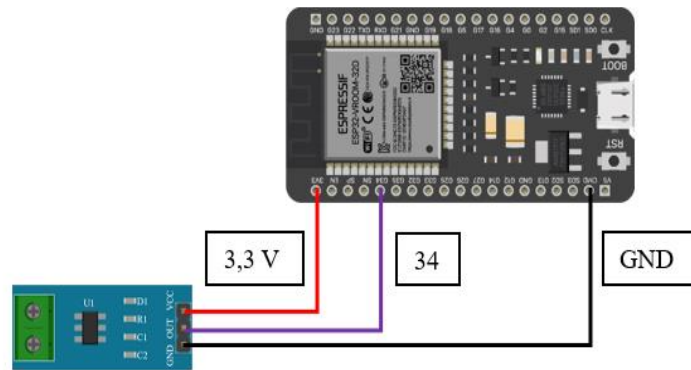
Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan *output* panel surya. Sensor ini memiliki 3 pin yang terdiri dari pin VCC, *ground*, dan *output* data. Tegangan referensi pada sensor ini rentang 3-5 volt. Sensor tegangan memiliki rentang pengukuran 0-25 volt. Data yang dihasilkan oleh sensor tegangan berupa data analog sehingga dihubungkan dengan pin analog 36 NodeMCU ESP32. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3.14** Rangkaian Sensor Tegangan

d. Rangkaian Sensor ACS712

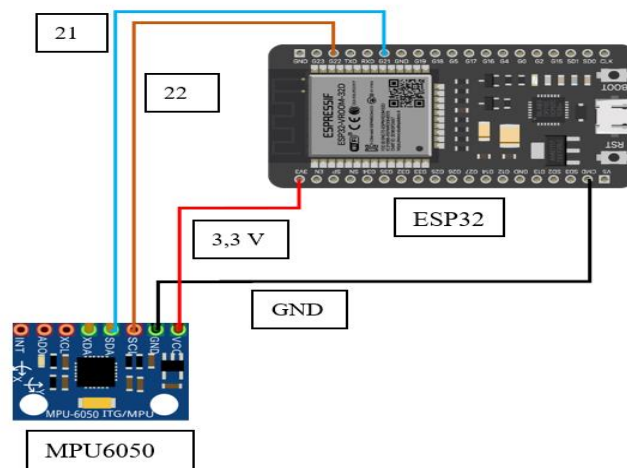
Sensor ACS712 digunakan untuk mengukur nilai arus *output* dari panel surya yang melakukan pengisian ke baterai. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 5 ampere yang memiliki nilai sensitivitas 185 mV/A. Terdapat 3 pin pada sensor ini, diantaranya adalah VCC, GND, dan Sinyal. Tegangan referensi pada sensor ini rentang 3-5 volt. Pada pin sinyal sensor menghasilkan sinyal analog sehingga dihubungkan dengan pin analog NodeMCU ESP32 pin 34.



**Gambar 3.15** Rangkaian Sensor ACS712

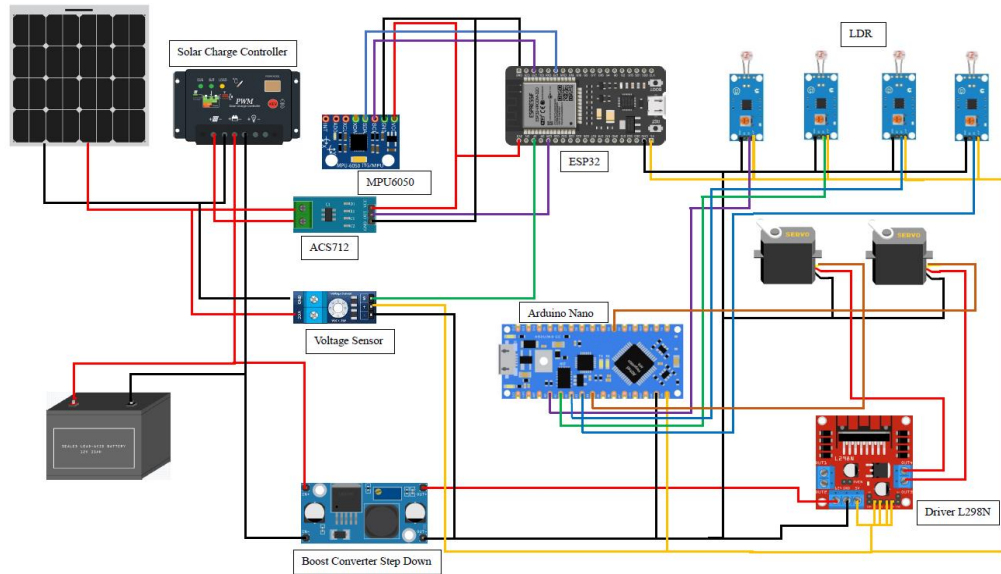
e. Rangkaian Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 digunakan untuk mengukur orientasi kemiringan sudut panel surya. Terdapat 4 pin pada sensor ini, diantaranya adalah VCC, GND, SCA, dan SCL. Tegangan referensi pada sensor ini berkisar 3-5 volt. Pada penelitian ini sensor MPU6050 diakses menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Rangkaian sensor MPU6050 ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16** Rangkaian Sensor MPU6050

Rangkaian keseluruhan dari alat ini ditunjukkan pada **Gambar 3.17**.



**Gambar 3.17** Rangkaian Keseluruhan Alat

### 3.3.6 Pengambilan dan Analisis Data

Pengujian alat dilakukan di lapangan upacara Universitas Lampung. Pengujian dilakukan 14 hari selama 9 jam (08-00 – 17.00) dengan jeda waktu 30 menit. Pengujian sistem *solar tracker* menggunakan lensa fresnel dilakukan untuk menghitung efisiensi dibandingkan tanpa menggunakan lensa. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui *output* daya panel surya terhadap orientasi kemiringan panel surya. Untuk menghitung daya dilakukan perhitungan menggunakan **Persamaan 2.2**. Adapun untuk menghitung efisiensi digunakan **Persamaan 3.6**.

$$\eta = \frac{P_{\text{dengan lensa}} - P_{\text{tanpa lensa}}}{P_{\text{tanpa lensa}}} \quad (3.6)$$

(Hidayati *et al.*, 2020).

dengan  $\eta$  sebagai efisiensi dalam bentuk persen (%),  $P$  sebagai daya (watt). Pada data uji tanpa lensa ditunjukkan pada **Tabel 3.9**, data uji menggunakan lensa ditunjukkan pada **Tabel 3.10** dan perbandingan daya ditunjukkan pada **Tabel 3.11**.

**Tabel 3.9** Data Uji Sebelum Menggunakan Lensa Fresnel

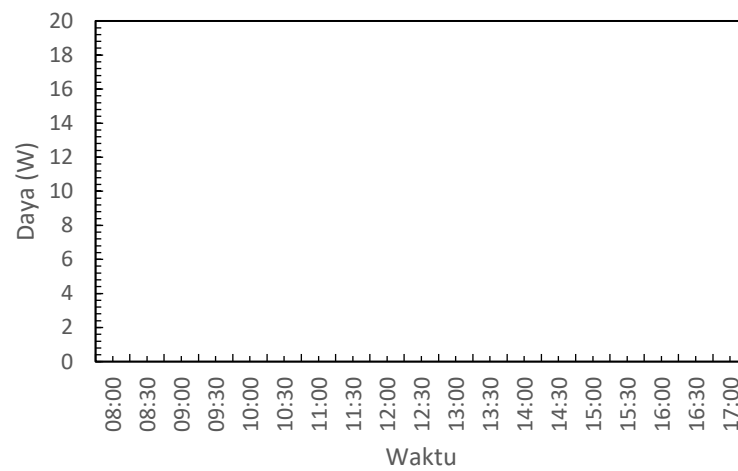
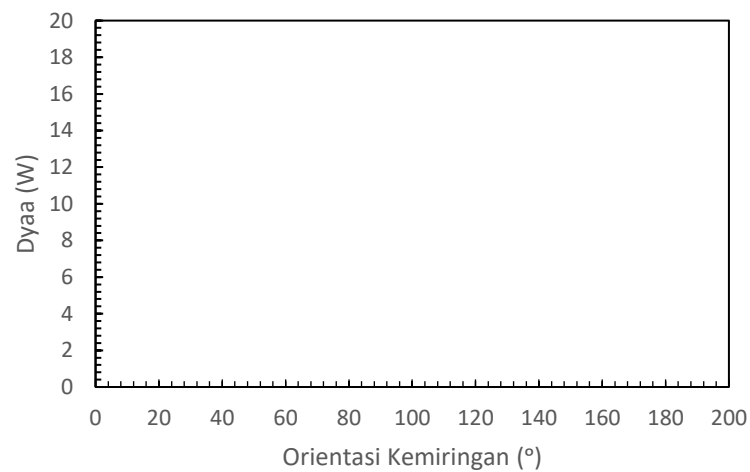
<b>Waktu</b>	<b>Intensitas Cahaya (lux)</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>Tegangan (volt)</b>	<b>Arus (ampere)</b>	<b>Sudut (°)</b>	<b>Daya (watt)</b>
08:00						
08:30						
09:00						
09:30						
10:00						
10:30						
11:00						
11:30						
12:00						
12:30						
13:00						
13:30						
14:00						
14:30						
15:00						
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

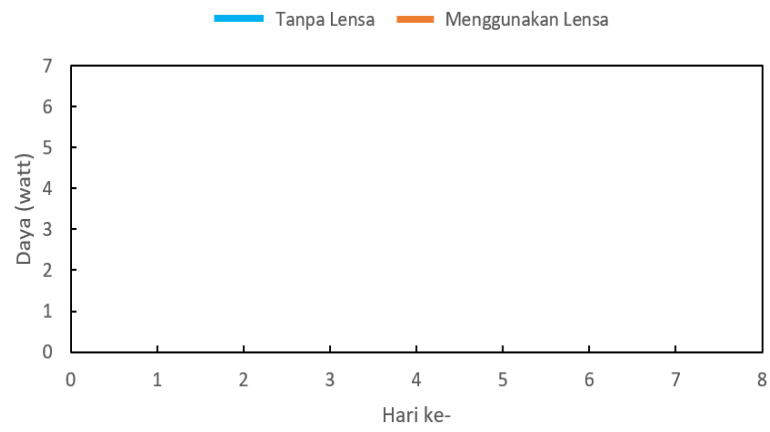
**Tabel 3.10** Data Uji Setelah Menggunakan Lensa Fresnel

<b>Waktu</b>	<b>Intensitas Cahaya (lux)</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>Tegangan (volt)</b>	<b>Arus (ampere)</b>	<b>Sudut (°)</b>	<b>Daya (watt)</b>
08:00						
08:30						
09:00						
09:30						
10:00						
10:30						
11:00						
11:30						
12:00						
12:30						
13:00						
13:30						
14:00						
14:30						
15:00						
15:30						
16:00						
16:30						
17:00						

**Tabel 3.11** Perbandingan Daya *Output*

Hari ke-	Tanpa Lensa (watt)	Menggunakan Lensa (watt)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
Rata-Rata		
Efisiensi (%)		

**Gambar 3.18** Data Uji Daya Panel Surya Terhadap Waktu**Gambar 3.19** Data Uji Daya Panel Surya Terhadap Orientasi Kemiringan



**Gambar 3.20** Perbandingan Daya *Output*

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil monitoring sistem *solar tracker* parameter tegangan (volt), arus (ampere), kemiringan ( $^{\circ}$ ), dan daya (watt) yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil simpulan sebagai berikut.

1. Sistem *solar tracker* dua sumbu dengan lensa fresnel memiliki rata-rata daya *output* tertinggi sebesar 6,2 watt sedangkan pada sistem *solar tracker* dua sumbu tanpa menggunakan lensa fresnel memiliki rata-rata daya *output* sebesar 5,64 watt.
2. Pada *solar tracker* tanpa lensa memiliki *output* daya tertinggi pada pengujian hari-5 dengan daya puncak (*watt peak*) sebesar 15,11 watt yang terjadi pada sudut  $28^{\circ}$  menghadap arah barat pukul 13.30 WIB, sedangkan pada *solar tracker* menggunakan lensa memiliki *output* daya tertinggi pada pengujian hari-5 dengan daya puncak sebesar 15,78 watt yang terjadi pada sudut  $28^{\circ}$  menghadap arah barat pada pukul 13.30 WIB.
3. Pada *dual axis solar tracker* menggunakan lensa memiliki daya *output* lebih besar dibandingkan dengan *dual axis solar tracker* tanpa menggunakan lensa dengan kenaikan daya sebesar 0,9 watt. Efisiensi daya *output* yang dimiliki oleh *dual axis solar tracker* menggunakan lensa adalah 20,09% jika dibandingkan dengan *dual axis solar tracker* tanpa menggunakan lensa.

### 5.2 Saran

Saran pada penelitian selanjutnya adalah perangkat sensor sudut yang dapat digunakan adalah sensor sudut jenis SCA60C yang lebih presisi dalam membaca sudut kemiringan sehingga pembacaan orientasi kemiringan panel surya akan lebih

akurat. Selanjutnya sistem *solar tracker* dua sumbu (*dual axis*) dapat dikembangkan menjadi *solar tracker* tiga sumbu (*triple axis*) sehingga radiasi sinar matahari yang datang pada permukaan panel surya menjadi lebih akurat dan menghasilkan daya *output* yang lebih optimal.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adani, F., & Salsabil, S. (2019). *Internet of Things: Sejarah Teknologi dan Penerapannya*. *Jurnal Teknik Informatika*, 14(2), 92–99.
- Alhaqem, M., & Aswardi, A. (2021). Human Machine Interface Visual Basic Arduino Untuk DC-DC Converter Type Buck. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(2), 148-154.
- Andrian, A., Rahmadewi, R., & Bangsa, I. A. (2020). Arm Robot Pemindah Barang (AtwoR) Menggunakan Motor Servo MG995 Sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino. *Jurnal Electro Luceat*, 6(2), 142–155.
- Anhar, A. S., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Desain Prototype Sel Surya Terkonsentrasi Menggunakan Lensa Fresnel. *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 2(3), 1–7.
- Arif, D. T. (2020). *Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino*. *Jurnal Teknik Elektro*, 06(02), 33–43.
- Artiningrum, T., & Havianto, J. (2019). Meningkatkan Peran Energi Bersih Lewat Pemanfaatan Sinar Matahari. *Jurnal Geoplanart*, 2(2), 100–115.
- Bagus Kurniansyah, I., Ronilaya, F., & Fahmi Hakim, M. (2020). Real Time Monitoring System Dari Active Solar Photovoltaic Tracker Berbasis Internet Of Things. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 7(3), 7–13.
- Bakhtiar & Tadjuddin (2020). Pemilihan *Solar Charge Controller* (SCC) Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Prosiding 4 Pendidikan*, 23, 169–172.
- Cheng, T. C., Yang, C. K., & Lin, I. (2016). Biaxial-type concentrated solar tracking system with a Fresnel lens for solar-thermal applications. *Journal Applied Sciences*, 6(5).
- Cornelyus, A. L. (2021). Kaji Eksperimental Prototipe *Double Axis Solar Tracker* Untuk Peningkatan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Photovoltaic* 100 WP. *Skripsi*. Universitas HKBP Nommensen.
- Dalimunthe, R. A. (2018). Pemantau Arus Listrik Berbasis Alarm Dengan Sensor Arus. *Seminar Nasional Royal (SENAR)*, 1(1), 333–338.
- Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., & Hermawan, D. (2019). Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Web Pada *Smart Room* Menggunakan Konsep *Internet of Things*. *Jurnal Sistem Informasi & Telematika*, 10(2), 98 – 106.

- Fachri, M. R., Sara, I. D., Away, Y., Fachri, M. R., Sara, I. D., & Away, Y. (2015). Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara *Real Time*. *Jurnal Rekayasa Elektrika Arduino secara Real Time*. 11(4).
- Fatimah, Q. I., Marselino, R., & Asnil. (2021). Perancangan dan Pengendalian Kecepatan Motor Berbasis Web. *Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*. 3(3). 101-112.
- Firman, B. (2016). Implementasi Sensor IMU MPU6050 Berbasis Serial I2C Pada Self-Balancing Robot. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 9(1). 18–24.
- Fikriyah, L. & Rohmanu, A. (2018). Sistem Kontrol Pendingin Ruangan Menggunakan Arduino Web Server dan Embedded Fuzzy Logic di PT. Inosc Polytechno Indonesia. *Jurnal Infomatika SIMANTIK*. 3(1). 21-27.
- Fitriandi, A., Komalasari, E., & Gusmedi, H. (2016). Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway. 10(2).
- Haerurrozi, Abdul Natsir, S. (2019). Analisis Unjuk Kerja Plts On-Grid Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (Ebt) Universitas Mataram. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Hariningrum, R. (2021). *Analisa Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya 100 WP Terhadap Daya Listrik*. 1(2), 67–76.
- Herawadi Sudibyo, N., Ridho, M., Kunci, K., Cahaya, S., Alam, B., & Dini, P. (2015). Pendeteksi Tanah Longsor Menggunakan Sensor Cahaya. *Jurnal TIM Darmajaya* 1(2), 218–227.
- Hidayanti, F., Rahmah, F., & Agosto, J. (2019). Design of solar tracker on solar panel with fresnel concentrator. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 1014–1025.
- Hidayati, Q., Yanti, N., & Jamal, N. (2020). *Dual Axis Solar Tracking System For Generation*. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*.
- Hilal, A., Manan, S., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2013). Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak CCTV Untuk Melihat Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien di Ruang ICU. *Jurnal Gema Teknologi*. 17(2), 95–99.
- Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 2(1), 35–42.
- Kurniawan, S. A., & Taufik, M. (2021). Rancang Bangun *Solar Tracker* Sumbu Tunggal Berbasis Motor *Stepper* dan *Real Time Clock*. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa Volume*. 26(1), 1–12.
- Kyai Demak, R., & Hatib, R. (2016). Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap Efisiensi Modul Photovoltaic Tipe Multicrystalline. *Jurnal Mekanikal*, 7(1), 625–633.

- Melipurbowo. (2016). Pengukuran Daya Listrik *Real Time* dengan Menggunakan Sensor Arus ACS712. *Jurnal Orbith*. 12(1), 17–23.
- Meutia, E. D. (2019). *Internet of Things - Keamanan dan Privasi*. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*, 85-89.
- Mohammad Hafidz, S. S. (2015). Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta. *Jurusan Teknik Elektro*, 7(1), 49-63.
- Mohd Said, M. N. A., Jumaat, S. A., & Jawa, C. R. A. (2020). Dual axis solar tracker with IoT monitoring system using arduino. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1), 451–458.
- Ningsih, P. S. (2020). Pengukuran Tegangan, Arus, Daya pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduin Uno. *Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri*, 5(1), 8–16.
- Nugroho, C. P., Yuniarti, E., & Hartono, A. (2020). Alat Pengukur Saturasi Oksigen Dalam Darah Menggunakan Metode Photoplethysmograph *Reflectance*. *Journal of Materials, Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*. 3(11). 84-93.
- Putra, A. A. B., Prasetyo, E., & Marausna, G. (2022). Rancang Bangun *Single axis solar tracker* dengan Motor Power Window DC CSD60-B. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 10(1), 34-40.
- Putra, G. G., & Suwarno, D. U. (2019). Pembaca Aktifitas Manusia Dengan Sensor Gyro. *Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia*, 1(1), 139–146.
- Rarumangkay, B. B., Poekoel, V. C., & Sompie, S. R. U. A. (2021). Solar Panel Monitoring System. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(2), 211–218.
- Riyanto, B. & Rofii, A. (2020). Analisis Pengaruh Penambahan Sistem Pelacak Matahari dan Lensa Fresnel Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya, *Karya Ilmiah*. 115–125.
- Roni Syafrialdi, & Wildian. (2015). Rancang Bangun Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dengan Sensor Ldr Dan Penampil Lcd. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2), 113–122.
- Rozaq, I. A., & Setyaningsih, Y. N. D. (2018). Karakterisasi dan Kalibrasi Sensor pH Menggunakan Arduino Nano. *Prosiding SENDI\_U*, 244–247.
- Rusmaryadi, H., Sukamarnsyah, Sianipar, T. P. O., Setiadi, H. (2019). Pengaruh Cermin Reflektor Terhadap Daya dan Kenaikkan Temperatur Sel Surya. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Tridianti Palembang*. 1(2), 85–94.
- Setiawan, A., & Purnamasari, A. I. (2019). Pengembangan Smart Home Dengan Microcontrollers ESP32 Dan MC-38 Door Magnetic Switch Sensor Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Meningkatkan Deteksi Dini Keamanan Perumahan. *Jurnal Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi*, 3(3), 451–457.

- Siswanto, D., & Winardi, S. (2015). Jemuran Pakaian Otomatis Menggunakan Sensor Hujan. *Jurnal Narodroid*, 1(2), 66–73.
- Sokop, S. J., Mamahit, D. J., Eng, M., & Sompie, S. R. U. A. (2016). *Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano*. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. 5(3).
- Sungur, Cemil. (2009). Multi-Axes Sun-tracking System with PLC Control for Photovoltaic panels in Turkey. 34(4), 1119-1125.
- Suriana, I. W., Setiawan, I. G. A., & Graha, I. M. S. (2021). Rancang Bangun Sistem Pengaman Kotak Dana Punia Berbasis Mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan Aplikasi Telegram. *Jurnal Ilmiah*. 4(2), 11–20.
- Suryanto, M., Subandi, Syafriyudin, & Mubarak, I. (2020). Sistem Pengujian Tegangan Boost Converter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTH) Picohydro Kapasitas Rendah. *Jornal of Electrical Power Control and Automation*. 3(1). 8-14.
- Suryawinata, H., Purwanti, D., & Sunardiyo, S. (2017). *Sistem Monitoring pada Panel Surya Menggunakan Data logger Berbasis ATmega 328 dan Real Time Clock DS1307*. 9(1).
- Sutana, I. W. (2015). Alat Solar Tracker Berbasis Mikrokontroler 8 BIT ATmega 8535. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*. 12(2), 191 - 204.
- Sutanto, A., & Tanudjaja, H. (2013). Penerapan Kontroller PID Pada Sistem Pengatur Ketinggian Air Berbasis LABVIEW. *Jurnal Elektro*. 10(2). 95–107.
- Syafaruddin. (2010). Perbandingan Unjuk Kerja Antara Panel Sel Surya Berpenjejak Dengan Panel Sel Surya Diam. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(1), 6–11.
- Uddin, M. (2021). Single Axis Solar Tracker for Maximizing Power Production and Sunlight Overlapping Removal on the Sensors of Trackers. *International Journal of Robotics and Control Systems*. 1(2), 186-197
- Wahidin, N. F., Yadie, E., & Putra, M. A. (2022). Analisis Perbandingan Solar Charging Controller (SCC) Jenis PWM Dan MPPT Pada Automatic Handwasher with Workstation Bertenaga Surya Politeknik Negeri Samarinda. *Jurnal PoliGrid*, 3(1), 12.
- Warsito, A., Adriono, E., Nugroho, M. Y., & Winardi, B. (2013). Dipo PV Coller, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur *Heatsink Fan* Pada Panel Surya (*Photovoltaic*) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Transient*. 2(3), 3-8.
- Widodo, S., & Iriani, J. (2019). Perancangan Listrik Energi Surya 300VA, 220V, 50Hz, Untuk Rumah Tangga Sederhana. *Jurnal Eksergi*, 15(1), 1.
- Wijaya, D., & Khariono, H. (2022). Pemantauan Ph Berbasis Nodemcu32 Terintegrasi Bot Telegram Melalui Platform I-Ot.Net. *Jurnal Informatika Polinema*, 8(3), 53–62.

Windarko, N. A., Habibi, M. N., Ari, M., Nugroho, B., & Prasetyono, E. (2020). Simulator Panel Surya Ekonomis untuk Pengujian MPPT pada Kondisi Berbayang Sebagian. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*. 9(1), 110–115.