

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PANEL SURYA MENGUNAKAN ALARM CERDAS BERBASIS IOT

SKRIPSI

OLEH:

**SURYA ALPACINO MANURUNG
238120013**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 7/8/26

Access From (repositori.uma.ac.id)7/8/26

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PANEL SURYA MENGUNAKAN ALARM CERDAS BERBASIS IOT

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:

**SURYA ALPACINO MANURUNG
238120013**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/8/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

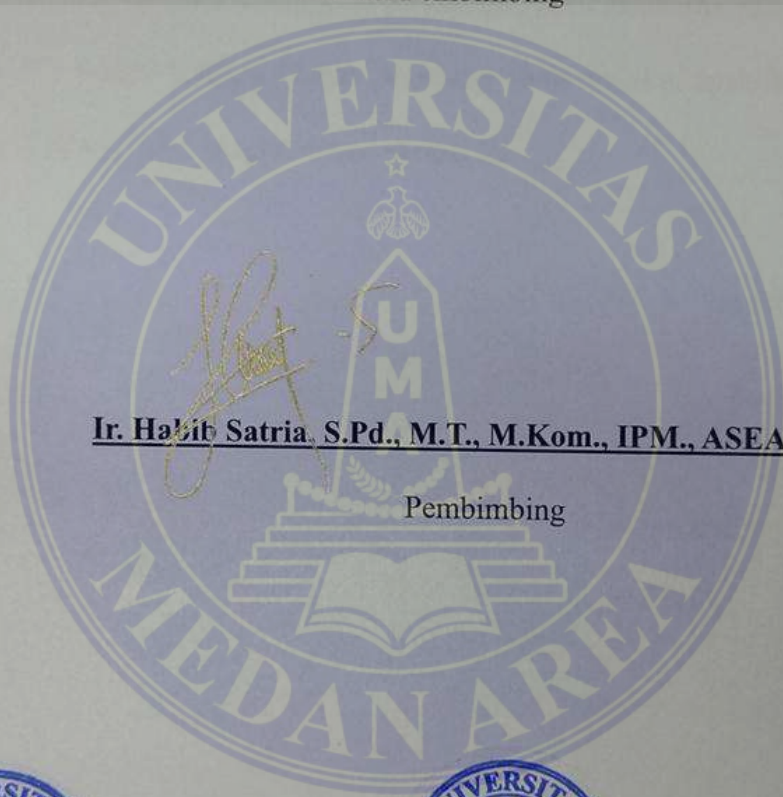
Access From (repositori.uma.ac.id)7/8/26

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya
Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT
Nama : Surya Alpacino Manurung
NPM : 238120013
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:

Komisi Pembimbing



Ir. Habib Satria, S.Pd., M.T., M.Kom., IPM., ASEAN Eng.

Pembimbing



Dr. Eka Supriatno, S.T., M.T.

Dekan



Muhammad Fadlan Siregar, S.T., M.T., IPM

Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 14 Januari 2026

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 7/8/26

Access From (repository.uma.ac.id)7/8/26

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi - sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 14 Januari 2026



SURYA

Surya Alpacino Manurung

238120013

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Surya Alpacino Manurung
NPM : 238120013
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

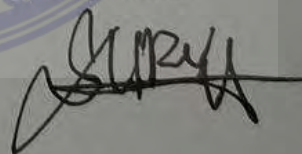
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 14 Januari 2026

Yang menyatakan



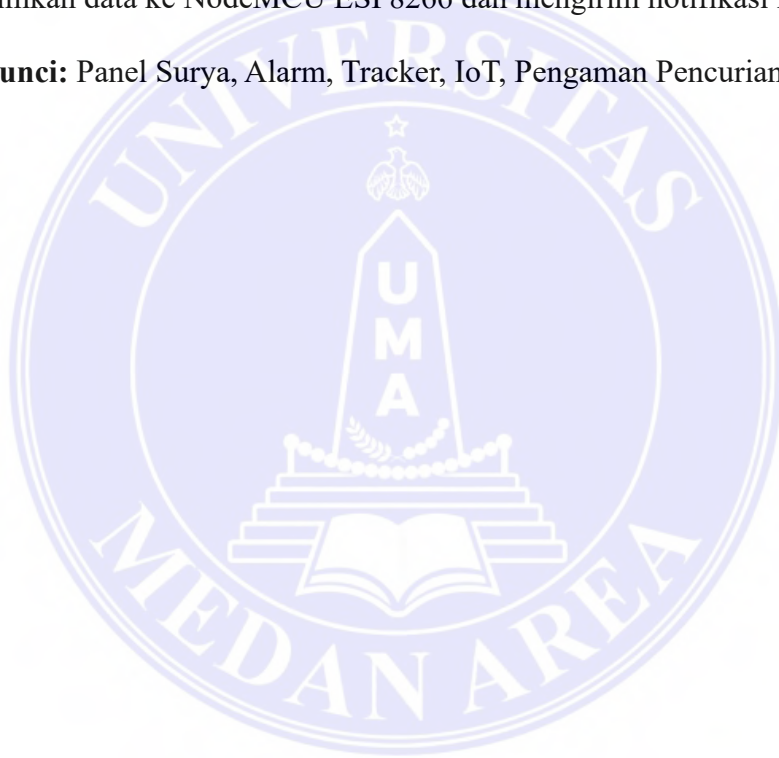
(Surya Alpacino Manurung)

NPM. 238120013

ABSTRAK

Pembangkit energi listrik dari energi fosil masih mendominasi dan ketersediaannya akan semakin terbatas dalam waktu yang lama sehingga dilakukan pemanfaatan energi baru terbarukan melalui penerapan panel surya tracker dua sumbu. Diperlukan sistem pengaman berupa peringatan terhadap tindakan pencurian panel surya yang dapat menimbulkan kerugian secara finansial serta menghambat distribusi energi ke konsumen. Berdasarkan pengujian, sistem panel surya tracker telah berhasil mengikuti posisi matahari yang menghasilkan daya maksimum pada pukul 12.21 WIB sebesar 39,69 W. Efisiensi daya pada sistem panel surya tracker mampu menghasilkan peningkatan daya keluaran sebesar 17,38%. Hasil pengujian pengaman panel surya mampu mendeteksi adanya pencurian saat panel terangkat dari dudukannya dengan jarak 2 cm, sensor mengaktifkan buzzer serta mengirimkan data ke NodeMCU ESP8266 dan mengirim notifikasi ke Blynk.

Kata kunci: Panel Surya, Alarm, Tracker, IoT, Pengaman Pencurian.



ABSTRACT

Electricity generation from fossil fuels still dominates energy production, while their availability continues to decline. Therefore, renewable energy utilization through a dual-axis solar tracker system is required. This study also implements a security system to prevent solar panel theft. Based on testing, the solar tracker successfully followed the sun's position and generated a maximum power output of 39.69 W at 12:21 PM. The system increased output power efficiency by 17.38%. The security system detected theft attempts when the panel was lifted 2 cm, activated a buzzer, and sent notifications via NodeMCU ESP8266 and Blynk.

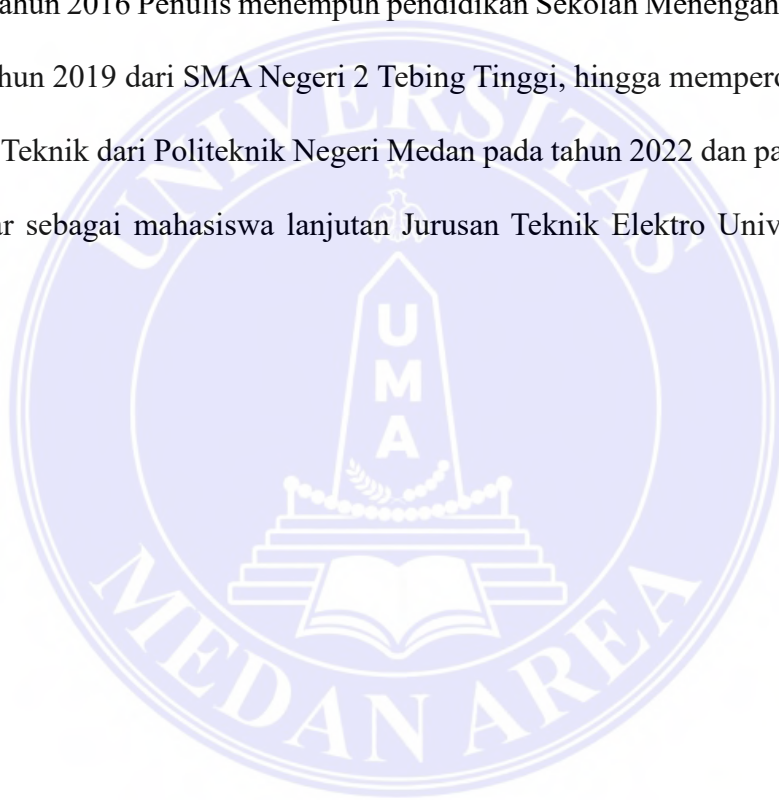
Keywords: Solar Panel, Alarm, Tracker, IoT, anti-theft device



RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Surya Alpacino Manurung dilahirkan di Dolok Nauli pada tanggal 26 Januari 2001 dari ayah Harry Manurung dan ibu Hotlina Pakpahan. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Penulis beralamat di Dolok Nauli DSN XI Desa Sei Belutu, Kecamatan Sei Bamban, Kabupaten Serdang Bedagai.

Tahun 2016 Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Atas dan lulus pada tahun 2019 dari SMA Negeri 2 Tebing Tinggi, hingga memperoleh gelar Ahli Madya Teknik dari Politeknik Negeri Medan pada tahun 2022 dan pada tahun 2023 terdaftar sebagai mahasiswa lanjutan Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan program sarjana di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, Penulis mendapat banyak bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak berupa informasi, spiritual maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng., Supriatno, S.T, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Muhammad Fadlan Siregar, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Ir. Habib Satria, S.Pd., M.T., M.Kom., IPM., ASEAN Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Seluruh staff dan pengajar di Universitas Medan Area.
6. Orang Tua serta seluruh keluarga atas segala dukungan, doa dan perhatian.
7. Para rekan penulis yang membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini dikemudian hari. Akhir kata, penulis mengucapkan

terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pengerjaan skripsi ini dan semoga bermanfaat bagi pembaca.

Penulis



(Surya Alpacino Manurung)



DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	7
2.2.2 Panel Surya (Solar Panel)	8
2.2.3 Solar Tracker	10
2.2.4 Sun Path	11
2.2.5 Posisi Matahari	12
2.2.6 Internet of Things (IoT)	14
2.2.7 Arduino Uno	15
2.2.8 NodeMCU ESP8266	16
2.2.9 Motor Aktuator Linear	17
2.2.10 Light Dependent Resistor (LDR)	18
2.2.11 INA219	18
2.2.12 Driver L298N	19
2.2.13 Step down LM2596	20
2.2.14 Liquid Crystal Display (LCD)	20
2.2.15 Inter Integrated Circuit (I2C)	21
2.2.16 Solar Charge Controller (SCC)	22
2.2.17 Magnetic Door Reed Switch	23
2.2.18 BH1750	24
2.2.19 MPU6050	24
2.2.20 Real Time Clock (RTC)	25
2.2.21 Miniature Circuit Breaker (MCB)	26
2.2.22 Baterai/Aki	27
2.2.23 Kabel	28
2.2.24 DHT11	29
2.2.25 Buzzer	29
2.2.26 Software IDE Arduino	30

2.2.27 Blynk.....	31
III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.1.1 Alat.....	33
3.1.2 Bahan.....	33
3.3 Metodologi Penelitian	35
3.3.1 Studi Literatur	35
3.3.2 Studi Pengujian dan Analisa.....	35
3.3.3 Studi Dokumentasi	36
3.4 Prosedur Kerja	36
3.4.1 Perancangan Penulisan Skripsi	36
3.4.2 Perancangan Diagram Blok Sistem.....	38
3.4.3 Perancangan Rangkaian Skematik Alat	39
3.4.4 Perancangan Diagram Alir Sistem	41
3.4.5 Perancangan Desain Alat.....	43
3.4.6 Perancangan MCB dan Kabel Panel Surya.....	44
3.4.7 Pemrograman	45
3.4.8 Uji Coba	45
3.4.9 Perbaikan.....	46
3.4.10 Pengambilan Data	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil Perancangan Sistem.....	47
4.1.1 Hasil Gambar Kerangka Solar Tracker	47
4.1.2 Hasil Rangkaian Elektrik Sistem	48
4.1.3 Hasil Tampilan Aplikasi Blynk	48
4.2 Hasil Pengujian Sistem	49
4.2.1 Hasil Pengujian Sistem Tracker Panel Surya	49
4.2.2 Hasil Pengujian Pengaman Pencurian.....	56
4.3 Pembahasan.....	56
V. KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Spesifikasi Panel Surya.....	9
2. Spesifikasi Arduino Uno.....	15
3. Spesifikasi NodeMCU ESP8266	17
4. Spesifikasi Motor Aktuator Linear	18
5. Spesifikasi LM2596.....	20
6. Spesifikasi Baterai/Aki	27
7. Waktu kegiatan penelitian.....	32
8. Alat yang digunakan.....	33
9. Bahan Perangkat Keras.....	33
10. Bahan Perangkat Lunak.....	34
11. Hasil Pengujian Sistem Panel Surya Tracker Terhadap Waktu	51
12. Hasil Pengujian Sistem Panel Surya Statis Terhadap Waktu.....	52
13. Hasil Pengujian Pengaman Pencurian	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Prinsip Kerja Panel Surya.....	7
2. Panel Sel Surya.....	9
3. Sistem Solar Tracker Single Axis dan Dual Axis	10
4. Sun Path.....	11
5. Analemma.....	11
6. Posisi matahari terhadap pengamat menampilkan sudut azimuth serta sudut elevasi matahari	12
7. Konsep Internet of Things	14
8. Arduino Uno.....	15
9. NodeMCU ESP8266.....	16
10. Motor Aktuator Linear.....	17
11. LDR	18
12. Sensor INA219	19
13. Modul Driver Motor L298N.....	19
14. Modul DC-DC Step Down LM2596	20
15. LCD	21
16. Modul I2C.....	22
17. Perbandingan SCC jenis PWM dan MPPT	23
18. Magnetic Door Reed Switch.....	24
19. Sensor BH1750.....	24
20. Sensor MPU6050.....	25
21. Modul RTC DS3231	26
22. MCB AC dan DC.....	26
23. Baterai/Aki.....	27
24. KHA Kabel	28
25. Sensor DHT11	29
26. Buzzer.....	29
27. IDE Arduino Versi 1.8.19	30
28. Blynk	31
29. Diagram Alir Penelitian Skripsi.....	37

30.	Diagram Blog Sistem Panel Surya Dual Axis Tracker	39
31.	Rangkaian Skematik Alat	40
32.	Gambar Diagram Alir Sistem Rancang Bangun	43
33.	Perancangan Desain Alat	44
34.	kerangka Panel Surya Tracker Dual Axis	47
35.	Rangkaian Elektrik Sistem	48
36.	Tampilan Aplikasi Blynk	49
37.	Pengujian efisiensi panel surya dengan beban.....	50
38.	Grafik perbedaan daya antara sistem panel surya tracker vs statis....	54
39.	grafik perbandingan irradiansi sistem panel surya tracker vs statis....	55
40.	Hasil Pengujian Sensor Keamanan	56
41.	Posisi panel surya	57



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Program Arduino Uno.....	64
2. Kode Program ESP8266	71



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada lintasan garis khatulistiwa yang mana matahari melintas. Energi dari matahari merupakan salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui serta dikonversi oleh panel surya menjadi energi listrik (Rizky, 2020). Saat ini, pembangkit energi listrik masih bersumber dari energi fosil dan mendominasi di Indonesia yang mana ketersediaan energi fosil dalam penggunaan waktu yang lama akan semakin terbatas sehingga mengelola energi baru terbarukan (EBT) menjadi suatu tantangan bagi Indonesia (Widjonarko et al., 2024).

Untuk mengelola energi matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik maka dilakukan suatu cara dengan menggunakan panel sel surya (*solar cell*). Energi yang diserap oleh panel surya masih kurang optimal dikarenakan bumi yang berotasi menyebabkan posisi pergerakan matahari tidak akan selalu sama (Rizky, 2020). Demi pengoptimalan penyerapan energi matahari maka dilakukan penginstalasian panel surya dengan mengikuti pergerakan posisi cahaya matahari atau istilahnya disebut *tracker system* (Siagian & Manurung, 2022).

Namun, di balik pengelolaan energi matahari tersebut, terdapat tantangan serius dalam penggunaan panel surya, dimana salah satunya adalah masalah pencurian. Panel surya memiliki nilai ekonomi yang tinggi serta relatif mudah dilepas dari instalasinya, sehingga pencurian ini tidak hanya menimbulkan kerugian secara finansial tetapi menghambat distribusi energi ke konsumen, serta mengurangi kepercayaan terhadap penerapan teknologi energi terbarukan. Maka diterapkan suatu teknologi pengaman pencurian dengan memanfaatkan teknologi

sensor *magnetic door reed switch* yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) yang mana sensor akan mendeteksi posisi kedudukan panel dan mengirim notifikasi melalui aplikasi Blynk (Syamsudin et al., n.d.).

Guna meminimalisir kerusakan serta penurunan kinerja pada sistem panel surya, diperlukan suatu alat yang dapat memonitor kinerja serta menyampaikan informasi (notifikasi) ketika menurunnya kinerja sistem panel surya, sehingga kualitas sistem panel surya tetap terjaga serta mengantisipasi kerusakan. Adapun variabel yang dapat dimonitoring berupa data tegangan, arus dari panel surya serta data intensitas Cahaya (Bahroni et al., 2020).

Oleh karena itu, dilakukan pemanfaatan energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik melalui perancangan panel surya dengan mode tracking *Dual axis* dengan menerapkan sensor keamanan berupa alarm menggunakan sensor *magnetic door reed switch* dan Buzzer yang terintegrasi dengan IoT serta memonitoring beberapa parameter seperti data irradiansi matahari, suhu sekitar, sudut panel surya, arus, tegangan dan daya panel surya. Sehingga peneliti memutuskan untuk membuat Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT”.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem pengaman panel surya menggunakan alarm cerdas berbasis IoT?
2. Bagaimana hasil pengujian rancang bangun sistem pengaman panel surya menggunakan alarm cerdas berbasis IoT?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem pengaman panel surya menggunakan alarm cerdas berbasis IoT.
2. Mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian serta analisis data sistem pengaman panel surya menggunakan alarm cerdas berbasis IoT.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan panel surya polycrystalline 50WP.
2. Menggunakan *dual axis tracker* dengan arah pergerakan dari timur ke barat dan dari Selatan ke utara.
3. Menggunakan sensor BH1750 sebagai pengukur besar iradiansi matahari.
4. Pengujian alat berdasarkan perbandingan antara daya keluaran panel surya tracking dan non tracking beserta pengujian keamanan pada panel surya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang lebih efisien dan adaptif melalui integrasi IoT.
2. Memberikan keamanan serta kenyamanan pada konsumen terhadap pendistribusian daya listrik panel surya yang berlangsung secara stabil dan berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Penelitian ini terdiri dari lima bab yang tersusun atas sistematika berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan dari penulisan skripsi yang terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai beberapa sumber topik penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan diteliti. Juga membahas teori dasar serta komponen - komponen yang digunakan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, bahan dan alat, metodologi penelitian, serta prosedur kerja.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan analisa sistem alat melalui pengujian serta pengukuran sistem yang telah dirancang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari seluruh pengujian yang telah dilakukan terhadap alat sistem pengaman pada panel surya, serta diberikan saran atas kekurangan pada penelitian ini baik dari perancangan alat maupun metode pengujian alat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Materi mengenai panel surya sudah banyak diangkat sebagai judul dalam penyelesaian Tugas Akhir. Skripsi ini disusun dengan menggunakan beberapa referensi dari Tugas Akhir serta jurnal yang sebelumnya telah ada. Ada empat referensi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

Referensi yang pertama dilakukan oleh Widjonarko, dkk (2024) dengan judul penelitiannya “Desain Dan Implementasi Sistem Tracking Dual Axis Panel Surya 50Wp Untuk Optimalisasi Daya” menyatakan bahwa energi matahari menjadi solusi dalam menghadapi keterbatasan bahan bakar fosil serta ramah lingkungan, melimpah, dan efisien. Dalam memanfaatkan energi surya dilakukan penelitian dengan melakukan desain dan implementasi sistem tracking dual axis pada panel surya 50 Wp. Dilakukan perbandingan daya serta efisiensi yang dihasilkan terhadap sistem non - tracking. Penelitian tersebut menghasilkan daya rata-rata 4,28 Watt pada panel dengan sistem tracking, sementara panel statis hanya 3,91 Watt. Efisiensi panel tracking rata-rata 17,19%, sementara efisiensi panel statis sebesar 14,27%. Disimpulkan bahwa penerapan sistem tracking dual axis lebih efektif dibandingkan sistem statis (Widjonarko et al., 2024).

Referensi kedua yang dilakukan oleh Setiana, dkk (2023) dengan judul “Rancang Bangun PLTS Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Menggunakan ESP32” berisi tentang efisiensi PLTS relatif rendah sekitar 15%. Guna meningkatkan efisiensi PLTS, diterapkan teknologi Solar Tracker Dual Axis agar permukaan panel surya mendapatkan irradiansi maksimal sepanjang hari serta

digunakan microcontroller ESP32 sebagai pengendali utama dan Light Dependent Resistor (LDR) sebagai tracking sensor. Pengujian solar tracker Dual Axis menghasilkan peningkatan efisiensi sekitar 32%. Dilakukan penambahan fitur *Internet of Things* (IoT) dalam memonitoring secara real time (Setiana et al., 2023).

Referensi ketiga yang dilakukan oleh Syamsudin, dkk (2023) dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemantau Pintu menggunakan sensor Magnetic Door Reed Switch Berbasis Kodular” berisi tentang keamanan pintu dengan pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang dipadukan dengan sensor magnetic door reed switch serta buzzer sebagai alarm notifikasi apabila terjadi pergerakan pada pintu. Hasil dari penelitian tersebut yakni pendeteksian sensor magnetic door reed switch dapat mendeteksi mulai rentang jarak 2 cm (Syamsudin et al., n.d.).

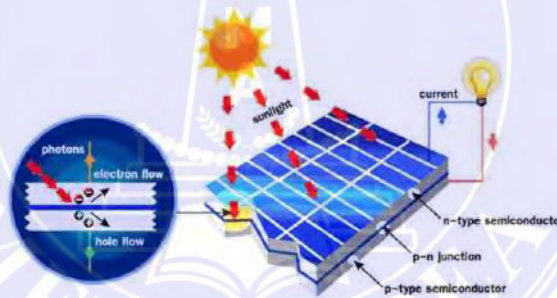
Referensi keempat yang dilakukan oleh Bahroni, dkk (2020) dengan judul “Monitoring Solar Cell Tracking System Jarak Jauh” berisi tentang pembuatan sistem monitoring panel surya mode tracking secara langsung dan real time terhadap parameter arus dan tegangan serta pengontrolan relay melalui aplikasi android MIT APP Inventor dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 (Bahroni et al., 2020).

Perbedaan Skripsi penulis terhadap peneliti terdahulu yaitu penulis menggunakan panel surya dengan mode tracking *dual axis* serta pemanfaatan sensor magnetic door reed switch sebagai alarm tindakan pencurian pada panel surya, juga menerapkan IoT dalam memonitoring beberapa parameter panel surya seperti data tegangan, arus dari panel surya serta data intensitas cahaya. Penulis menggunakan NODEMCU ESP8266 dan Arduino Uno sebagai mikrokontroler, serta aplikasi Blynk dalam melakukan monitoring.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu pembangkit listrik yang menerapkan panel surya (*photovoltaic*) sebagai pemanfaatan energi matahari dengan melibatkan proses mengubah (mengonversi) radiasi sinar foton dari matahari menjadi energi listrik. Sel surya (*photovoltaic*) dibuat dari bahan semikonduktor jenis silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya yang berbentuk suatu lapisan tipis. Adapun prinsip kerjanya yaitu saat sinar matahari mengenai sel surya, energi foton menyebabkan elektron dalam bahan semikonduktor terlepas dari ikatan atomnya, sehingga elektron bergerak bebas dan menghasilkan tegangan listrik arus searah (DC) (Gunoto & Sofyan, 2020).



Gambar 1. Prinsip Kerja Panel Surya
Sumber: <https://zeusbattery.id/cara-kerja-panel-surya/>

Adapun sistem PLTS diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, yaitu:

1. Sistem PLTS *Off-Grid* (Terpusat)

Sistem PLTS *Off-Grid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke pembangkit listrik lain, dengan hanya mengandalkan radiasi sinar matahari yang diubah menjadi energi listrik melalui panel surya. Jenis sistem ini umumnya digunakan di daerah-daerah

terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN (Gunoto & Sofyan, 2020).

2. Sistem PLTS *On-Grid* (Terinterkoneksi)

Sistem PLTS *On-Grid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung ke jaringan listrik PLN dan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya untuk memproduksi listrik secara maksimal. Sistem ini umumnya diterapkan di daerah perkotaan yang telah memiliki jaringan listrik PLN, dengan tujuan untuk menghemat konsumsi listrik PLN dan mengurangi biaya tagihan listrik (Gunoto & Sofyan, 2020).

3. Sistem PLTS *Hybrid* (Kombinasi)

Sistem PLTS *Hybrid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan mengombinasikan dua atau lebih jenis pembangkitan lain, seperti mikrohidro, energi angin, dan genset. PLTS *hybrid* ini biasanya menerapkan kombinasi seperti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Energi Angin, dan lain-lain. Pada sistem *hybrid* PLTS-Genset, genset yang digunakan biasanya berdiri sendiri dan tidak terhubung ke jaringan PLN (Gunoto & Sofyan, 2020).

2.2.2 Panel Surya (*Solar Panel*)

Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem PLTS yang memiliki fungsi mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik melalui prinsip efek *photovoltaic*, energi yang diproduksi dalam bentuk arus searah (DC) (Gunoto & Sofyan, 2020). Terdapat beberapa jenis panel surya dipasaran, yaitu:

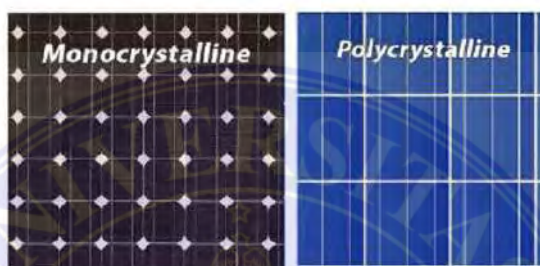
1. Panel Surya Mono-crystalline

Panel Surya Mono-crystalline merupakan jenis sel surya dimana bahannya bersumber dari silisium kristal tunggal dengan bentuk silinder yang ditarik dari

cairan silisium. Jenis Sel Surya ini memiliki efisiensi yang paling tinggi yang mencapai 16-25% (Gunoto & Sofyan, 2020).

2. Panel Surya Poly-crystalline

Panel Surya Poly-crystalline merupakan jenis sel surya dimana bahannya terdiri atas susunan kristal yang acak. Jenis Sel Surya ini memiliki efisiensi sebesar 14-16% (Gunoto & Sofyan, 2020).



Gambar 2. Panel Sel Surya
Sumber: (Gunoto & Sofyan, 2020)

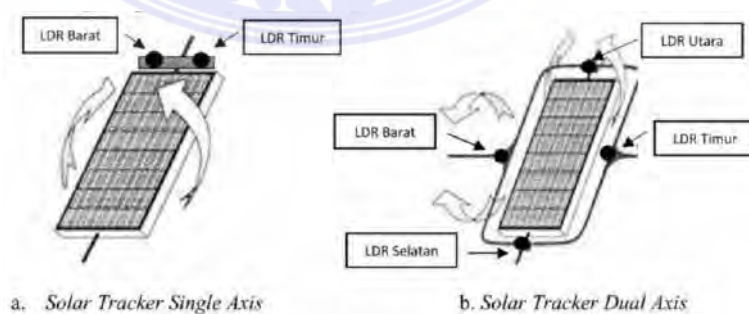
Jenis panel surya polycrystalline pada penelitian ini digunakan karena memiliki umur yang panjang, efisiensi yang baik, biaya instalasi yang lebih rendah, serta cocok digunakan saat cuaca tidak menentu (Rahmatullah, 2021). Adapun spesifikasi panel surya yang digunakan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Maximum Power (P_{max})	50W
Maximum Power Current (I_{mp})	2,78A
Maximum Power Voltage (V_{mp})	18,1V
Short Circuit Current (I_{sc})	3,01A
Opern Circuit Voltage (V_{oc})	22,1V

2.2.3 Solar Tracker

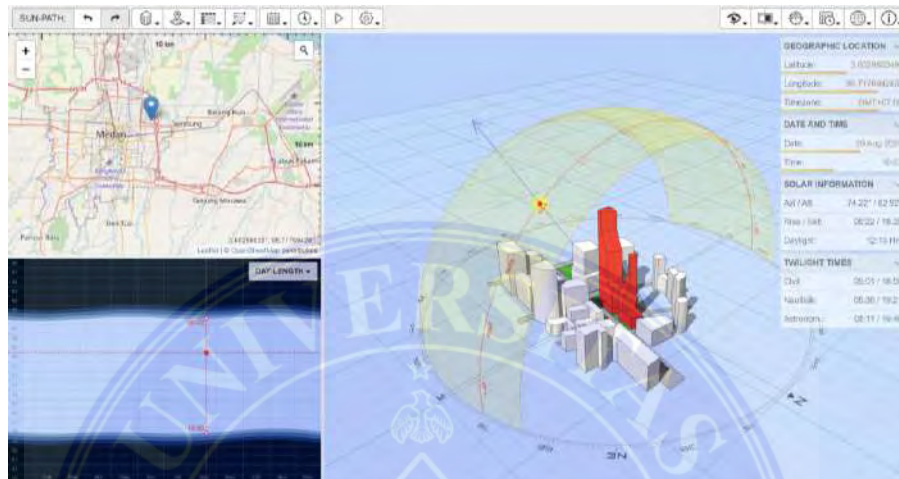
Solar tracker merupakan suatu perangkat yang menggerakkan panel surya secara otomatis dengan sudut 0° - 180° dan sebaliknya. Dimana motor bekerja untuk menggerakkan panel menghadap matahari serta sensor bekerja untuk melacak jejak matahari (Hasiri et al., 2021). Terdapat dua jenis solar tracker yakni *single-axis solar tracker* dan *dual-axis solar tracker*. *Single-Axis solar tracker* secara akurat mengikuti pergerakan arah datangnya matahari sehingga output PV dapat dimaksimalkan. Jenis *Single-Axis solar tracker* ini memiliki sumbu horizontal (utara-selatan dan sebaliknya) maupun vertikal (timur-barat dan sebaliknya). Jenis horizontal biasa diterapkan pada daerah-daerah tropis dimana matahari pada siang hari sangat tinggi namun dengan jangka waktu hari yang pendek. Tipe vertikal biasa diterapkan di lintang tinggi dimana matahari tidak terlalu tinggi namun dengan jangka waktu hari yang panjang. *Dual-Axis Solar Tracker* memaksimalkan keluaran PV dengan menggerakkan panel surya mengarah langsung menuju matahari melalui dua sumbu yakni horizontal dan vertikal dimana pelacakan pergerakan matahari secara nyata hampir dimana saja (Pulungan et al., 2021).



Gambar 3. Sistem Solar Tracker Single Axis dan Dual Axis
Sumber: (Pulungan et al., 2021)

2.2.4 Sun Path

Sun Path merupakan alat yang dapat menampilkan serta memodelkan pergerakan matahari, melalui pengamatan pada lokasi tertentu secara geografis dan direpresentasikan dalam dua atau tiga dimensi (Tawary, 2022).



Gambar 4. *Sun Path*

Sumber: <https://andrewmarsh.com/software/sunpath3d-web/>

Analemma posisi matahari selalu mengalami perubahan di tiap hari dan bulannya, Gambar 5 menggambarkan posisi matahari dalam garis Azimuth (garis sudut azimuth yaitu garis dari arah timur ke barat) serta garis ketinggian (garis tilt digambarkan dengan garis melingkar yang membentang dari tengah diagram) (Tawary, 2022).

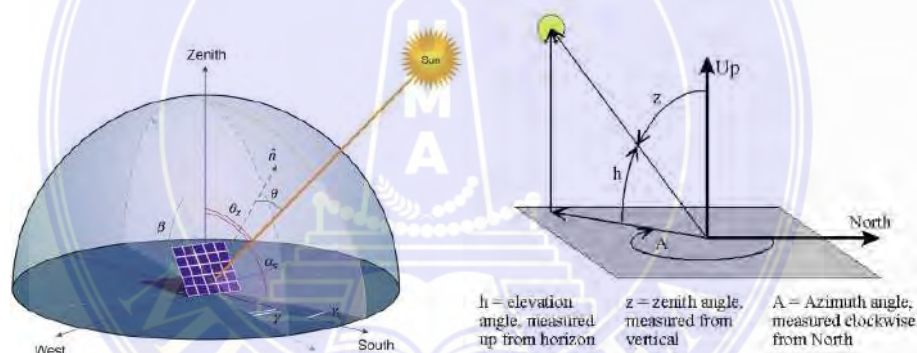


Gambar 5. Analemma
Sumber: (Tawary, 2022)

Singkatnya, analemma dan persamaan waktu merupakan hasil dari jumlah efek orbit elips bumi yang mengelilingi matahari serta kemiringan sumbu bumi dalam hal ini hubungannya dengan bidang orbitnya mengelilingi matahari (Tawary, 2022).

2.2.5 Posisi Matahari

posisi matahari direpresentasikan dalam bentuk Azimuth matahari serta sudut elevasi terhadap pengamat di lokasi geografis tertentu pada permukaan bumi. Gambar 6 menampilkan ilustrasi vektor matahari serta sudut matahari yang perlu dipertimbangkan saat panel surya melacak matahari menggunakan peralatan elektronik (Ramli, 2021).



Gambar 6. Posisi matahari terhadap pengamat menampilkan sudut azimuth serta sudut elevasi matahari
Sumber: (Tawary, 2022)

Berikut daftar parameter beserta istilah yang diterapkan dalam perhitungan posisi matahari.

1. Latitude (φ) : Sudut utara/selatan ekuator kolektor surya ($^{\circ}$).
2. Bujur (ζ) : Posisi timur-barat kolektor surya relatif terhadap Greenwich ($^{\circ}$).
3. Deklinasi (δ_s) : Posisi sudut matahari pada siang hari terhadap khatulistiwa ($^{\circ}$).

4. Azimuth permukaan (γ) : Penyimpangan kemiringan ke meridian lokal ($^{\circ}$).
5. Azimuth matahari (γ_s) : Sudut matahari ke meridian lokal atau azimuth permukaan, CW ($^{\circ}$).
6. Elevasi (α_s) : Elevasi vektor matahari dari pengamat ($^{\circ}$).
7. Zenith (θ_z) : Sudut datang pada permukaan horizontal, zenith vektor matahari ($90 - \alpha_s$).
8. Sudut datang dan pantul (θ) : Sudut antara radiasi matahari datang dan radiasi pantul dari permukaan.
9. Sudut jam (ω) : Konversi waktu matahari ke sudut dimana 24 jam sama dengan 360° .

Posisi matahari kemudian merepresentasikan sudut serta ketinggian matahari dari sudut pandangan pengamat yang berada di bumi, berdasarkan pada posisi bujur (ζ) serta garis lintang (ϕ) dari panel surya yang terpasang di bumi. Berikut merupakan persamaan perhitungan posisi matahari (Ramli, 2021).

$$\omega = ST + 4 \cdot (\zeta_{st} - \zeta_{loc}) + E \quad (2.1)$$

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cdot \cos \beta - 0.004089 \cdot \sin 2\beta) \quad (2.2)$$

$$B = \frac{360}{365} \cdot (n - 1) \quad (2.3)$$

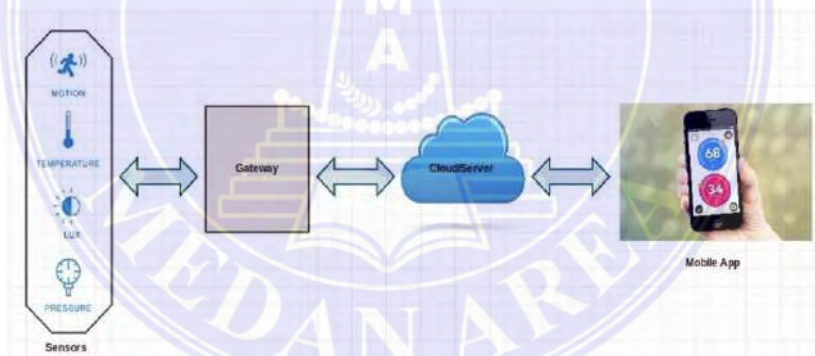
$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin \left(\frac{360}{365} \cdot (284 + n) \right) \quad (2.4)$$

$$\cos \theta_z = (\cos \phi \cdot \cos \delta_s \cdot \cos \omega) + (\sin \phi \cdot \sin \delta_s) \quad (2.5)$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \cdot \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_s \cdot \sin \phi - \sin \delta_s}{\sin \delta_z \cdot \cos \phi} \right) \right| \quad (2.6)$$

2.2.6 Internet of Things (IoT)

Internet of Things awalnya ditemukan pada tahun 1999. Kata “*Things*” pada *Internet of Things* merujuk ke berbagai komponen (device) yang ada dengan koneksi ke berbagai perangkat serta menghubungkannya melalui bantuan internet yang memiliki cakupan yang luas sehingga memudahkan masyarakat terhubung ke perangkat yang diinginkan. Prinsip kerja *Internet of Things* yaitu dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman dimana masing-masing perintah argumennya menghasilkan suatu interaksi antar sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia dalam jarak tidak terbatas. Digunakan internet sebagai penghubung kedua interaksi tersebut, sementara manusia hanya mengatur serta mengawasi kerja alat tersebut secara langsung (Kurniawansyah, 2023). konsep IoT secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsep Internet of Things

Sumber: (Kurniawansyah, 2023)

Gambar diatas menjelaskan terdapat 4 tahapan konsep IoT. Tahap pertama menjelaskan bahwa perangkat keras dapat mengenali dirinya serta mengindra lingkungannya, membaca lokasi, kondisi cuaca, gerakan mesin dan sebagainya. Perangkat yang digunakan pada lapisan ini adalah sensor, kontrol dan aktuator. Tahap kedua yaitu gateway merupakan jembatan yang menghubungkan jaringan internal sensor yang mengumpulkan data dengan jaringan luar internet melalui

berbagai media komunikasi tanpa kabel (nirkabel) seperti WiFi dan bluetooth. Tahap ketiga yaitu mentransmisikan data melalui gateway kemudian disimpan serta diolah di *cloud server* dengan menggunakan mesin analitik big data. Tahapan yang terakhir, data yang telah diolah kemudian diterapkan untuk melakukan hal-hal cerdas sesuai tujuan IoT salah satunya dengan menampilkan hasil pengukuran sensor pada smartphone (Kurniawansyah, 2023).

2.2.7 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328 dengan 14 pin digital I/O (dimana 6 pin dapat pakai untuk output PWM), 6 input analog, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, clock speed 16 MHz, dan tombol reset. Board ini menggunakan daya eksternal dengan adaptor AC-DC atau baterai atau dengan menghubungkan ke komputer dengan kabel USB (Rizky, 2020).



Gambar 8. Arduino Uno
Sumber: (Rizky, 2020)

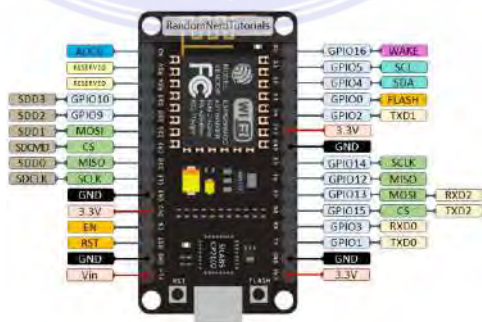
Tabel 2. Spesifikasi Arduino Uno

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATMega328P
Tegangan Operasi	5,5 V
Tegangan masukan (Rekomendasi)	6 – 20 V
Tegangan Masukan (Batasan)	2,75 – 5,5 V
Pin I/O Digital	14 (dengan 6 PWM output)

Pin Input Analog	6
Arus DC per Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 kB dimana 0,5 kB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Clock Speed	16 Hz

2.2.8 NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan papan Arduino untuk ESP8266 yang berarti platform *Internet of Things* yang bersifat *opensource*. Pemrograman ESP8266 memerlukan jalur komunikasi menggunakan kabel modul USB ke serial. Papan ESP8266 mempunyai banyak fitur mirip mikrokontroler, seperti koneksi ke WiFi dan chip komunikasi USB ke serial. Banyak programmer memilih NodeMCU ESP8266 karena kemudahannya untuk diprogram, mempunyai banyak pin I/O, serta mempunyai kemampuan untuk mengirim atau mengambil data yang terhubung ke WiFi melalui jaringan Internet (Abdulghani et al., 2024).



Gambar 9. NodeMCU ESP8266
Sumber: (Abdulghani et al., 2024)

Tabel 3. Spesifikasi NodeMCU ESP8266

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroller	Tensilica 32-bit RISC CPU Xtensa LX106
Tegangan Operasi	3,3V
Tegangan Masukan	7-12V
Pin I/O Digital	16
Pin Masukan Analog	1
UARTs	1
SPIs	1
I2Cs	1
Flash Memory	4 MB
SRAM	64 KB
Clock Speed	80 Hz

2.2.9 Motor Aktuator Linear

Motor aktuator linear merupakan suatu piranti mekanik yang mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier dimana motor bekerja dengan input tegangan atau arus listrik. Motor aktuator linear akan bergerak naik saat diberikan nilai duty cycle sebesar 255 yang menyebabkan panel surya terdorong menghadap matahari (Rahmatullah, 2021).



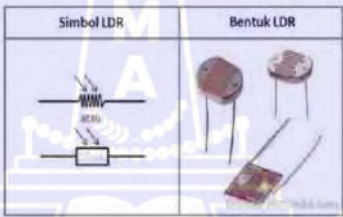
Gambar 10. Motor Aktuator Linear
Sumber: (Rahmatullah, 2021)

Tabel 4. Spesifikasi Motor Aktuator Linear

Spesifikasi	Keterangan
Input Voltage	12V (DC)
Maximum Stall Torque	1500N

2.2.10 Light Dependent Resistor (LDR)

Light Dependent Resistor (LDR) adalah suatu komponen resistor variabel yang nilai tahanannya bergantung pada intensitas cahaya. Apabila cahaya yang mengenai LDR semakin banyak (terang), maka nilai resistansinya semakin menurun. Sebaliknya apabila cahaya yang mengenai LDR semakin sedikit (gelap), maka nilai resistansinya semakin besar sehingga menghambat aliran arus listrik (Rizky, 2020).



Gambar 11. LDR
Sumber:(Rizky, 2020)

2.2.11 INA219

INA219 merupakan modul sensor yang digunakan dalam pengukuran arus dan tegangan listrik pada suatu rangkaian. INA219 dibekali dengan interface I2C dimana peralatan ini mampu menghitung besaran tegangan bus dan tegangan shunt. INA219 mampu mengukur arus hingga $\pm 3,2$ A dan serta mampu menghitung tegangan shunt pada bus dengan kisaran 0 – 26 V dengan memerlukan sumber tegangan sebesar 3 Volt DC (Kurniawan et al., 2023).



Gambar 12. Sensor INA219
Sumber: (Basit et al., 2024)

2.2.12 Driver L298N

Modul driver motor L298N merupakan driver motor DC yang paling banyak digunakan atau dipakai dalam dunia elektronika. Driver memiliki fungsi dalam mengendalikan kecepatan serta arah perputaran motor Dc. IC L298 merupakan IC jenis jembatan-H yang memiliki fungsi dalam pengendalian beban-beban induktif berbasis kumparan seperti motor DC, relay, motor stepper, serta solenoid. IC L298 terdiri atas transistor-transistor logika (TTL) dengan gerbang nand serta transistor daya yang berfungsi memudahkan penentuan arah putaran suatu motor dc maupun motor stepper. Kelebihan dari modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal ketepatan untuk menjalankan motor sehingga motor lebih mudah dikendalikan (Suprayitno et al., 2020).



Gambar 13. Modul Driver Motor L298N
Sumber: (Suprayitno et al., 2020)

2.2.13 Step down LM2596

Modul DC-DC step down LM2596 merupakan suatu modul dengan IC LM2596 sebagai komponen utamanya. Modul DC-DC step down LM2596 bekerja menurunkan tegangan masukan DC yang awalnya tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah (Abadi et al., 2021).



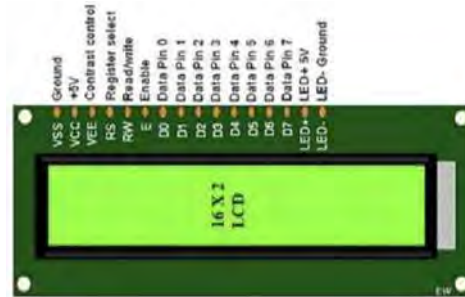
Gambar 14. Modul DC-DC Step Down LM2596
Sumber: (Abadi et al., 2021)

Tabel 5. Spesifikasi LM2596

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan input	DC 3 - 35V
Tegangan Output	Adjustable 1,5 - 35V DC (Input harus 1,5V lebih besar dari output)
Output Saat Ini	Dinilai 2A, maks 3A (Diperlukan Heat Sink tambahan)

2.2.14 Liquid Crystal Display (LCD)

LCD merupakan suatu piranti elektronika yang digunakan sebagai display dengan memanfaatkan kristal cair sebagai objek penampil utama. LCD juga sudah sangat banyak diterapkan di media elektronik televisi, kalkulator, atau layar komputer sekalipun (Nirwan & MS, 2020).



Gambar 15. LCD
Sumber: (Rizky, 2020)

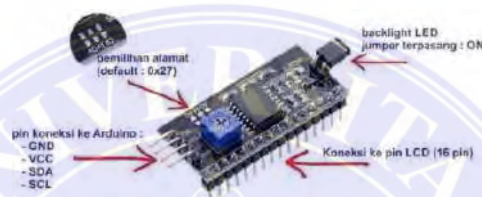
Pada LCD terdiri dari pin- pin sebagai berikut:

1. D0 – D7 merupakan jalur data (*data bus*) yang menjadi jalur komunikasi untuk mengirim dan menerima data atau instruksi dari mikrokontroler ke modul LCD.
2. *Register Select* (RS) memberikan logika low (0) sebagai register perintah dan logika high (1) sebagai register data.
3. R/W berfungsi untuk menentukan mode baca atau tulis dari data yang terdapat pada D0 – D7 dengan memberi logika low (0) untuk fungsi read dan logika high (1) untuk mode write.
4. *Enable* (E) berfungsi sebagai *Enable Clock* LCD, logika 1 setiap kali pengiriman atau pembacaan data.

2.2.15 Inter Integrated Circuit (I2C)

Inter Integrated Circuit (I2C) merupakan standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus dalam pengiriman maupun penerimaan data. Sistem I2C terdiri atas saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Komponen yang terhubung dengan sistem I2C Bus dapat dioperasikan sebagai Master dan Slave (Ibrahim & Yulianti, 2022).

Master merupakan komponen yang mentransfer data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal Start, membentuk sinyal Stop untuk mengakhiri transfer data, serta membangkitkan sinyal clock. Slave merupakan komponen yang dialamati master (Ibrahim & Yulianti, 2022). Modul I2C digunakan untuk mempermudah programmer dalam mengakses suatu LCD sebab akan mengurangi jumlah penggunaan pin arduino dimana pin yang akan digunakan hanya sebanyak 4 pin, yaitu pin SCL, pin SDA, pin VCC dan pin GND (Nirwan & MS, 2020).



Gambar 16. Modul I2C
Sumber: (Ibrahim & Yulianti, 2022)

2.2.16 Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller (SCC) merupakan suatu komponen yang mengatur aliran energi listrik dari panel surya menuju ke baterai maupun dari baterai ke beban sehingga dapat memproteksi baterai dan peralatan lainnya terhadap kerusakan. SCC juga mengantisipasi over charging dan kelebihan voltase dari panel surya yang dapat mengurangi umur baterai (Syahwil & Kadir, 2021).

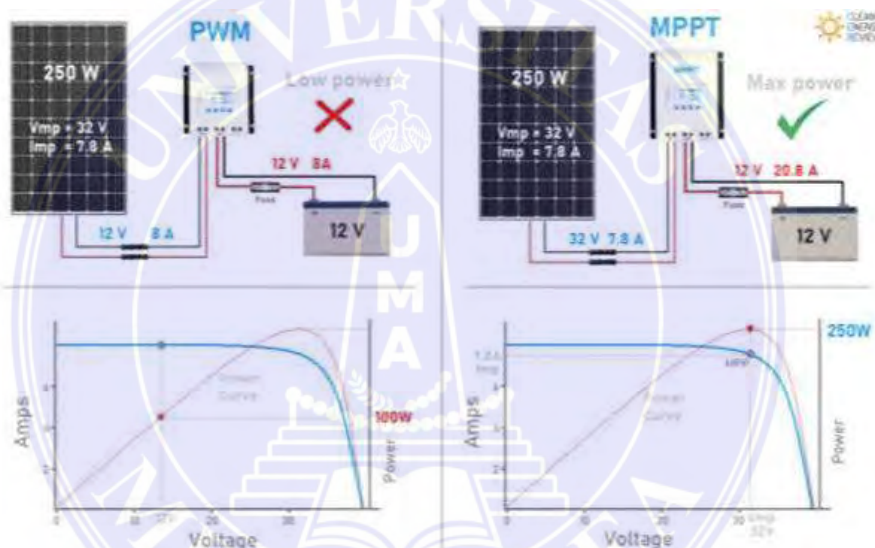
Terdapat dua jenis SCC berdasarkan teknologi yang digunakan, yaitu:

1. *Pulse Wide Modulation* (PWM)

PWM menggunakan lebar pulsa listrik dari ON dan OFF, sehingga menciptakan seakan-akan sine wave electrical form. Solar charge controller jenis ini harganya lebih murah tetapi efisiensi konversinya lebih rendah (Wahidin et al., 2022).

2. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

MPPT merupakan algoritma yang tergolong kedalam pengontrol daya yang diterapkan dalam pengekstraksian daya maksimum yang tersedia dari modul PV dalam kondisi tertentu. MPPT merupakan konverter DC ke DC yang beroperasi dengan mengambil maximum daya dari PV. MPPT dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak dipakai oleh beban ke dalam baterai, dan daya dapat diambil dari baterai apabila daya yang dibutuhkan oleh beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV (Wahidin et al., 2022).



Gambar 17. Perbandingan SCC jenis PWM dan MPPT
Sumber: (Wahidin et al., 2022)

2.2.17 *Magnetic Door Reed Switch*

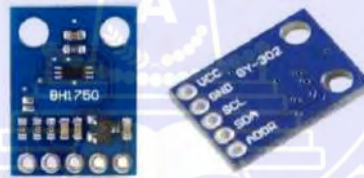
Reed switch merupakan suatu jenis sensor yang sangat sederhana dimana hanya terdiri atas dua buah plat yang saling berdekatan. Reed Switch berfungsi sebagai saklar yang aktif atau terhubung jika di area jangkauannya terdapat medan magnet (Syamsudin et al., n.d.).



Gambar 18. Magnetic Door Reed Switch
Sumber: (Syamsudin et al., n.d.)

2.2.18 BH1750

BH1750 merupakan suatu modul sensor yang digunakan dalam pengukuran intensitas cahaya sekitar dengan satuan lux. BH1750 menerapkan protokol I2C untuk komunikasi dengan mikrokontroler atau minimum sistem. BH1750 mendeteksi dengan jangkauan yang cukup lebar antara 1 – 65535 lux (Kurniawan et al., 2023).



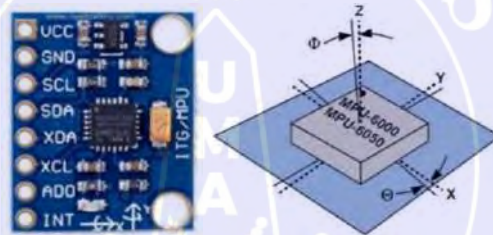
Gambar 19. Sensor BH1750
Sumber: <https://images.app.goo.gl/BwgEcM1iWBmMZtEM8>

2.2.19 MPU6050

Sensor MPU6050 merupakan sensor dengan 3 axis *accelerometer* (sensor percepatan) dan 3 axis *gyroscope* (sensor kecepatan putaran) atau istilahnya 6 *degrees of freedom* (DOF) IMU. *Inverial Measurement Unit* (IMU) merupakan alat dengan pemanfaatan sistem pengukuran seperti gyroscope dan accelerometer guna memperkirakan posisi relatif, kecepatan, dan akselerasi dari gerakan motor. IMU memperkirakan orientasi sudut dengan sumbu X, Y, Z dengan mempertahankan 6

DOF. Selain itu, MPU6050 dibekali dengan Digital Motion Processors (DMP), yang akan mengolah data mentah di tiap sensor. Selain itu, DMP juga berfungsi meminimalisir error yang dihasilkan (Kurniawansyah, 2023).

MPU6050 adalah chip IC inverse dengan sensor accelerometer dan gyroscope didalamnya dan sudah terintegrasi. Accelerometer sering diterapkan dalam perhitungan sudut kemiringan, dan hanya dapat melakukan dengan nyata saat statis dan tidak bergerak. Pengkombinasian dengan satu atau lebih gyro dan kombinasi data sering digunakan dalam mempertahankan sudut akurat kemiringan. Gyroscope merupakan alat pengukuran dan mempertahankan orientasi, yang didasari prinsip-prinsip momentum sudut (Sammang et al., 2022).



Gambar 20. Sensor MPU6050
Sumber: (Sammang et al., 2022)

2.2.20 Real Time Clock (RTC)

Real Time Clock (RTC) merupakan suatu modul elektronik sebagai pengingat waktu dan tanggal dengan menggunakan baterai sebagai sumber daya agar modul tetap berjalan. Modul ini memperbarui waktu dan tanggal secara berkala. Terdapat 6 pin di RTC DS3231, dua diantaranya dapat digunakan maupun tidak digunakan untuk digunakan, sehingga hanya 4 pin saja sebagai pin utama (Reprendim S, 2023).



Gambar 21. Modul RTC DS3231
Sumber: <https://components101.com/modules/>

2.2.21 Miniature Circuit Breaker (MCB)

MCB merupakan alat sistem proteksi listrik untuk melindungi instalasi listrik terhadap gangguan seperti beban lebih (*overload*) serta hubungan arus pendek (*short circuit*) dengan memutuskan aliran listrik secara otomatis (Suranto, 2022).



Gambar 22. MCB AC dan DC
Sumber: <https://www.wosomelec.com/blog/>

Dalam menentukan penggunaan MCB dapat menerapkan rumus berikut:

$$I = \frac{VA}{V} \quad (2.7)$$

Keterangan:

VA = Daya Semu (volt-ampere)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

2.2.22 Baterai/Aki

Baterai/Aki merupakan suatu alat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai pada sistem PLTS dipakai untuk menyimpan energi listrik arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya pada saat siang hari, lalu energi listrik dari baterai digunakan untuk beban listrik pada saat malam hari atau saat cuaca berawan. Ada banyak teknologi baterai yang dapat digunakan untuk sistem PLTS seperti *lead-acid*, *lithium ion*, *Zinc air*, *Nickel cadmium* dan jenis lainnya. Jenis baterai *lead-acid* paling banyak dipakai dalam sistem PLTS sebab tahan dalam waktu pemakaian yg lama, lebih aman, mudah digunakan serta biaya yang relatif rendah per siklusnya. Baterai dalam penggunaan PLTS lazim dikenal dan menggunakan *deep cycle lead acid*, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan secara berkelanjutan dengan maksimal mencapai kapasitas nominal (Gunoto & Sofyan, 2020).



Gambar 23. Baterai/Aki
Sumber: (Rahmatullah, 2021)

Tabel 6. Spesifikasi Baterai/Aki

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan	12V (DC)
Kapasitas Baterai	5Ah

2.2.23 Kabel

Kabel berfungsi sebagai penyalur energi listrik dari suatu terminal menuju terminal lainnya. Kabel dapat terdiri dari satu atau lebih kawat terisolasi agar arus listrik yang melewati kawat disekat. Kabel juga memiliki pelindung guna melindungi isolasi. Terdapat dua jenis kabel sesuai kegunaannya yaitu kabel penyaluran tenaga listrik dan kabel untuk penyaluran sinyal listrik. Kabel penyaluran tenaga listrik diterapkan dalam sistem tenaga listrik, sementara kabel penyaluran sinyal listrik diterapkan dalam sistem telekomunikasi (telepon, radio, dan lain-lain) (Nariyana, 2023). Untuk menentukan kabel yang dibutuhkan dapat digunakan rumus pada persamaan 2.8 serta mengacu pada PUIL.

$$KHA = I_n \times 125\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

KHA = Kuat Hantaran Arus (ampere)

I_n = Arus nominal (ampere)

Tabel 7.3-1 KHA terus menerus yang diperbolehkan dan proteksi untuk kabel instalasi berinti tunggal berisolasi PVC pada suhu keliling 30 °C dan suhu penghantar maksimum 70 °C

Jenis Penghantar	Luas penampang nominal mm ²	KHA terus menerus		KHA pengenal gawai proteksi	
		Pemasangan dalam pipa sesuai 7.13	Pemasangan di udara sesuai 7.12.1	Pemasangan dalam pipa	Pemasangan di udara
	mm ²	A	A	A	A
	2	3	4	5	6
	0,5 0,75	2,5 7	— 15	2 4	— 10
	1	11	19	5	10
	1,5	15	24	10	20
	2,5	20	32	16	25
NYFA					
NYFAF	4	25	42	20	35
NYFAZ	6	33	54	25	40
NYFAD	10	45	73	35	63
NYA					
NYAF	15	61	98	50	80
NYFAw	25	83	129	63	100
NYFAFw	35	103	158	80	125
NYFADw					
NYFAZw	50	132	198	100	160
NYFADw dan NYL	70	165	245	125	200
	95	197	292	160	250
	120	235	344	200	315
	150	—	391	—	315
	185	—	448	—	400
	240	—	528	—	400
	300	—	608	—	500
	400	—	726	—	630
	500	—	830	—	630

CATATAN ^(a) Untuk satu atau lebih kabel tunggal tanpa selubung
^(b) Untuk kabel tunggal dengan jarak sekurang-kurangnya sama dengan diameternya

Gambar 24. KHA Kabel
Sumber: (PUIL2000)

2.2.24 DHT11

Sensor DHT11 merupakan modul sensor yang mendeteksi suhu dan kelembapan. Sinyal analog pada DHT11 dikonversi menggunakan persamaan pada pemrograman mikrokontroler sehingga nilai suhu serta kelembapan dapat diketahui. Nilai kelembapan pada sensor DHT11 merupakan kelembapan relatif (Kurniawan et al., 2023).



Gambar 25. Sensor DHT11

Sumber: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/>

2.2.25 Buzzer

Buzzer Merupakan jenis perangkat transduser yang menghasilkan suara dalam bentuk gelombang bunyi. Prinsip kerjanya yaitu saat rangkaian buzzer dialiri arus listrik, maka terjadi pergerakan mekanis terhadap buzzer. Sehingga menimbulkan perubahan energi dari energi listrik menjadi energi suara yang dapat didengar oleh manusia. Umumnya jenis buzzer yang beredar di pasaran adalah buzzer piezoelectric yang bekerja pada tegangan 3 sampai 12 VDC (Syamsudin et al., n.d.).



Gambar 26. Buzzer

Sumber: (Syamsudin et al., n.d.)

2.2.26 Software IDE Arduino

Software IDE Arduino merupakan pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source* dengan bahasa pemrograman C++ yang sederhana. *Software* IDE Arduino dilengkapi dengan *library* C/C++ untuk membantu mengoperasikan input/output jauh lebih mudah dipahami. Hanya perlu mendefenisikan dua fungsi dalam pembuatan program agar dapat berjalan saat dieksekusi di papan Arduino.

Adapun fungsi tersebut yaitu:

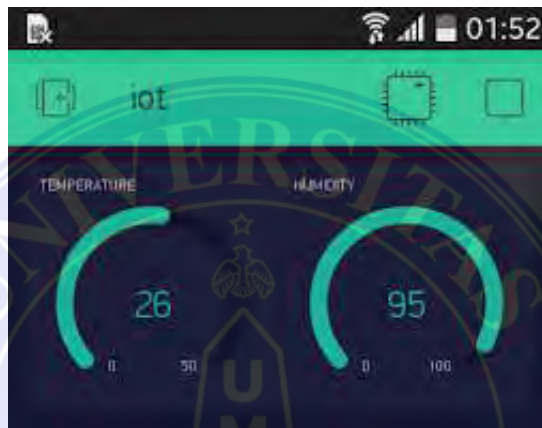
1. Setup (), fungsi hanya berjalan sekali diawal program yang dapat menginisialisasi masukan dan keluaran papan mikrokontroler Arduino
2. Loop (), fungsi ini bekerja secara berulang hingga papan mikrokontroler Arduino dinonaktifkan.



Gambar 27. IDE Arduino Versi 1.8.19
Sumber: Penulis

2.2.27 Blynk

Blynk adalah suatu aplikasi yang dirancang untuk mengendalikan perangkat hardware, menampilkan data sensor, menyimpan data, visualisasi, dan lain lain berbasis *Internet of Things* (IoT). Ada 3 komponen utama pada aplikasi Blynk, yaitu Aplikasi (App), Server, dan Libraries. Blynk server berguna untuk menangani semua koneksi antara smartphone dan hardware (Abdulghani et al., 2024).



Gambar 28. Blynk
Sumber: <https://blog.indobot.co.id>

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian mengenai Energi Baru Terbarukan dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT” dilakukan di CV. ANGKASA MOBIE TECH yang berlokasi di Jalan Sultan Serdang Dusun II, Sena, Batang Kuis, Deli Serdang, Sumatera Utara. Adapun waktu penelitian dilakukan sebagai berikut.

Tabel 7. Waktu kegiatan penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Bulan											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
1.	Pembuatan Proposal												
2.	Studi Literatur												
3.	Persiapan Alat dan Bahan												
4.	Seminar Proposal												
5.	Pengujian dan Pengumpulan Data												
6.	Analisa Data												
7.	Seminar Hasil												
8.	Sidang Skripsi												

3.2 Alat dan Bahan

Pembuatan Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT memerlukan beberapa komponen-komponen dan peralatan-peralatan berupa:

3.1.1 Alat

Terdapat beberapa alat yang akan digunakan dalam pembuatan Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT seperti yang ditunjukkan dalam tabel 8 berikut.

Tabel 8. Alat yang digunakan

No.	Alat	Jumlah
1.	Solder	1 pcs
3.	Obeng	1 pcs
4.	Solder	1 pcs
5.	Tang Potong	1 pcs
6.	Penggaris	1 pcs
7.	Multimeter	2 pcs
8.	Smartphone	1 pcs

3.1.2 Bahan

Adapun bahan-bahan yang penulis gunakan dalam membuat Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT dibagi menjadi dua, yaitu bahan perangkat keras (hardware) dan bahan perangkat lunak (software).

1. Bahan Perangkat Keras (*Hardware*)

Tabel 9. Bahan Perangkat Keras

No.	Bahan	Jumlah
1.	Panel Surya Polycrystalline 50 Wp	1 pcs
2.	Arduino Uno	1 pcs
3.	ESP8266	1 pcs
4.	BH1750	1 pcs
5.	Buzzer	1 pcs

6.	DHT11	1 pcs
7.	INA219	1 pcs
8.	L298N	1 pcs
9.	LCD 20x04	1 pcs
10.	LDR	4 pcs
11.	LM2596	1 pcs
12.	MPU6050	1 pcs
13.	Reed Switch	1 pcs
14.	Resistor 50W	4 pcs
15.	RTC DS3231	1 pcs
16.	Aktuator Linear	2 pcs
17.	MCB DC C3	1 pcs
18.	MCB DC C6	1 pcs
19.	SCC 12V/10A	1 pcs
20.	Baterai 12V/5Ah	1 pcs
21.	Box Panel Listrik 30x20x12 cm	1 pcs
22.	Box X6	1 pcs
23.	Box X3	1 pcs
24.	PCB bolong 9x15 cm	1 pcs
25.	PCB bolong 5x7 cm	1 pcs
26.	Terminal Block 12 Pole	2 pcs
27.	Spiral Wrapping Band Cable	Secukupnya
28.	Kabel NYAF 0,75mm ²	Secukupnya
29.	Kabel Awg 24	Secukupnya

2. Bahan Perangkat Lunak (*Software*)

Tabel 10. Bahan Perangkat Lunak

No.	Bahan	Keterangan
-----	-------	------------

1.	Paint	Paint sebagai pengolah gambar atau desain grafis, termasuk membuat gambar baru, mengedit, serta mewarnai gambar.
2.	AUTOCAD 2024	AUTOCAD sebagai desain 3D pemodelan sistem yang memudahkan visualisasi ide.
3.	IDE Arduino 1.8.19	IDE Arduino sebagai perangkat dalam membuat kode program dengan mengcompilanya menjadi kode biner yang siap di-upload ke Arduino uno dan ESP8266 sebagai kendali utama.

3.3 Metodologi Penelitian

Penulis mengumpulkan data melalui berbagai sumber yang ada. Adapun pelaksanaan pengumpulan data ini dilakukan dengan metode:

3.3.1 Studi Literatur

Studi pustaka ini dilakukan guna meningkatkan pengetahuan penulis sekaligus untuk referensi dalam literatur maupun teori-teori bersumberkan buku, jurnal serta situs web mengenai Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT.

3.3.2 Studi Pengujian dan Analisa

Penulis melakukan pengujian terhadap perancangan sistem melalui pengujian perangkat keras (*Hardware*) serta perangkat lunak (*Software*). Dalam pengujian perangkat keras, penulis memeriksa seluruh komponen guna menghindari kerusakan pada sistem. Pada pengujian perangkat lunak, penulis melakukan simulasi sistem terlebih dahulu agar penulis dapat menentukan spesifikasi

komponen yang sesuai digunakan. Dilakukan analisa pada sistem guna memperoleh parameter - parameter tertentu yang akan dijadikan sebagai kesimpulan.

3.3.3 Studi Dokumentasi

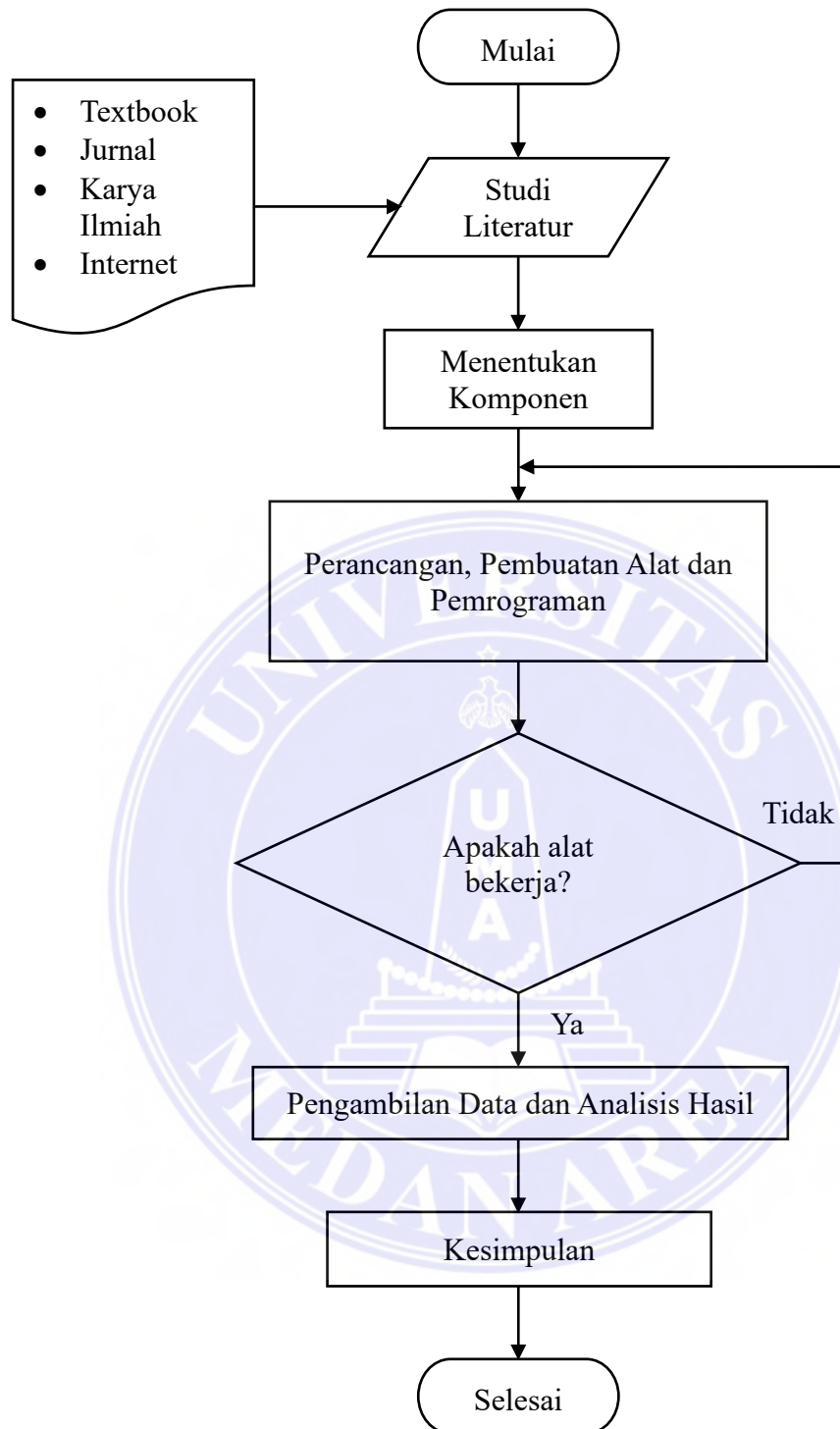
Dalam metode ini, dilakukan pengumpulan, perekaman, serta penguraian data melalui berbagai jenis laporan atau catatan terkait Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT.

3.4 Prosedur Kerja

Pada tahap ini penulis menjabarkan langkah-langkah pembuatan rancang bangun yang dilaksanakan untuk membuat Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT. Berikut langkah-langkah yang penulis lakukan diantaranya yakni:

3.4.1 Perancangan Penulisan Skripsi

Perancangan penulisan skripsi ini diilustrasikan menjadi diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 29. Penulis memulai dengan mencari referensi melalui literatur yang bersumber dari textbook, jurnal, karya tulis ilmiah, dan internet yang berhubungan dengan judul Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT untuk menambah pengetahuan penulis. Kemudian penulis mengumpulkan alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan rancang bangun. Setelah semua alat dan bahan tersedia, penulis melakukan penginstalasian tiap-tiap komponen rancang bangun, penulis kemudian lanjut membuat program sistem pengaman panel surya menggunakan alarm cerdas berbasis IoT.



Gambar 29. Diagram Alir Penelitian Skripsi

Dilakukan uji coba terhadap alat dengan mengambil beberapa parameter seperti tegangan, arus, dan lain-lain. Jika pengujian pada alat tidak berfungsi sesuai dengan sistem yang telah ditentukan, maka dilakukan perulangan terhadap

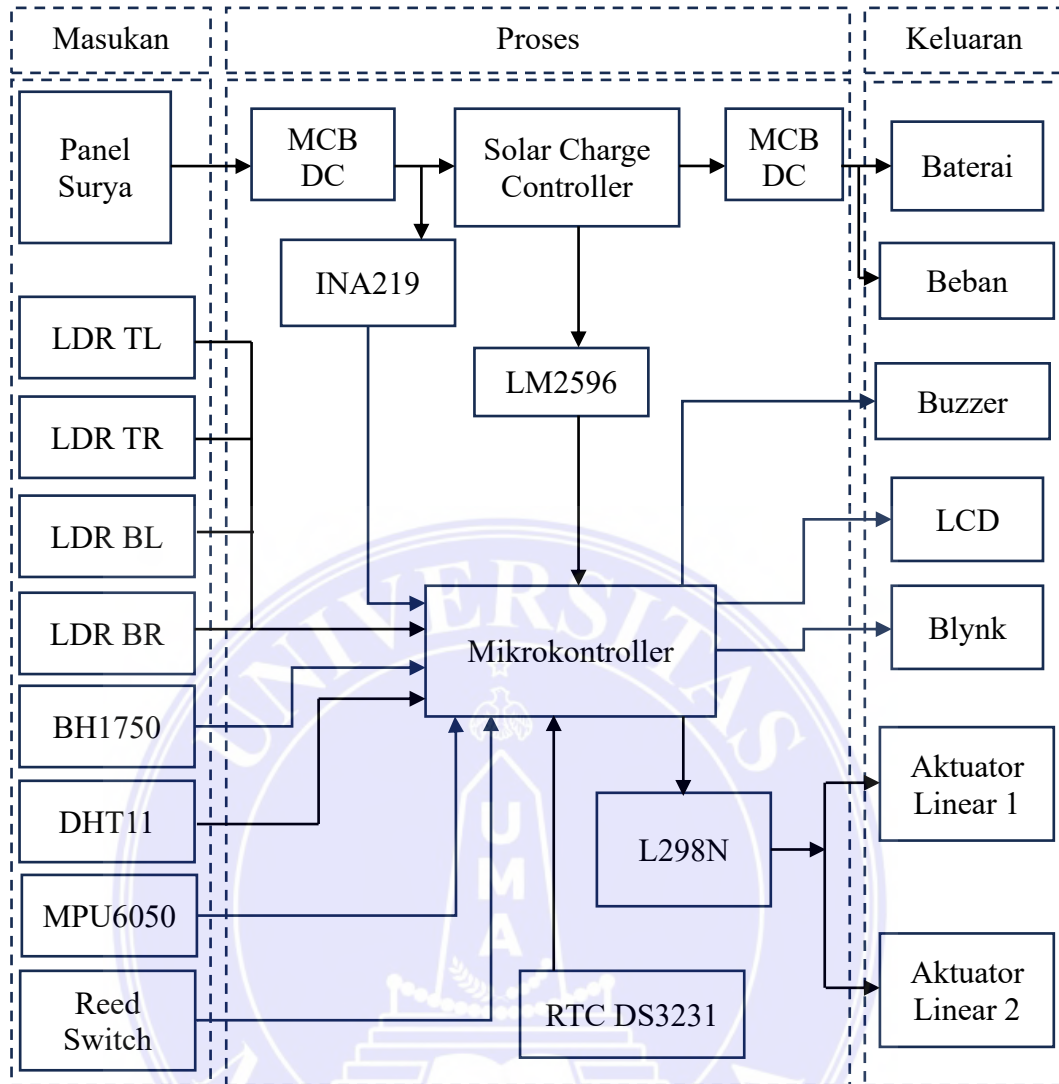
perancangan alat untuk melihat kekurangan fisik pada rancang bangun kemudian memeriksa kembali kode program. Apabila pengujian pada alat telah berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengambilan data hasil uji coba. Setelah itu diambil kesimpulan terhadap rancang bangun hingga selesai.

3.4.2 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok sistem rancang bangun ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu masukan, proses dan keluaran. Bagian dari masukan terdiri dari panel surya yang digunakan dalam penyerapan energi matahari untuk menghasilkan daya listrik serta sensor-sensor berupa LDR, BH1750, DHT11, MPU6050, dan Reed Switch digunakan dalam pengumpulan data lingkungan seperti pelacakan intensitas cahaya, suhu, sudut kemiringan panel surya, serta keadaan posisi panel surya.

Kemudian dilakukan proses terhadap data masukan yang telah diperoleh. Mikrokontroler mengolah, menganalisis, serta mengambil keputusan berdasarkan diagram alir sistem. SCC mengatur daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk memproses pengisian daya baterai, mencegah overcharge dan overdischarge, serta melindungi baterai terhadap kerusakan.

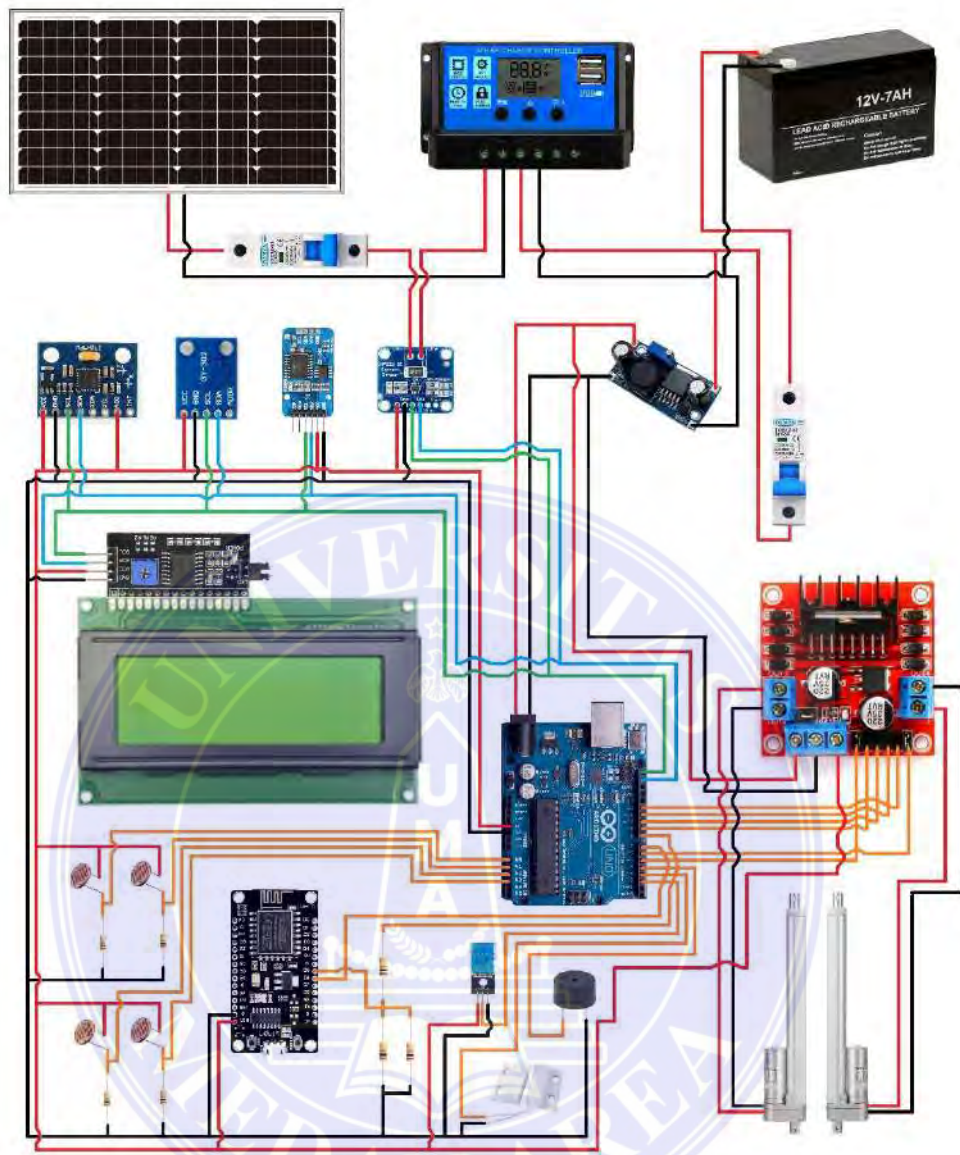
Keluaran yang diperoleh dari bagian proses tersebut berupa pembacaan nilai tegangan dan arus listrik yang diproduksi panel surya, pembacaan waktu dari RTC DS3231 serta pembacaan data suhu dan irradiansi ditampilkan di LCD dan pembacaan data lain juga akan di tampilkan di Blynk. Masukan dari sensor LDR serta proses waktu dari RTC membuat mikrokontroler mengendalikan kedua motor linear aktuator.



Gambar 30. Diagram Block Sistem Panel Surya Dual Axis Tracker

3.4.3 Perancangan Rangkaian Skematik Alat

Proses ini merupakan tahap penginstalasian rangkaian sistem kontrol yang divisualisasikan melalui *software* Paint. Terdapat beberapa pin arduino uno dan ESP8266 yang digunakan pada perangkaian skematik alat. Pin A0 hingga A3 arduino dihubungkan dengan keempat sensor LDR. Ada pun komunikasi serial antara arduino uno dan ESP8266 saling dihubungkan, dimana pada arduino uno terdapat pin D7 sebagai RX dan D8 sebagai RX yang masing-masing terhubung dengan pin D6 sebagai TX dan D5 sebagai RX pada ESP8266.



Gambar 31. Rangkaian Skematik Alat

Adapun resistor sebagai pembagi tegangan digunakan agar tegangan yang diterima oleh pin RX ESP8266 sebesar 3,3V. Pin D2, D3, dan D4 arduino masing-masing terhubung dengan DHT11, sensor *magnetic door reed switch* dan buzzer. Pin D5 dan D6 arduino masing terhubung dengan ENA dan ENB pada driver motor L298N. Pin D9 hingga D12 masing-masing terhubung dengan IN1, IN2, IN3, dan

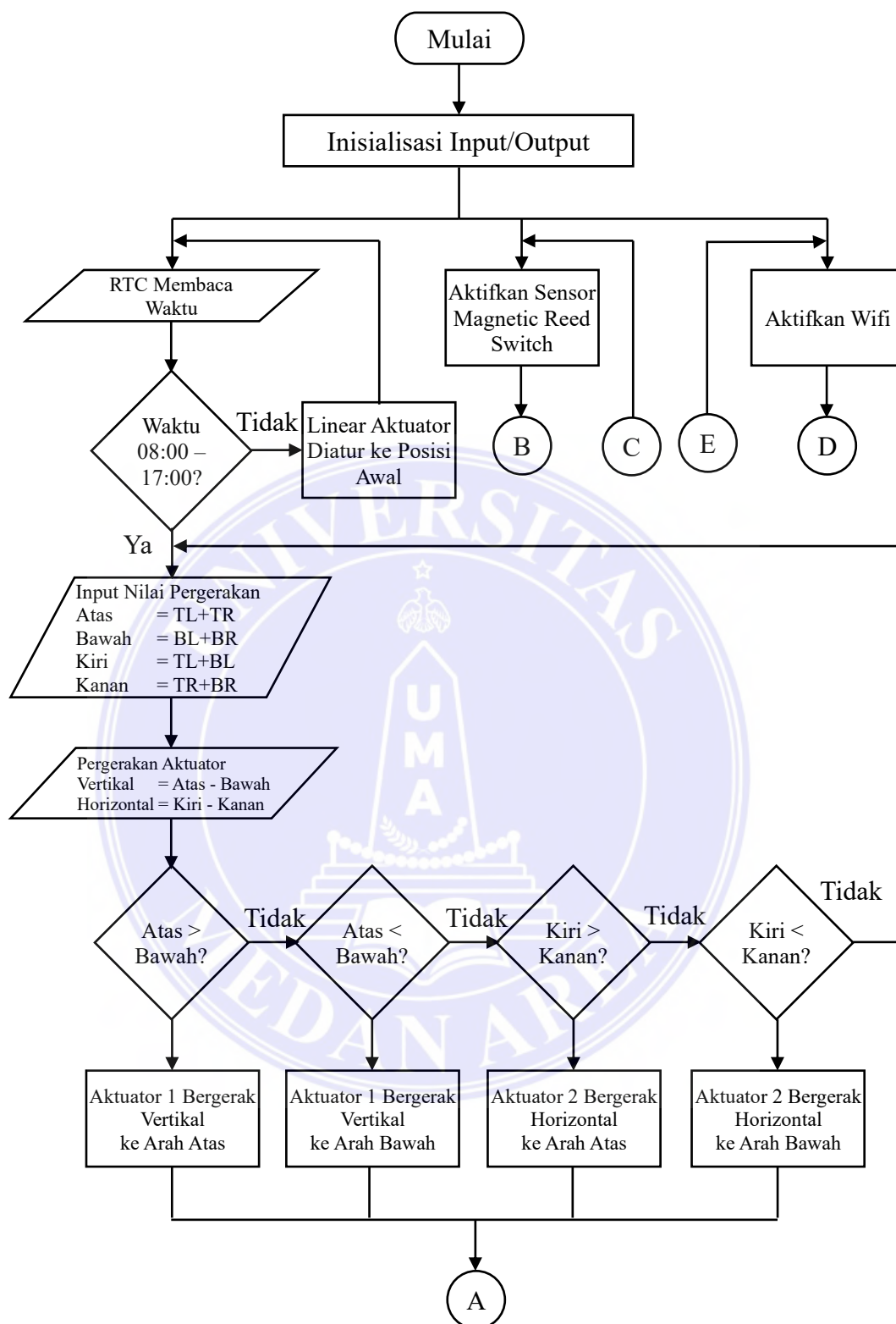
IN 4 pada driver motor L298N. Pin SDA dan SCL arduino dihubungkan dengan sensor INA219, BH1750, MPU6050, RTC DS3231, dan LCD.

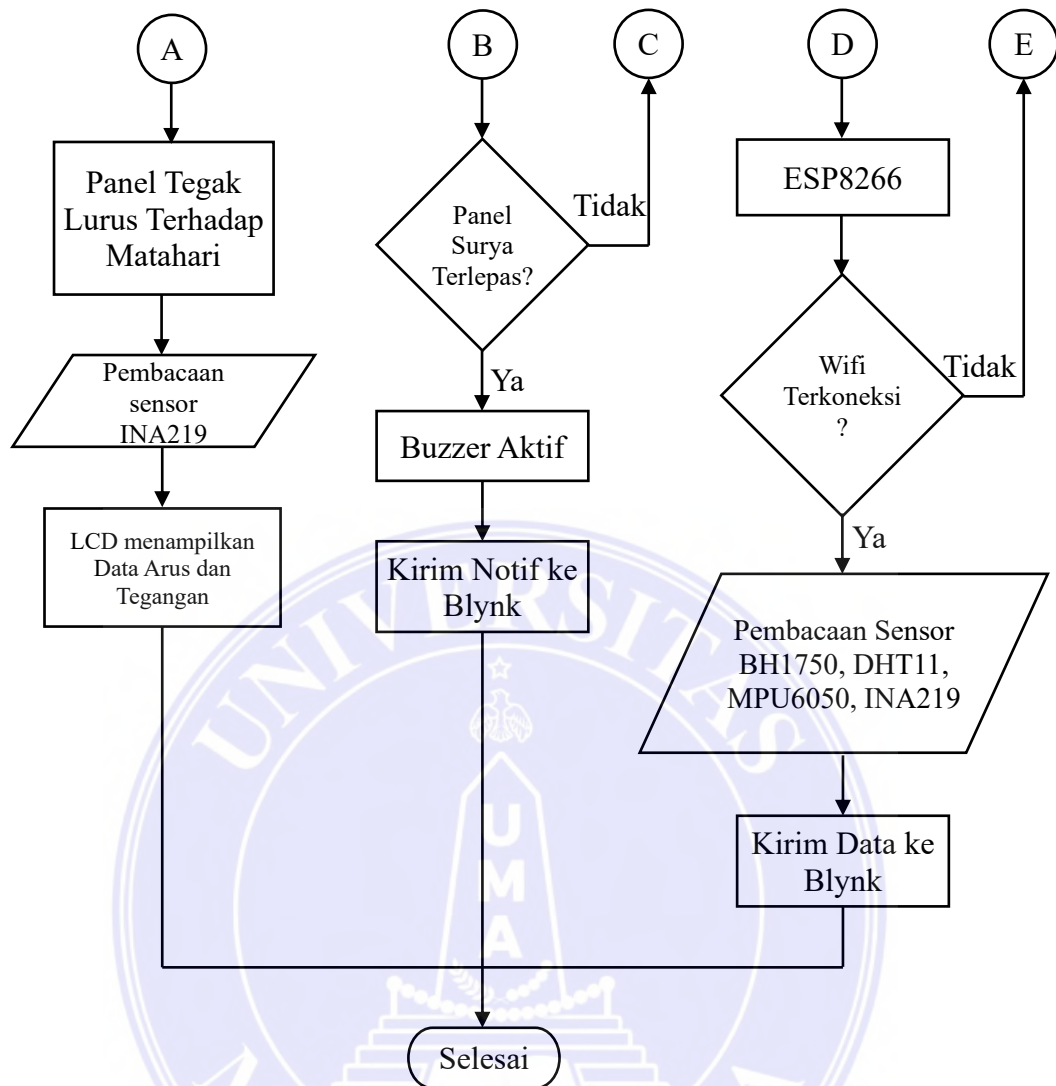
3.4.4 Perancangan Diagram Alir Sistem

Perancangan Diagram alir sistem rancang bangun dapat dilihat pada gambar 32. Penulis memulai insialisasi dengan memperkenalkan input dan output pada setiap komponen perangkat keras (hardware) yang telah dirangkai pada mikrokontroler Arduino Uno dan ESP8266. RTC memulai pembacaan waktu dari pukul 08.00 – 17.00 WIB. Jika berada dalam rentang waktu tersebut, maka sensor LDR akan melacak cahaya dan untuk menggerakkan linear aktuator yang akan mengubah posisi panel surya dengan syarat jika terdapat perbedaan nilai pada masing-masing sensor LDR.

Jika nilai pada masing-masing sensor sama maka sensor LDR tidak akan menggerakkan linear aktuator sampai ditemukan perbedaan nilai pada masing-masing sensor LDR. Namun, jika pembacaan waktu berada diluar rentang waktu tersebut, maka linear aktuator akan kembali ke posisi semula yang membuat posisi panel surya akan menghadap ke matahari saat terbit. Saat panel surya berada tegak lurus terhadap matahari, LCD akan menampilkan data tegangan dan arus pada panel surya.

Sensor Reed Switch aktif saat panel surya terlepas dari dudukannya sehingga mengaktifkan buzzer sebagai indikator keamanan lalu mengirim notifikasi ke Blynk. Data pembacaan sensor BH1750, DHT11, MPU6050, dan INA219 dikirim ke Blynk yang menampilkan parameter irradiansi matahari, suhu sekitar, sudut panel surya, arus, tegangan dan daya.





Gambar 32. Gambar Diagram Alir Sistem Rancang Bangun

3.4.5 Perancangan Desain Alat

Pada perancangan desain alat pada sistem ini terdapat beberapa komponen seperti rangka penyangga panel surya yang dilengkapi dengan box panel sebagai tempat penyimpanan piranti elektronik, serta dipasang aktuator linear sebagai penggerak panel surya yang akan bergerak dari arah timur ke barat dan sebaliknya, serta dari arah selatan ke utara dan sebaliknya. Gambar 33 memperlihatkan desain alat yang akan dirancang.



Gambar 33. Perancangan Desain Alat

3.4.6 Perancangan MCB dan Kabel Panel Surya

Penentuan rating MCB DC pada panel surya terhadap SCC mengacu pada *short circuit current* (Isc) pada spesifikasi panel surya sebesar 3,01A, maka dapat disesuaikan dengan MCB yang ada dipasaran yaitu menggunakan MCB DC sebesar 3A. Penentuan KHA kabel pada panel surya terhadap SCC mengacu pada *short circuit current* (Isc) pada spesifikasi panel surya sebesar 3,01A, maka menggunakan persamaan 2.8.

$$KHA = I_n \times 125\% \quad (2.8)$$

$$KHA = 3,01A \times 125\%$$

$$KHA = 3,76A$$

Penentuan kabel panel surya terhadap SCC mengacu pada tabel KHA PUIL 2000 yaitu menggunakan kabel jenis NYAF 0,75mm².

Rating MCB DC pada SCC terhadap baterai dapat menggunakan persamaan 2.7 dan Penentuan KHA kabel pada SCC terhadap baterai dapat menggunakan persamaan 2.8.

$$I = \frac{VA}{V} \quad (2.7)$$

$$I = \frac{50W}{12V}$$

$$I = 4,17A$$

$$KHA = I \times 125\% \quad (2.8)$$

$$KHA = 4,17A \times 125\%$$

$$KHA = 5,21A$$

Maka dapat disesuaikan dengan MCB yang ada dipasaran yaitu menggunakan MCB DC sebesar 6A dan penentuan kabel mengacu pada tabel KHA PUIL 2000 yaitu menggunakan kabel jenis NYAF 0,75mm².

3.4.7 Pemrograman

Setelah melakukan instalasi rangkaian listrik, selanjutnya memasukkan pemrograman dengan menggunakan software arduino IDE. Membuat kode pengontrolan solar tracker dan pengontrol alarm dengan menggerakkan motor aktuator linear agar panel surya bergerak menghadap arah datangnya cahaya matahari melalui pembacaan sensor LDR serta mengaktifkan buzzer saat panel surya terlepas dari dudukannya. Data tegangan, arus, suhu sekitar, intensitas cahaya matahari, dan sudut panel kemudian ditampilkan di aplikasi Blynk.

3.4.8 Uji Coba

Uji coba alat tetap merujuk ke konsep-konsep yang telah diuji sebelumnya. Uji coba ini dilakukan agar dapat dilihat kinerja sistem dari alat serta pembacaan pada tiap sensor. Pembacaan sensor berupa arus, tegangan, suhu sekitar, intensitas cahaya matahari, dan sudut panel. Apabila dari hasil yang didapatkan dari uji coba

alat telah memenuhi poin-poin yang telah dirancang, maka “Rancang Bangun Sistem Pengaman Panel Surya Menggunakan Alarm Cerdas Berbasis IoT” selanjutnya dilakukan proses pengambilan data. Namun jika alat tidak bekerja sebagaimana mestinya pada proses uji coba, maka dilakukan perbaikan sampai hasil yang diinginkan tercapai.

3.4.9 Perbaikan

Dilakukan tahap perbaikan jika pada proses uji coba alat tidak memenuhi konsep yang telah dibuat. Pertama, dilakukan analisa kerusakan pada alat ataupun program. Setelah itu dilakukan perbaikan pada bagian yang rusak tersebut berdasarkan hasil analisa.

3.4.10 Pengambilan Data

Proses ini dilakukan setelah dilakukan uji coba pada alat dan alat dapat berjalan dengan baik. Data yang diambil berupa arus, tegangan dan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang dimulai pada pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini, dihasilkan sistem solar tracker dual axis yang terdiri atas modul panel surya, sensor LDR, sensor tegangan dan arus, sensor iradiansi matahari, sensor suhu, sensor sudut serta sensor pengaman pencurian. Modul aduino uno, NodeMCU ESP8266, solar charger controller, pewaktu, dan driver motor sebagai bagian proses. Monitoring LCD dan Blynk, buzzer, serta motor linear aktuator sebagai bagian keluaran sistem.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem solar tracker telah berhasil bekerja mengikuti sinar matahari yang menghasilkan daya maksimum pada pukul 12.21 WIB sebesar 39,69 W dengan sudut kemiringan panel surya pada roll 0° dan pitch 0°, dengan iradiansi matahari dari pembacaan sensor sebesar 431,44 W/m² dan suhu 39°C. Hasil pengukuran daya pada sistem panel surya tracker mampu menghasilkan peningkatan daya keluaran sebesar 17,38%. Hasil pengujian pengaman panel surya mampu mendeteksi adanya pencurian saat panel terangkat dari dudukannya dengan jarak 2 cm, sensor mengaktifkan buzzer serta mengirimkan data ke NodeMCU ESP8266 dan mengirim notifikasi ke Blynk.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini, pengukuran intensitas cahaya matahari masih menggunakan sensor BH1750 yang berbasis lux. Meskipun sensor ini ekonomis dan mudah diterapkan, sensor ini masih terbatas dalam mengukur iradiansi matahari secara akurat. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya disarankan

menggunakan pyranometer yaitu alat ukur profesional untuk iradiansi matahari global yang sesuai dengan standar meteorologi sehingga perbandingan performa panel surya dapat dianalisis secara lebih valid. Sistem keamanan pencurian panel surya juga perlu dikembangkan dengan penambahan CCTV serta GPS untuk memantau keadaan serta posisi panel surya secara real time.



DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A., Widya, R., & Julsam. (2021). Rancang Bangun Pemutus Tegangan pada Kwh Meter Pelanggan PLN. *Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.25077/jarpet.v1i1.2>
- Abdulghani, T., Nazilah, S., Legiawan, M. K., Sulaeman, F. S., & Setiadi, M. F. (2024). Analysis and Implementation of the Internet of Things (IoT) in the Development of Monitoring Solar Power Plants (PLTS) 600 Wp Analisis dan Implementasi Internet of Things (IoT) dalam Pengembangan Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Teknik Informatika*, 5(4), 673–684. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.4.2093>
- Bahroni, S., Dwi Riyanto, S., Hera Susanti, D., Teknik Elektronika, J., Negeri Cilacap, P., Soetomo No, J., & Tengah, J. (2020). Monitoring Solar Cell Tracking System Jarak Jauh. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, 6(1), 277–284.
- Basit, A., Khoeruzzaman, R., Rais, R., & Maulana, A. (2024). Monitoring System Automatic Solar Cell Sebagai Sumber PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Berbasis Microcontroller. *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, 13(1), 175–182. <https://doi.org/10.30591/smartcomp.v13i1.6057>
- Gunoto, P., & Sofyan, S. (2020). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp untuk Penerangan Lampu di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan. *Sigma Teknika*, 3(2), 96–106. <https://doi.org/10.33373/sigma.v3i2.2754>
- Hasiri, E. M., Asniati, & Khairun. (2021). Konferensi Nasional Ilmu Komputer (KONIK) 2021 Implementasi Metode Smart Sollar Tracking System Berbasis Mikrokontroller pada Prototipe Panel Surya. *Konferensi Nasional Ilmu Komputer (KONIK)*, 565–570.
- Ibrahim, R. R., & Yulianti, B. (2022). Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Arus Listrik PLN Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Industri*, 11(1), 43–51.
- Kurniawan, G. W., Agung, I. G. A. P. R., & Rahardjo, P. (2023). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1), 133–140. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p17>
- Kurniawansyah, R. M. (2023). Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Menggunakan Lensa Fresnel Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Optimasi Daya Output Solar Cell. Universitas Lampung.
- Nariyana, A. F. (2023). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Pensuplai Kandang Ayam Pedaging Dengan Sistem on Grid Di Desa*

Tegalharjo Trangkil Pati. Universitas Islam Sultan Agung.

- Nirwan, S., & MS, H. (2020). Rancang Bangun Aplikasi Untuk Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Pada Peralatan Elektronik Berbasis Pzem-004T. *Jurnal Teknik Informatika*, 12(2), 22–28.
- Pulungan, A. B., Fajri, Q., & Yelfianhar, I. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 261–270. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.113304>
- Rahmatullah, M. (2021). Rancang Bangun dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika Fuzzy. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Ramli, I. (2021). Panel Surya dengan Sistem Pelacakan Arah Sinar Matahari [Universitas Hasanuddin]. https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/28751/%0Ahttps://repository.unhas.ac.id/id/eprint/28751/3/D33116312_skripsi_31-10-2022_dp.pdf
- Reprendim S, R. J. (2023). Analisis Kontrol Single Axis pada Panel Surya Berkapasitas 120 Wp Dalam Peningkatan Konversi Energi. Universitas Medan Area.
- Rizky, B. M. (2020). Penggunaan Arduino Uno Sebagai Alat Tracker Matahari pada Plts 200 Wp Dengan Sistem Solar Charge. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sammang, M., Mahmuddin, F., & Rivai, H. (2022). Sistem Monitoring Energi Surya Jarak Jauh. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 26(2), 67–75. <https://doi.org/10.25042/jpe.112022.02>
- Setiana, H., Bening Kusumaningtyas, A., & Maulana, R. (2023). Rancang Bangun PLTS Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Menggunakan ESP32. *Prosiding SENIATI*, 7(2), 177–182. <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i2.7944>
- Siagian, P., & Manurung, R. (2022). Pengembangan Panel Surya 120 Wp Dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 3(2), 115–128. <https://doi.org/10.36655/sprocket.v3i2.658>
- Suprayitno, E., Widoretno, S., & Yufon, A. (2020). Rekayasa Pintu Geser Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Passive Infra Red (Pir). *Jurnal Qua Teknika*, 10(1), 47–61. <https://doi.org/10.35457/quateknika.v10i1.936>
- Suranto, D. (2022). Perancangan Dan Pembuatan Propotipe Bracket Mcb (Miniatur Circuit Breaker) Untukmodul Timerotomatis Menggunakan 3D Printer. Universitas Islam Indonesia.
- Syahril, M., & Kadir, N. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum di

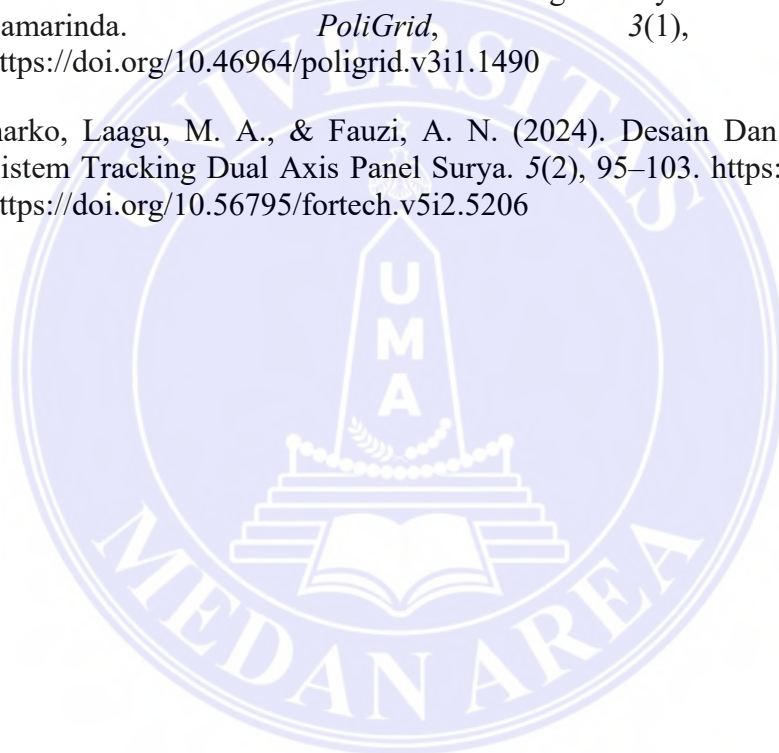
Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 26–35.
<https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.26-35>

Syamsudin, M. S., Maulana, S., Agustriawan, A., Taufik, A., Gilang, B., Zaylani, A., & Asror, K. (n.d.). Rancang Bangun Sistem Pemantau Pintu menggunakan sensor Magnetic Door Reed Switch Berbasis Kodular. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Bisnis (SENATIB)*, 825–828.

Tawary, H. I. (2022). Sistem Monitoring Pergerakan Panel Surya Berbasis Visual Basic. Universitas Hasanuddin.

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. *PoliGrid*, 3(1), 12–20.
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v3i1.1490>

Widjonarko, Laagu, M. A., & Fauzi, A. N. (2024). Desain Dan Implementasi Sistem Tracking Dual Axis Panel Surya. 5(2), 95–103. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.56795/fortech.v5i2.5206>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Arduino Uno

KODE PROGRAM ARDUINO UNO

```
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT11.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <BH1750.h>
#include <MPU6050.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial espSerial(7, 8); // RX = 7, TX = 8
RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
DHT11 dht11(2);
Adafruit_INA219 ina219;
BH1750 lightMeter;
MPU6050 mpu(0x69);
const int ldrTL = A0, ldrTR = A1, ldrBL = A2, ldrBR = A3;
const int in1 = 9, in2 = 10, ena = 5;
const int in3 = 11, in4 = 12, enb = 6;
int magneticDoor = 3;
int buzzer = 4;
int state = 0;
bool alarm = false;
bool manualReset = false;
int threshold = 10;
int motorSpeed = 127;
int jamAwal = 08;
int jamAkhir = 17;
bool sudahReset = false;
int roll = 0, pitch = 0;
float shuntvoltage, busvoltage, current, loadvoltage, power;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    espSerial.begin(9600);

    pinMode(ldrTL, INPUT);
    pinMode(ldrTR, INPUT);
    pinMode(ldrBL, INPUT);
    pinMode(ldrBR, INPUT);
    pinMode(in1, OUTPUT);
    pinMode(in2, OUTPUT);

```

```

pinMode(ena, OUTPUT);
pinMode(in3, OUTPUT);
pinMode(in4, OUTPUT);
pinMode(enb, OUTPUT);
pinMode(magneticDoor, INPUT_PULLUP);
pinMode(buzzer, OUTPUT);
Wire.begin();
lcd.init();
lcd.backlight();
if (!rtc.begin())
{
    Serial.print("RTC Error");
    while (1)
        ;
}
if (rtc.lostPower())
{
    Serial.print("Set RTC Time");
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
if (lightMeter.begin())
{
    Serial.println("Sensor BH1750 terdeteksi!");
}
else
{
    Serial.println("Sensor BH1750 tidak terdeteksi, periksa sambungan.");
    while (1)
        ;
}
while (!Serial)
{
    delay(1);
}
// Initialize the INA219.
// By default the initialization will use the largest range (32V, 2A). However
// you can call a setCalibration function to change this range (see comments).
if (!ina219.begin())
{
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1)
    {
        delay(10);
    }
}
// To use a slightly lower 32V, 1A range (higher precision on amps):
// ina219.setCalibration_32V_1A();
// Or to use a lower 16V, 400mA range (higher precision on volts and amps):

```

```

// ina219.setCalibration_16V_400mA();
Serial.println("Hitung Tegangan, Arus, dan Daya dengan INA219 ...");

mpu.initialize();
if (mpu.testConnection())
{
    Serial.println("MPU6050 terhubung!");
}
else
{
    Serial.println("Gagal terhubung ke MPU6050!");
    while (1)
        ;
}
stopMotors();
}

void loop()
{
    DateTime now = rtc.now();
    state = digitalRead(magneticDoor);
    bacaSudutMPU();

    shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV() / 1000;
    busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
    current = ina219.getCurrent_mA() / 1000;
    power = ina219.getPower_mW() / 1000;
    loadvoltage = busvoltage + shuntvoltage;
    float lux = lightMeter.readLightLevel();
    float irradiance = lux * 0.0079;
    int suhu = 0, kelembapan = 0;
    int result = dht11.readTemperatureHumidity(suhu, kelembapan);
    if (result != 0)
    {
        suhu = -1;
        kelembapan = -1;
    }
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Waktu: ");
    if (now.hour() < 10)
        lcd.print("0");
    lcd.print(now.hour());
    lcd.print(":");
    if (now.minute() < 10)
        lcd.print("0");
    lcd.print(now.minute());
    lcd.print(":");
    if (now.second() < 10)

```

```

    lcd.print("0");
    lcd.print(now.second());

    lcd.setCursor(0, 1);
    if (now.hour() >= jamAwal && now.hour() <= jamAkhir)
    {
        lcd.print("Tracking Aktif ");
        sudahReset = false;
        int topLeft = analogRead(ldrTL);
        int topRight = analogRead(ldrTR);
        int bottomLeft = analogRead(ldrBL);
        int bottomRight = analogRead(ldrBR);
        int avgLeft = (topLeft + bottomLeft) / 2;
        int avgRight = (topRight + bottomRight) / 2;
        int avgTop = (topLeft + topRight) / 2;
        int avgBottom = (bottomLeft + bottomRight) / 2;
        int diffH = avgLeft - avgRight;
        int diffV = avgTop - avgBottom;
        Serial.print("diffH: ");
        Serial.print(diffH);
        Serial.print(" | diffV: ");
        Serial.println(diffV);
        if (abs(diffV) > threshold)
        {
            (diffV > 0) ? moveVerticalUp() : moveVerticalDown();
        }
        else
            stopVertical();
        if (abs(diffH) > threshold)
        {
            (diffH > 0) ? moveHorizontalLeft() : moveHorizontalRight();
        }
        else
            stopHorizontal();
    }
    else
    {
        if (!sudahReset)
        {
            lcd.print("Reset ke Timur... ");
            resetToEast();
            sudahReset = true;
        }
        else
            lcd.print("Tracking Nonaktif ");
    }
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("T:");

```

```

lcd.print(suhu);
lcd.print("C ");
lcd.print("Irr:");
lcd.print(irradiance);
lcd.print("W/m2 ");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("V:");
lcd.print(loadvoltage, 1);
lcd.print(" I:");
lcd.print(current, 1);
lcd.print(" P:");
lcd.print(power, 1);
// Alarm logika
if (manualReset)
{
    alarm = false;
    digitalWrite(buzzer, LOW);
    if (state == LOW)
        manualReset = false;
}
else
{
    alarm = (state == HIGH);
    digitalWrite(buzzer, alarm ? HIGH : LOW);
}
// ----- Kirim data ke ESP dan juga ke Serial Monitor -----
String packet = "<" + String(suhu) + "|" +
    String(irradiance) + "|" +
    String(loadvoltage, 2) + "|" +
    String(current, 2) + "|" +
    String(power, 2) + "|" +
    String(roll) + "|" +
    String(pitch) + "|" +
    tentukanArahMataAngin(roll, pitch) + "|" +
    (alarm ? "T" : "F") + ">";
espSerial.println(packet); // kirim ke ESP8266
Serial.println(packet); // tampilkan di Serial Monitor
// Terima perintah reset manual dari ESP
while (espSerial.available() > 0)
{
    char cmd = espSerial.read();
    if (cmd == 'R')
    {
        manualReset = true;
        alarm = false;
        digitalWrite(buzzer, LOW);
    }
}
}

```

```

    delay(500);
}

// Fungsi motor, MPU, reset ke timur, arah
void moveHorizontalLeft()
{
    digitalWrite(in1, HIGH);
    digitalWrite(in2, LOW);
    analogWrite(ena, motorSpeed);
}
void moveHorizontalRight()
{
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, HIGH);
    analogWrite(ena, motorSpeed);
}
void stopHorizontal()
{
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, LOW);
    analogWrite(ena, 0);
}
void moveVerticalUp()
{
    digitalWrite(in3, HIGH);
    digitalWrite(in4, LOW);
    analogWrite(enb, motorSpeed);
}
void moveVerticalDown()
{
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogWrite(enb, motorSpeed);
}
void stopVertical()
{
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    analogWrite(enb, 0);
}
void stopMotors()
{
    stopHorizontal();
    stopVertical();
}
void bacaSudutMPU()
{

```

```

int16_t ax, ay, az;
mpu.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
float axg = ax / 16384.0, ayg = ay / 16384.0, azg = az / 16384.0;
roll = atan2(-axg, sqrt(ayg * ayg + azg * azg)) * 180 / PI;
pitch = atan2(ayg, azg) * 180 / PI;
}
String tentukanArahMataAngin(float roll, float pitch)
{
    String arah = "";
    // Vertikal
    if (pitch > 10)
        arah += "Timur";
    else if (pitch < -10)
        arah += "Barat";
    // Horizontal
    if (roll > 10)
    {
        if (arah != "")
            arah += "-";
        arah += "Utara";
    }
    else if (roll < -10)
    {
        if (arah != "")
            arah += "-";
        arah += "Selatan";
    }

    // Jika tegak lurus
    if (arah == "")
        arah = "Tegak Lurus (Atas)";
    return arah;
}
void resetToEast()
{
    unsigned long startTime = millis();
    while (millis() - startTime < 7000)
    {
        bacaSudutMPU();
        if (roll < -5 && pitch < -5)
            break;
        moveHorizontalRight();
        moveVerticalDown();
    }
    stopMotors();
}

```

Lampiran 2 Kode Program ESP8266

KODE PROGRAM ESP8266

```

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL62tJqTrUI"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "monitoring PV"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "IDg6BTxzet5WaCmICvKliztKivTRkqUF"
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <SoftwareSerial.h>
char ssid[]="Test";
char pass[]="1223334444";
SoftwareSerial arduinoSerial(D5,D6); // RX, TX ke Arduino
BlynkTimer timer;
float suhu=0,irradiance=0,loadVoltage=0,current=0,power=0,roll=0,pitch=0;
String arahPanel="";
bool alarmAktif=false;
bool resetManual=false;
bool lastAlarmState=false;
unsigned long lastNotif=0;
const unsigned long notifInterval=30000;
String buffer="";

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  arduinoSerial.begin(9600);
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN,ssid,pass);
  timer.setInterval(5000L,kirimKeBlynk);
}

// Tombol reset manual V9
BLYNK_WRITE(V9){
  if(param.asInt()==1){
    resetManual=true;
    alarmAktif=false;
    Blynk.virtualWrite(V8,0); // matikan indikator alarm
    arduinoSerial.println("R"); // kirim ke Arduino → matikan buzzer
    Serial.println(">> Reset manual Blynk dikirim ke Arduino <<");
  }
}

void loop() {
  Blynk.run();
  timer.run();
  while(arduinoSerial.available()){
    char c=arduinoSerial.read();
    if(c=='<') buffer="";
    buffer+=c;
    if(c=='>'){parseData(buffer); buffer="";}
  }
}

```

```

    }
}

void parseData(String data){
    if(!data.startsWith("<")||!data.endsWith(">")) return;
    data=data.substring(1,data.length()-1);
    String values[9]; int idx=0;
    while(data.length()>0 && idx<9){
        int sep=data.indexOf('|');
        if(sep==-1){values[idx++]=data; break;}
        else{values[idx++]=data.substring(0,sep); data=data.substring(sep+1);}
    }
    if(idx<9){Serial.println(">> Paket data tidak lengkap <<"); return;}
    suhu      = values[0].toFloat();
    irradiance = values[1].toFloat();
    loadVoltage = values[2].toFloat();
    current    = values[3].toFloat();
    power      = values[4].toFloat();
    roll       = values[5].toFloat();
    pitch      = values[6].toFloat();
    arahPanel  = values[7];
    bool alarmFromArduino=(values[8]=="T");
    if(resetManual){
        alarmAktif=false;
        if(!alarmFromArduino) resetManual=false; // reset selesai
    } else alarmAktif=alarmFromArduino;
    // Notifikasi alarm
    if(alarmAktif && !lastAlarmState){Blynk.logEvent("pencurian_terdeteksi"," ⚠
Pencurian terdeteksi!"); lastNotif=millis();}
    if(alarmAktif && millis()-
lastNotif>=notifInterval){Blynk.logEvent("pencurian_terdeteksi"," ⚠ Pencurian
masih berlangsung!"); lastNotif=millis();}
    lastAlarmState=alarmAktif;
}
void kirimKeBlynk(){
    Blynk.virtualWrite(V0,suhu); Blynk.virtualWrite(V1,irradiance);
    Blynk.virtualWrite(V2,loadVoltage); Blynk.virtualWrite(V3,current);
    Blynk.virtualWrite(V4,power); Blynk.virtualWrite(V5,roll);
    Blynk.virtualWrite(V6,pitch); Blynk.virtualWrite(V7,arahPanel);
    Blynk.virtualWrite(V8,alarmAktif);
}

```