

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE *SMART PANEL SURYA* BERBASIS
IOT DENGAN FITUR *AUTO-PARK* DAN *SOLAR SHIELD*
MENGGUNAKAN NODEMCU**



OLEH:

MUH. FAUSAN 105821102621

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE *SMART PANEL SURYA* BERBASIS
IOT DENGAN FITUR *AUTO-PARK* DAN *SOLAR SHIELD*
MENGGUNAKAN NODEMCU**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S.T.) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar

Disusun dan diajukan oleh:

MUH. FAUSAN 105821102621

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN PROTOTYPE SMART PANEL SURYA BERBASIS IOT DENGAN FITUR AUTO-PARK DAN SOLAR SHIELD MENGGUNAKAN NODEMCU**

Nama : 1. Muh. Fausan

Stambuk : 1. 105 82 11026 21

Makassar, 04 September 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I


Dr. Ir. Ridwah, S.Kom., M.T.

Pembimbing II


Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM.

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro





FAKULTAS TEKNIK

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muh. Fausan** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11026 21, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0006/SK-Y/20201/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 30 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST.,MT.,IPU

Makassar, 12 Rabu Awal 1447 H
04 September 2025 M

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfaini Basri Hasanuddin, M.Eng.

b. Sekertaris : Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T., M.T., Ph.D.

3. Anggota

: 1. Ir. Rahmania, S.T., M.T.

2. Lisa Fitriani Ishak, ST., MT.

3. St. Khadijah, ST., M.Kom., IPP

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Ridwani, S.Kom., M.T.Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM.

Ir. Muli Syafaat S. Kurnia, S.T., M.T., IPM

NBM : 975 288

RANCANG BANGUN PROTOTIPE SMART PANEL SURYA BERBASIS IOT DENGAN FITUR AUTO-PARK DAN SOLAR SHIELD MENGGUNAKAN NODEMCU

Muh. Fausan¹, Ridwang², Adriani³

¹²³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Makassar

E-Mail: muhfausan191102@gmail.com¹, ridwang@unismuh.ac.id²,
adriani@unismuh.ac.id³

ABSTRAK

Energi menjadi salah satu elemen penting yang dibutuhkan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Pemanfaatan panel surya sebagai sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah menjadi solusi ramah lingkungan dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim. Namun, dalam implementasinya, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan keberadaan partikel atau air hujan yang dapat mengganggu penyerapan energi. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang smart panel surya berbasis *iot* dengan fitur *Auto-Park* dan *Solar Shield* menggunakan nodemcu. Metode penelitian yang diterapkan adalah metode eksperimen dengan disertai observasi langsung terhadap kinerja perangkat prototipe yang telah dirancang. Sistem *smart panel* surya yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti mampu berfungsi sesuai dengan tujuan, yaitu melakukan pelacakan matahari, proteksi otomatis saat hujan, serta pemantauan energi berbasis IoT. Integrasi perangkat keras seperti sensor, servo telah berjalan dengan baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi penyerapan daya. Hasil pengujian juga menunjukkan kemudahan dalam monitoring energi melalui koneksi IoT yang *real-time*. Meski demikian, terdapat beberapa keterbatasan, seperti potensi keausan servo akibat penggunaan jangka panjang, tingkat akurasi sensor hujan yang masih perlu ditingkatkan, serta keterbatasan pada efisiensi inverter. Secara keseluruhan, sistem ini dinilai efektif, aman, dan praktis, dengan peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut melalui peningkatan kualitas komponen, penambahan fitur presisi, serta pengujian jangka panjang guna menjamin keandalan dan ketahanannya.

Kata Kunci: *Smart Panel Surya, Internet of Things, Auto-Park, Solar Shield*

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN IOT-BASED SMART
SOLARPANEL PROTOTYPE WITH AUTO-PARK AND
SOLAR SHIELDFEATURES USING NODEMCU**

Muh. Fausan¹, Ridwang², Adriani³

¹²³ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Makassar

E-Mail: muhfausan191102@gmail.com¹, ridwang@unismuh.ac.id²,
adriani@unismuh.ac.id³

ABSTRACT

Energy is one of the most important elements needed in various aspects of life around the world, including in Indonesia. The use of solar panels as a solar power generation system (SPGS) has become an environmentally friendly solution in facing the energy crisis and climate change. However, in its implementation, the performance of solar panels is greatly influenced by environmental conditions, such as sunlight intensity, temperature, and the presence of particles or rainwater that can interfere with energy absorption. The purpose of this study is to design an IoT-based smart solar panel with Auto-Park and Solar Shield features using Nodemcu. The research method applied is an experimental method accompanied by direct observation of the performance of the prototype device that has been designed. The smart solar panel system developed in this study has been proven to function as intended, namely to track the sun, provide automatic protection during rain, and monitor energy based on IoT. The integration of hardware such as sensors and servos has been successful, thereby supporting increased power absorption efficiency. The test results also show the ease of energy monitoring through real-time IoT connections. However, there are several limitations, such as the potential for servo wear due to long-term use, the accuracy of rain sensors that still needs to be improved, and limitations in inverter efficiency. Overall, this system is considered effective, safe, and practical, with great opportunities for further development through component quality improvements, the addition of precision features, and long-term testing to ensure reliability and durability.

Keywords: Smart Solar Panel, Internet of Things, Automatic Parking, Solar Protector

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat, tabiin, dan generasi penerus Islam yang telah membawa cahaya petunjuk bagi umat manusia.

Alhamdulillah, atas limpahan taufik dan hidayah dari Allah SWT, peneliti berhasil menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul: "**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SMART PANEL SURYA BERBASIS IOT DENGAN FITUR AUTO-PARK DAN SOLAR SHIELD MENGGUNAKAN NODEMCU**". Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Peneliti menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, dukungan, serta dorongan dari berbagai pihak yang dengan tulus dan ikhlas memberikan motivasi. Meskipun dihadapkan pada berbagai kendala selama proses penyusunan, berkat kerja sama, bimbingan yang diberikan, serta rahmat dan keberkahan dari Allah SWT, segala hambatan tersebut dapat dilalui dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, S.T.,M.T., IPU selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Ir. Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Ibu Rahmania, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ridwang, S.Kom., M.T. IPM selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing I.
6. Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T., M.T, PhD. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Serta Staf Pegawai Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti iproses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
8. Keluarga, Kerabat dan Teman-teman kami serta semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Makassar, 09 Agustus 2025

Muh. Fausan

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. <i>Internet of Things</i> (IoT).....	6
B. Panel Surya.....	6
C. NodeMCU	7
D. Arduino Mega 2560.....	8
E. Telegram	10
F. Sensor LDR	10
G. Motor Servo.....	11
H. Sensor Hujan	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
A. Waktu dan Tempat	13
B. Alat dan Bahan	13
C. Metode.....	14

D. Metode Pengumpulan Data	18
E. Blok Diagram	19
F. Mekanisme Kerja Alat.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
A. Hasil Rancangan Alat	25
B. Pengujian Sistem	25
C. Analisis Fungsional	26
D. Hasil yang Ditemukan dalam Perancangan Alat	28
E. Pembahasan	28
BAB V PENUTUP	32
A. Kesimpulan	32
B. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA.....	34
Lampiran 1. Kode Program	37
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Alat	41
Lampiran 3. Data Sheet Komponen.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya.....	7
Gambar 2.2 NodeMCU ESP8266.....	8
Gambar 2.3 Arduino Mega 2560.....	9
Gambar 2.4 Telegram.....	10
Gambar 2.5 Sensor LDR.....	11
Gambar 2.6 Motor Servo.....	12
Gambar 2.7 Sensor Hujan.....	12
Gambar 3.1 Tahap Perencanaaan.....	18
Gambar 3.2 Blok Diagram system <i>smart</i> panel surya.....	20
Gambar 3.3 Rangkaian Komponen.....	20
Gambar 3.4 Flowchart Mekanisme Kerja Alat.....	24

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar Alat yang Digunakan.....	15
Tabel 3.2 Daftar Bahan yang Digunakan.....	15
Tabel 4.1 Pengujian Sistem.....	26
Tabel 4.2 Analisis Fungsional.....	27
Tabel 4.3 Hasil yang ditemukan.....	29

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi menjadi salah satu elemen penting yang dibutuhkan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, permintaan terhadap energi juga mengalami peningkatan. Energi memiliki peran vital dalam mendukung berbagai sektor kehidupan, seperti pertanian, pendidikan, kesehatan, transportasi, hingga kegiatan ekonomi (Azirudin, 2019).

Peningkatan konsumsi energi secara global yang tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya fosil, mendorong perhatian dunia untuk beralih pada pengembangan energi terbarukan sebagai langkah menuju keberlanjutan. Di antara berbagai jenis energi terbarukan, energi surya menjadi salah satu pilihan yang paling menjanjikan, terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia yang memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi dan relatif konsisten sepanjang tahun, potensi pemanfaatan energi surya melalui panel surya menjadi sangat menjanjikan (Rauf *et al.*, 2023).

Panel surya merupakan perangkat yang terdiri dari kumpulan sel surya berbahan dasar semikonduktor, yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Mekanisme kerjanya bergantung pada pertemuan antara semikonduktor tipe P dan tipe N yang membentuk sambungan PN (p-n junction), memungkinkan terjadinya perpindahan elektron saat terkena sinar matahari, sehingga menghasilkan arus listrik (Gunoto *et al.*, 2022).

Pemanfaatan panel surya sebagai sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah menjadi solusi ramah lingkungan dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim.

Namun, dalam implementasinya, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan keberadaan partikel atau air hujan yang dapat mengganggu penyerapan energi (Wibowo *et al.*, 2020). Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah penurunan efisiensi akibat suhu berlebih (*overheating*) serta kerusakan komponen akibat hujan ekstrem atau faktor cuaca lainnya. Selain itu, panel surya konvensional umumnya bersifat statis dan tidak memiliki sistem perlindungan otomatis ketika kondisi tidak mendukung. Hal ini menyebabkan menurunnya efisiensi sistem dan meningkatnya risiko kerusakan fisik panel.

Dengan kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan mikrokontroler, berbagai sistem otomasi kini dapat dikembangkan untuk menjawab keterbatasan pada panel surya konvensional. NodeMCU, yang merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP8266 dan memiliki konektivitas Wi-Fi, memberikan peluang untuk merancang sistem pemantauan dan pengendalian panel surya secara waktu nyata melalui jaringan internet. Dengan mengintegrasikan sensor suhu, sensor intensitas cahaya, dan aktuator, sistem cerdas dapat dibangun untuk secara otomatis mengatur posisi panel serta melindunginya dari suhu berlebih.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mengkaji *smart* panel surya “*Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet of Things* (IoT)” oleh

(Haryanto *et al.*, 2024), “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis *Internet of Things*” oleh (Kurniawan *et al.*, 2023), “Rancang Bangun Monitoring *Solar Tracking System* Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis *IoT*” oleh (Prasetyo & Wardana, 2021).

Dari studi terhadap penelitian terdahulu, diketahui bahwa rancangan alat yang telah dikembangkan masih belum sepenuhnya optimal karena adanya beberapa keterbatasan, khususnya dalam aspek keamanan dan perlindungan panel terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Sebagian besar prototipe *smart* panel surya yang telah dirancang sebelumnya hanya berfokus pada fitur pelacakan posisi matahari untuk meningkatkan efisiensi serapan energi, namun belum banyak yang mengintegrasikan sistem perlindungan terhadap suhu berlebih maupun kondisi cuaca ekstrem seperti panas terik berkepanjangan. Hal ini dapat menurunkan performa jangka panjang panel surya serta mempercepat degradasi komponen.

Maka pada kesempatan ini, peneliti merancang alat yang inovasi dengan judul **“RANCANG BANGUN PROTOTIPE *SMART* PANEL SURYA BERBASIS *IOT* DENGAN FITUR *AUTO-PARK* DAN *SOLAR SHIELD* MENGGUNAKAN NODEMCU”**, alat ini tidak hanya mampu menyesuaikan orientasi panel secara otomatis, tetapi juga memberikan perlindungan termal adaptif untuk menjaga stabilitas suhu kerja panel dalam berbagai kondisi cuaca.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana merancang prototipe sistem *Auto-Park* dan *Solar Shield* pada panel surya berbasis *IoT* menggunakan NodeMCU?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui rancangan prototipe system *Auto-Park* dan *Solar Shield* pada panel surya berbasis *IoT* menggunakan NodeMCU.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi teknologi berbasis *IoT* untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan panel surya melalui fitur *Auto-Park* dan *Solar Shield*.
2. Menjadi referensi pengembangan sistem panel surya pintar yang adaptif terhadap perubahan cuaca ekstrem dan suhu lingkungan.

E. Batasan Masalah

1. Sistem *Auto-Park* dan *Solar Shield* hanya bekerja berdasarkan parameter intensitas cahaya matahari, dan sensor hujan.
2. Sistem berbasis *IoT* ini hanya menggunakan Arduino Mega sebagai mikrokontroler utama dan NodeMCU ESP8266 sebagai koneksi WiFi sebagai media komunikasi.
3. Monitoring dan kontrol panel surya dilakukan melalui platform telegram dengan fokus pada pengiriman data intensitas cahaya, sensor hujan, tanpa integrasi sistem keamanan pada AI.

F. Sistematika Penulisan

Adapun susunan penulisan dalam seminar proposal ini adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan berdasarkan hasil penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas perancangan sistem *Auto-Park* dan *Solar Shield* panel surya berbasis *IoT* yang berkaitan langsung dengan penelitian prototipe *smart* panel surya.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang diterapkan dalam perancangan sistem.

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil penelitian yang telah dilakukan dan menghubungkan nya dengan teori yang telah ditinjau sebelumnya.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi rangkuman dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan dan memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut sehingga alat ini bisa lebih baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep yang bertujuan memperluas fungsi konektivitas internet agar tidak hanya terbatas pada perangkat komputer dan *smartphone*, melainkan juga mencakup mesin, peralatan, dan objek fisik lainnya. Melalui integrasi sensor, jaringan, dan aktuator, objek-objek tersebut dapat saling terhubung untuk mengumpulkan data serta mengelola kinerjanya secara otomatis. Hal ini memungkinkan perangkat untuk bekerja sama dan mengambil keputusan secara mandiri berdasarkan informasi yang diperoleh secara *real-time* (Rachman *et al.*, 2025).

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi kontemporer yang dikembangkan untuk memaksimalkan pemanfaatan koneksi internet yang senantiasa terhubung. Melalui teknologi ini, berbagai objek dapat saling terintegrasi guna mendukung kemudahan dan efisiensi dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Dengan demikian, berbagai tugas yang sebelumnya memerlukan intervensi manusia dapat dilakukan secara otomatis. Saat ini, penerapan IoT telah meluas ke berbagai sektor kehidupan (Syahfitri, 2025).

B. Panel Surya

Panel surya tersusun atas sejumlah sel surya yang dirangkai secara sistematis untuk menghasilkan keluaran listrik sesuai dengan kebutuhan. Melalui susunan sel tersebut, energi cahaya matahari dapat dikonversi menjadi listrik arus searah (DC). Dengan menambahkan baterai yang terhubung langsung

ke panel surya, energi hasil konversi tersebut dapat disimpan dan digunakan sesuai kebutuhan. matahari menjadi listrik dapat disimpan sebagai cadangan energi listrik (Harahap, 2020).

Panel surya merupakan perangkat yang terdiri dari sel-sel surya berbahan dasar semikonduktor yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Mekanisme kerjanya berdasarkan pertemuan antara semikonduktor tipe P dan tipe N. Susunan panel ini dibentuk dari beberapa modul surya yang dirangkai secara seri atau paralel, disesuaikan dengan kebutuhan daya listrik yang diinginkan (Gunoto *et al.*, 2022)

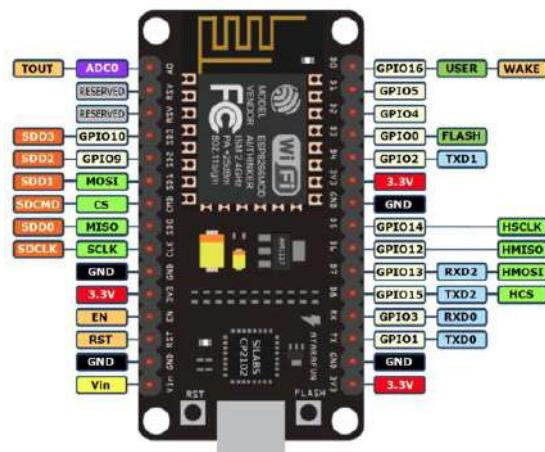


Gambar 2.1 Panel Surya
(Sumber : <https://www.powerstationindonesia.com/>)

C. NodeMCU

Dalam proyek *IoT*, NodeMCU berperan sebagai pusat pengendali dan pemantau aplikasi, dengan dukungan beberapa pin I/O yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan lebih lanjut. NodeMCU ESP8266 dapat diprogram menggunakan berbagai compiler, salah satunya melalui Arduino IDE. Kehadiran port mini USB pada modul ini menjadi fitur penting yang menyederhanakan proses pemrograman dan koneksi ke computer (Ulum *et al.*, 2022).

NodeMCU merupakan papan pengendali elektronik yang menggunakan chip ESP8266, yang memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi mikrokontroler sekaligus terhubung ke jaringan internet melalui koneksi WiFi. Board ini dilengkapi dengan sejumlah pin *input/output* (I/O), sehingga sangat fleksibel untuk dikembangkan menjadi sistem pemantauan maupun pengendalian dalam berbagai proyek berbasis *Internet of Things* (IoT). NodeMCU ESP8266 sendiri merupakan versi pengembangan dari modul ESP-12 dalam keluarga ESP8266, dengan fungsi yang hampir serupa dengan platform Arduino, namun memiliki keunggulan khusus dalam hal integrasi jaringan, karena memang dirancang untuk mendukung konektivitas internet secara langsung (Satria, 2022).



Gambar 2.2 NodeMCU ESP8266
(Sumber: <https://www.nyebarilmu.com>)

D. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan Mikrokontroler berbasiskan Atmega 2560. Arduino Mega 2560 seperti gambar memiliki 54pin digital *input / output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input

analog, dan 4 pin sebagai UART (portserial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Penggunaan Arduino Mega 2560 dalam sistem ini sangat memudahkan proses pengaktifan perangkat, karena cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau menyuplai daya melalui adaptor AC–DC maupun baterai, mikrokontroler ini sudah dapat berfungsi secara optimal. Fleksibilitas dalam sumber daya ini menjadi salah satu keunggulan Arduino Mega 2560 dibandingkan dengan beberapa versi sebelumnya. Selain itu, Arduino Mega 2560 memiliki kompatibilitas tinggi dengan sebagian besar shield yang sebelumnya dirancang untuk platform seperti Arduino Duemilanove maupun Arduino Diecimila, Arduino Mega 2560 hadir dengan peningkatan pada kapasitas memori, jumlah pin input/output yang lebih banyak, serta kemampuan pemrosesan yang lebih andal. Hal ini menjadikannya sangat cocok digunakan dalam perancangan sistem otomatisasi berbasis IoT yang membutuhkan pengolahan data lebih kompleks dan pengendalian multi-perangkat secara bersamaan (Santoso *et al.*, 2021).



Gambar 2.3 Arduino Mega 2560
(Sumber : <https://digiwarestore.com>)

E. Telegram

Telegram adalah aplikasi chatting yang memiliki keunggulan berupa keringanan, kecepatan, dan bebas dari iklan. Aplikasi ini dilengkapi dengan sistem bot, yang juga dikenal sebagai telegrambot, yang dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan perangkat mikrokontroler. Telegram merupakan layanan pesan instan berbasis cloud yang dapat diakses secara gratis (Waluyo & Putra, 2024)



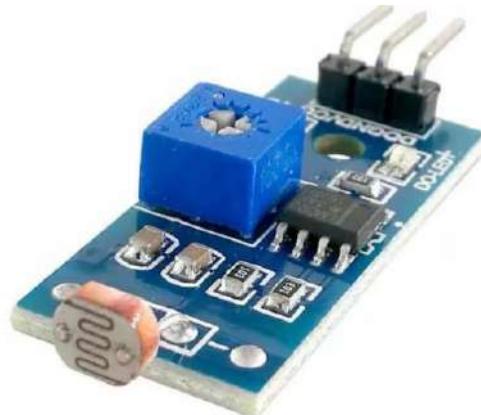
Gambar 2.4 Telegram
(Sumber : <https://commons.wikimedia.org>)

F. Sensor LDR

Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah jenis sensor yang berfungsi untuk mendeteksi arah datangnya cahaya matahari. Nilai resistansi pada sensor ini akan berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang mengenainya, sehingga perubahan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menentukan arah sumber cahaya matahari (Widiatmoko *et al.*, 2023).

Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) berfungsi untuk menghantarkan arus listrik berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. Semakin terang cahaya yang mengenai permukaan sensor, semakin kecil nilai hambatannya.

Umumnya, pada kondisi gelap, hambatan LDR dapat mencapai sekitar 200 kilo ohm ($k\Omega$), sedangkan saat terkena cahaya terang, nilai hambatannya dapat turun hingga sekitar 500 ohm (Ω) (Nurhayati & Maisura, 2021).



Gambar 2.5 Sensor LDR
(Sumber: <https://nusabot.id>)

G. Motor Servo

Motor servo merupakan perangkat elektromekanis yang digunakan dalam berbagai mesin industri untuk menggerakkan atau memutar objek dengan tingkat presisi tinggi, terutama dalam mengatur posisi sudut, percepatan, dan kecepatan. Tidak seperti motor AC, motor servo memiliki kemampuan kontrol yang lebih akurat karena menggunakan sistem loop tertutup (*closed loop*) yang memanfaatkan encoder sebagai umpan balik untuk mengatur posisi target, torsi keluaran, dan kecepatan putaran motor (Yufrida Alfiana *et al.*, 2021).

Motor servo tersusun atas komponen utama berupa motor, sistem roda gigi, potensiometer, dan rangkaian pengendali. Potensiometer berfungsi untuk menentukan sejauh mana sudut putaran motor dapat bergerak. Umumnya, motor servo hanya berputar hingga sudut tertentu dan tidak bergerak terus-menerus.

Namun, dalam beberapa aplikasi, motor ini dapat dimodifikasi agar mampu berputar secara terus-menerus sesuai kebutuhan (Mahmudi *et al.*, 2025).



Gambar 2.6 Motor Servo
(Sumber: <https://www.mahirelektrro.com>)

H. Sensor Hujan

Raindrop sensor atau sensor hujan adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi ada tidaknya hujan di sekitar alat sehingga sensor akan aktif jika terkena air hujan. Selain dirancang untuk mendeteksi air hujan, sensor ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi level air dan lain lain. Sensor hujan merupakan sensor yang peka terhadap air hujan yang digunakan untuk memberikan nilai input pada tingkat elektrolisis air hujan. (Fauza *et al.*, 2021).



Gambar 2.7 Sensor Hujan
(Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id>)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dimulai pada bulan Juni 2025 dan diselesaikan pada bulan Agustus 2025.

2. Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dalam Tugas Akhir ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Makassar.

B. Alat dan Bahan

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan sebagai penunjang dalam proses perancangan prototipe *Smart Panel Surya* berbasis IoT. Rincian alat dan bahan yang digunakan selama proses perancangan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Daftar Alat yang digunakan

No	Alat	Jumlah
1	Solder	1 buah
2	Multimeter Digital	1 buah
3	Obeng Set	1 set
4	Gergaji Besi	1 buah
5	Tang Kombinasi	1 buah
6	<i>Cutter</i>	1 buah
7	Lem Korea dextone	1 buah
8	Laptop	1 buah
9	<i>Smartphone</i>	1 buah
16	Box Plastik	1 Buah

Tabel 3.2 Daftar Bahan yang digunakan

No	Bahan	Jumlah
1	Servo Mg996r 180 & 360	2 buah

2	NodeMCU ESP8266	1 buah
3	Panel Surya	1 buah
4	Controller Panel Surya	1 buah
5	Arduino Mega 2560	1 buah
6	Terminal	1 buah
7	PCB Lubang Polos	1 buah
8	Voltage meter digital	1 buah
9	Push Button Star dan Stop	1 buah
10	Baterai 18650	3 buah
12	Modul Sensor LDR	5 buah
13	Resistor ¼ Watt 10k	10 buah
14	Step Up Step Down dc to dc	1 buah
15	Step down modul	1 buah
16	Inverter	1 buah
17	Panel Box Listrik	1 buah
18	Kabel duct	1 batang
19	Timah Solder	1 buah
20	Pipa 1 inch	4 meter
21	Gergaji Besi	2 buah
22	Kabel NYAF 0,75	Secukupnya

C. Metode

Metode penelitian yang diterapkan merupakan metode eksperimen, yang disertai dengan observasi langsung terhadap perangkat prototipe yang telah dirancang. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsinya. Adapun tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian dirinci sebagai berikut.

1. Tahap Penelitian

Langkah-langkah yang ditempuh dalam proses perancangan prototipe Smart Panel Surya berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan NodeMCU melibatkan serangkaian tahapan terstruktur yang dirancang untuk memastikan keterpaduan antara sistem perangkat keras dan perangkat lunak. Proses ini diawali dengan analisis kebutuhan sistem secara menyeluruh, dilanjutkan dengan penyusunan arsitektur sistem yang

mencakup rancangan integrasi modul-modul pendukung, serta skema komunikasi data berbasis jaringan nirkabel.:

a. Persiapan Umum

Pada tahap persiapan umum dalam perancangan prototipe *smart Panel Surya* berbasis IoT dengan fitur *AUTO-PARK* dan *SOLAR SHIELD* menggunakan NodeMCU, dilakukan beberapa langkah awal seperti penyusunan laporan, pendataan komponen yang dibutuhkan, serta evaluasi terhadap kelayakan dan kompatibilitas alat. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa proses perakitan dan pengembangan sistem dapat berjalan secara terstruktur dan optimal.

b. Pembuatan Alat

Proses pembuatan prototipe dilakukan melalui sejumlah tahapan sistematis yang diawali dengan pengumpulan serta validasi elemen-elemen yang mendukung integrasi sistem secara keseluruhan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh bagian yang diperlukan dalam rancangan telah terpenuhi dan sesuai dengan kebutuhan fungsional sistem. Selain itu, dilakukan pula penyesuaian terhadap rancangan awal agar setiap komponen dapat saling terhubung dan berfungsi optimal dalam satu kesatuan sistem yang utuh.

c. Pengujian Alat

Setelah tahap perakitan prototipe selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah tahap pengujian sistem untuk memastikan bahwa setiap komponen pada *Smart Panel Surya*, termasuk fitur *AUTO-PARK*

dan *SOLAR SHIELD* yang terintegrasi dengan NodeMCU, dapat berfungsi sesuai dengan perancangan dan harapan peneliti.

d. Perancangan Ulang

Tahap perancangan ulang dilakukan sebagai tindak lanjut dari hasil pengujian sistem yang telah dilaksanakan. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk melakukan penyempurnaan baik dari segi desain maupun kinerja sistem, sehingga prototipe *Smart Panel Surya* dengan fitur *AUTO-PARK* dan *SOLAR SHIELD* dapat berfungsi lebih optimal dibandingkan versi sebelumnya. Namun, apabila pada tahap pengujian seluruh fungsi telah berjalan sesuai dengan harapan, maka tahapan ini dapat dilewati.

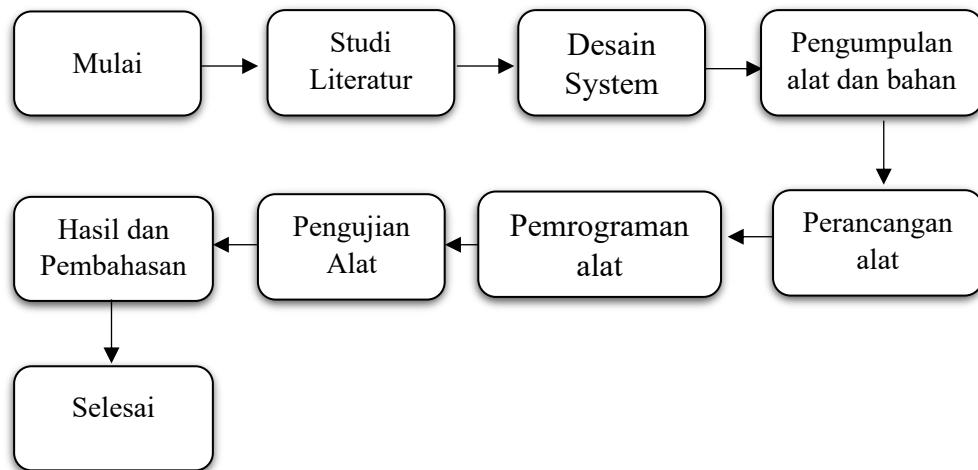
e. Evaluasi

Evaluasi dilakukan dengan tujuan untuk meninjau hasil dari proses pengujian prototipe, guna mengidentifikasi kekurangan yang masih terdapat pada sistem serta menentukan langkah-langkah pengembangan dan penyempurnaan selanjutnya. Evaluasi ini dilaksanakan melalui diskusi bersama tim pelaksana dan dosen pembimbing, agar memperoleh masukan yang konstruktif terhadap kinerja *Smart Panel Surya* dengan fitur *AUTO-PARK* dan *SOLAR SHIELD*.

2. Tahap Perancangan

Dalam merancang prototipe *Smart Panel Surya* ini, diperlukan beberapa tahapan awal sebelum proses perakitan dimulai, seperti analisis kebutuhan sistem serta perancangan desain perangkat. Langkah-langkah ini dilakukan untuk memastikan seluruh data, komponen, dan material yang

dibutuhkan telah tersedia, sehingga dapat meminimalkan hambatan yang mungkin muncul selama proses pengembangan berlangsung.



Gambar 3.1 Tahap Perencanaaan

Tahapan perancangan diawali dengan studi literatur, di mana peneliti menggali berbagai referensi guna memperoleh pemahaman mendalam terkait konsep dan teori sistem panel surya cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT). Selanjutnya, dilakukan proses perancangan sistem yang meliputi penyusunan diagram rangkaian serta pemilihan komponen yang mendukung implementasi fitur *AUTO-PARK* dan *SOLAR SHIELD*. Tahap berikutnya adalah pengumpulan alat dan bahan, baik berupa perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*), yang dibutuhkan dalam pembuatan prototipe secara menyeluruh.

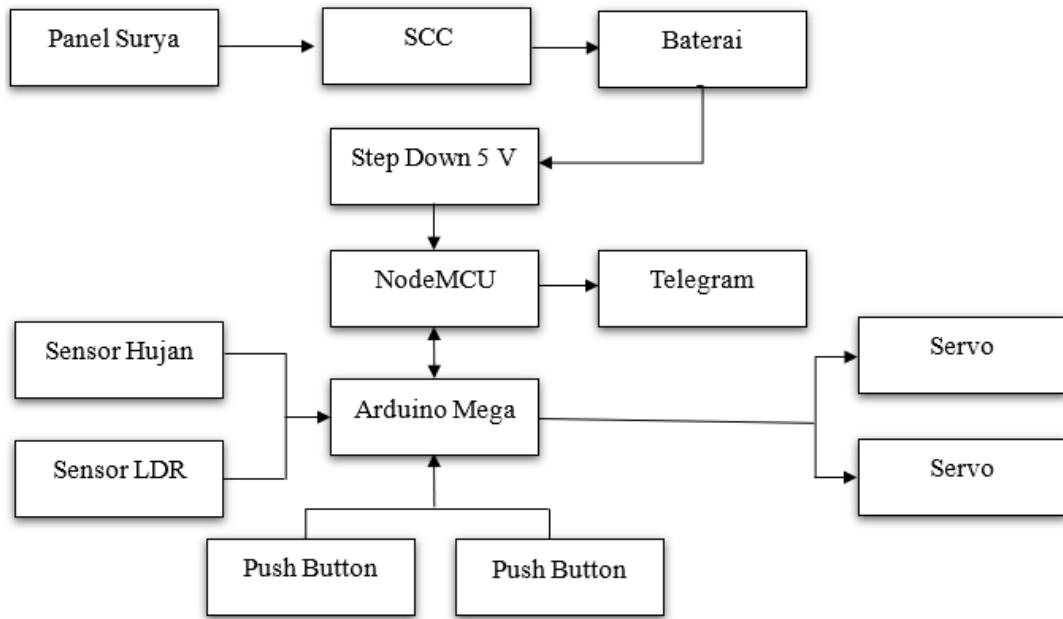
Tahap desain alat mencakup proses pembuatan dan perakitan komponen perangkat keras berdasarkan rancangan yang telah disusun sebelumnya. Pada tahap pengembangan perangkat lunak, peneliti melakukan integrasi antara NodeMCU dan aplikasi berbasis internet, sehingga sistem

dapat dikendalikan serta dimonitor melalui perangkat mobile. Setelah sistem prototipe diaktifkan, dilakukan proses evaluasi dan analisis kinerja melalui tahapan pengujian dan pembahasan terhadap respons dan efektivitas sistem dalam menjalankan fitur *AUTO-PARK* dan *SOLAR SHIELD*.

D. Metode Pengumpulan Data

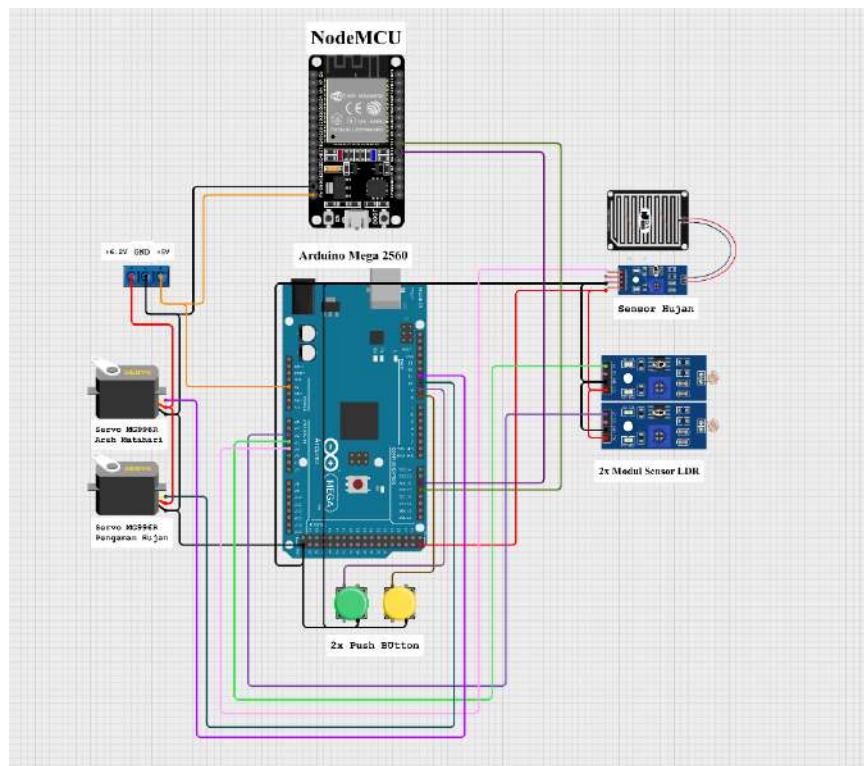
Metode pengumpulan data yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan observasi, yakni melalui pengamatan langsung terhadap kinerja prototipe *smart* panel surya berbasis IoT. Proses observasi mencakup pemantauan secara sistematis terhadap fungsi sensor intensitas cahaya, suhu, dan kecepatan angin, serta bagaimana sistem merespons perubahan kondisi lingkungan. Fitur *SOLAR SHIELD* diamati saat suhu atau intensitas cahaya melampaui ambang batas yang ditentukan, di mana pelindung otomatis akan diaktifkan untuk melindungi permukaan panel. Sementara itu, fitur *AUTO-PARK* diuji saat terjadi cuaca ekstrem, yang memicu sistem untuk memindahkan posisi panel ke posisi rebah guna mengurangi risiko kerusakan. Seluruh proses kerja sistem didokumentasikan melalui pencatatan data sensor, perekaman visual, serta analisis terhadap hasil pengujian guna mengevaluasi akurasi respons sistem dan efektivitas fungsional perangkat yang telah dirancang.

E. Blok Diagram

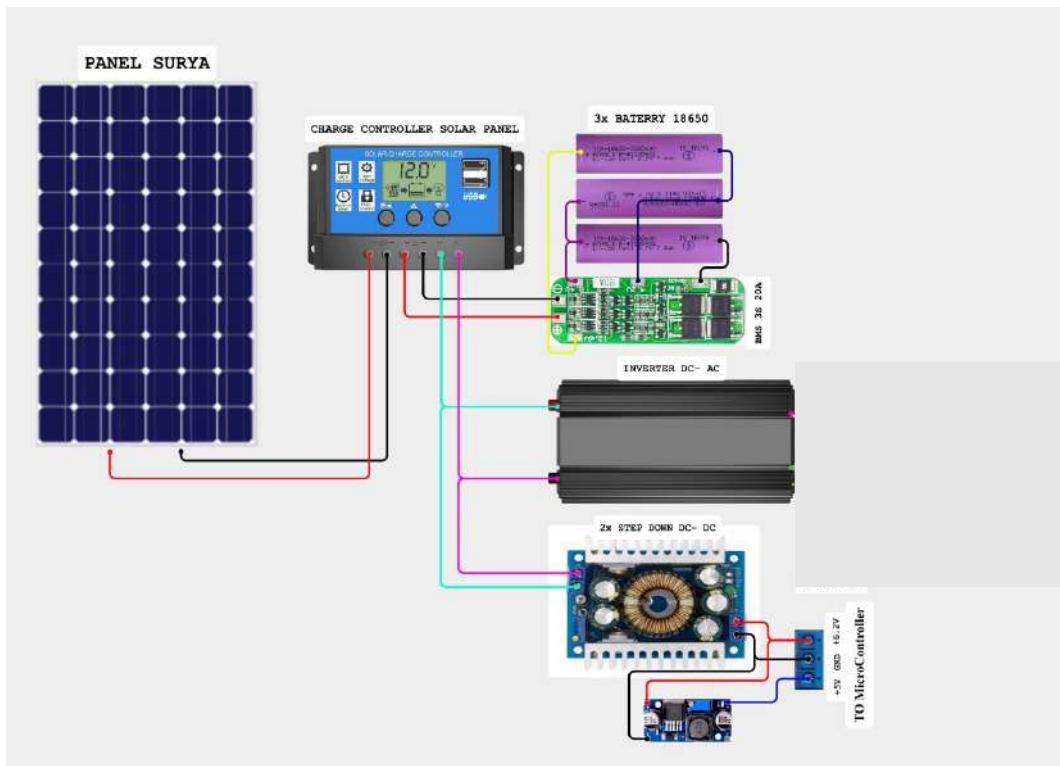


Gambar 3.2 Blok Diagram system *smart* panel surya

(Sumber: Peneliti)



Gambar 3.3 Rangkaian Komponen
(Sumber: Peneliti)



Gambar 3.4 Rangkaian Alat
(Sumber : Peneliti)

1. Telegram berfungsi sebagai antarmuka komunikasi antara pengguna dan sistem berbasis mikrokontroler. Dalam konteks sistem ini, Telegram digunakan untuk menerima notifikasi otomatis dari NodeMCU ESP32 seperti status cuaca (misalnya hujan), status pergerakan panel surya, serta pemantauan daya listrik. Pengguna juga dapat memberikan perintah tertentu melalui bot Telegram untuk mengontrol sistem dari jarak jauh, menjadikan Telegram sebagai komponen utama dalam aspek *Internet of Things* (IoT) pada proyek ini.
2. NodeMCU ESP32 merupakan modul mikrokontroler dengan kemampuan koneksi Wi-Fi dan Bluetooth yang digunakan untuk menjembatani komunikasi antara Arduino Mega dan Telegram. NodeMCU berperan sebagai

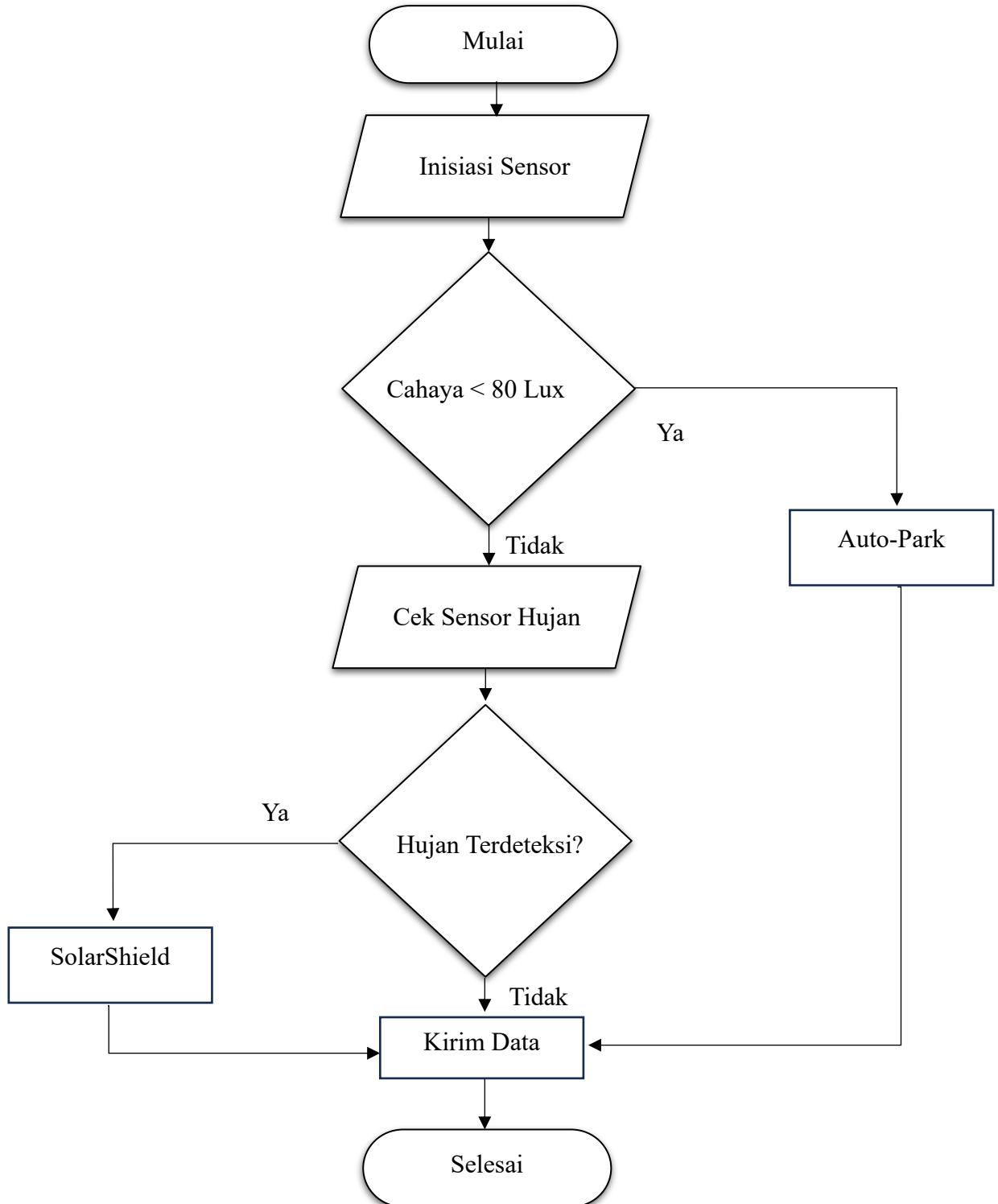
penghubung IoT yang mengirimkan data sensor atau status sistem ke Telegram, serta menerima perintah dari pengguna melalui jaringan internet. Dengan kata lain, ESP32 bertindak sebagai gateway data ke cloud, mendukung komunikasi nirkabel dalam sistem monitoring dan kontrol otomatis ini.

3. Arduino Mega adalah otak utama dari keseluruhan sistem yang bertugas memproses dan mengontrol semua komponen hardware secara langsung. Mikrokontroler ini memiliki banyak pin input dan output digital/analog, memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator. Arduino Mega membaca data dari sensor hujan, sensor cahaya (LDR), serta mengatur gerakan servo berdasarkan data tersebut. Selain itu, Arduino Mega juga menerima input manual dari push button dan dapat mengirim data ke NodeMCU untuk diteruskan ke Telegram.
4. Sensor hujan berfungsi untuk mendeteksi keberadaan air atau kelembaban di permukaan sensor sebagai indikasi adanya hujan. Ketika sensor ini mendeteksi air hujan, Arduino Mega akan merespons dengan mengaktifkan sistem pelindung panel surya (seperti menutup pelindung melalui servo), serta mengirimkan notifikasi kepada pengguna melalui Telegram. Sensor ini memainkan peran penting dalam sistem proteksi otomatis terhadap perangkat panel surya dari kerusakan akibat hujan.
5. Sensor LDR digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari dari berbagai arah. Beberapa LDR biasanya diletakkan di sisi kiri, kanan, atas, dan bawah dari panel surya. Arduino Mega membaca perbedaan intensitas cahaya

dari sensor-sensor ini dan menggerakkan servo untuk memposisikan panel ke arah sumber cahaya paling kuat. Dengan demikian, panel surya dapat menyerap energi secara optimal sepanjang hari melalui mekanisme solar tracking.

6. Push button dalam sistem ini digunakan sebagai kontrol manual. Terdapat dua push button yang masing-masing terhubung ke Arduino Mega. Tombol pertama digunakan untuk mengontrol pergerakan servo pertama secara manual (misalnya untuk membuka atau mengatur posisi panel), sedangkan tombol kedua berfungsi untuk mengatur servo kedua (misalnya untuk menutup pelindung atau mengaktifkan mode manual tertentu). Push button ini berfungsi sebagai alternatif ketika sistem otomatis tidak digunakan atau dalam keadaan darurat.
7. Sistem ini menggunakan dua buah motor servo yang berfungsi sebagai aktuator. Servo pertama digunakan untuk mengatur arah panel surya secara barat dan timur sesuai dengan intensitas cahaya yang dideteksi oleh sensor LDR. Ini mendukung mekanisme solar tracker satu atau dua sumbu. Servo kedua digunakan untuk menggerakkan sistem pelindung panel surya, terutama ketika sensor hujan mendeteksi air.

F. Mekanisme Kerja Alat



Gambar 3.5 Flowchart Mekanisme Kerja Alat

Berdasarkan diagram alur yang lampirkan, proses kerja sistem dimulai dari tahap inisiasi sensor, di mana NodeMCU mengaktifkan dan menyiapkan sensor cahaya serta sensor hujan untuk membaca kondisi lingkungan. Selanjutnya, sistem memeriksa intensitas cahaya dan membandingkannya dengan nilai 80 Lux yang telah ditentukan. Jika intensitas cahaya lebih rendah dari 80 Lux, sistem langsung mengaktifkan mode *Auto-Park* untuk memposisikan panel surya pada posisi aman. Namun, jika intensitas cahaya melebihi 80 Lux, sistem melanjutkan ke tahap pemeriksaan sensor hujan.

Pada tahap ini, jika hujan terdeteksi, sistem mengaktifkan *Solar Shield* sebagai pelindung fisik panel surya dari air hujan. Setelah pelindung aktif, sistem kembali ke kondisi siap untuk pembacaan sensor berikutnya. Apabila hujan tidak terdeteksi, proses langsung menuju tahap selesai dan menunggu siklus pembacaan berikutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancangan Alat

Rancang bangun prototipe Smart Panel Surya berbasis IoT dengan fitur *Auto-Park* dan *Solar Shield* menggunakan NodeMCU ESP8266 telah direalisasikan dengan memanfaatkan komponen utama seperti dua servo MG996R, NodeMCU ESP8266, Arduino mega, Solar Charge Controller, step down step up, sensor hujan, dan sensor LDR.

B. Pengujian Sistem

Pengujian prototipe *Smart Panel Surya* dilakukan melalui beberapa skenario waktu serta kondisi lingkungan. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai urutan logika yang telah deprogram yaitu:

Sensor cahaya mendeteksi intensitas matahari → servo utama bergerak mengikuti arah matahari (tracking) → ketika sensor hujan mendeteksi air, sistem otomatis mengaktifkan servo pelindung untuk menurunkan panel (fitur *Auto-Park/Solar Shield*) → setelah hujan berhenti, servo pelindung mengembalikan panel ke posisi normal → sistem melanjutkan tracking mengikuti pergerakan matahari.

Tabel 4.1 Pengujian Sistem

No	Skenario Pengujian	Kondisi Awal	Langkah Sistem	Hasil Pengujian	Status
1	Siang cerah	$LDR \geq 80 \text{ Lux}$	Insiasi Sensor → tunggu pembacaan → amati servo tilt & tracking	Servo tilts ke sudut kerja, tracking aktif (Barat)	<input checked="" type="checkbox"/>

2	Soreh	$LDR \leq 80 \text{ Lux}$	Iniasi sensor LDR, amati system	Servo tilts ke sudut kerja, tracking aktif (Timur)	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Hujan mendadak	$LDR \leq 80 \text{ Lux}$	Simulasikan hujan saat tracking	Tracking, Servo tilt ke sudut awal, tracking berhenti	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Hujan berhenti	$LDR \geq 80 \text{ Lux}$	Tunggu histeresis waktu (MODE_DELAY) lalu pantau	Setelah delay, tilt kembali ke kerja;,tracking aktif	<input checked="" type="checkbox"/>

C. Analisis Fungsional

Tabel 4.2 Analisis Fungsional

No	Komponen	Fungsi	Cara kerja	Status Uji
1	Servo Mg996r	Digunakan untuk menggerakkan beban mekanis dengan sudut tertentu	Bergerak sesuai sinyal PWM dari mikrokontroler.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	NodeMCU ESP8266,	Modul WiFi untuk IoT (kirim data/kontrol jarak jauh).	Menghubungkan sensor ke internet lewat WiFi.	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Solar Charge Controller	Mengatur pengisian baterai dari panel surya.	Menstabilkan tegangan/arus, mencegah <i>overcharge & overdischarge</i> .	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Arduino mega	Kontrol utama untuk banyak sensor	Menjalankan program, membaca sensor, mengatur output.	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Sensor hujan,	Deteksi air/hujan untuk proteksi sistem.	Saat kena air, resistansi turun → output berubah.	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Sensor LDR	Deteksi intensitas cahaya matahari.	Hambatan berubah sesuai cahaya → dibaca Arduino Mega.	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Inverter	Mengubah arus DC dari baterai ke AC.	Mengkonversi tegangan DC menjadi AC 220V	<input checked="" type="checkbox"/>

Fungsi masing - masing komponen telah teruji dan bekerja sesuai harapan:

- Arduino Mega: Bertindak sebagai otak sistem, mengontrol dan memproses data dari sensor, lalu mengatur servo.
- NodeMCU ESP8266: Berfungsi sebagai modul komunikasi IoT, mengirimkan data hasil monitoring ke internet/Telegram dan menerima perintah kontrol jarak jauh.
- Servo MG996R : Berfungsi sebagai mekanis, menggerakkan panel surya atau sistem sesuai perintah dari Arduino.
- Sensor Hujan : Berfungsi mendeteksi adanya air/hujan pada permukaan, untuk mengaktifkan proteksi sistem (misalnya menurunkan panel).
- Sensor LDR: Berfungsi mendeteksi intensitas cahaya matahari untuk menentukan posisi terbaik panel surya.
- *Solar Charge Controller (SCC)*: Berfungsi mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai agar pengisian aman dan efisien, serta melindungi baterai dari overcharge maupun overdischarge.
- Inverter: Berfungsi mengonversi arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) standar rumah tangga (220V, 50Hz di Indonesia).

Alat ini berfungsi sebagai sistem pengendali dan monitoring panel surya berbasis IoT. Sistem mampu menggerakkan panel secara otomatis mengikuti arah matahari untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi listrik. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan proteksi cuaca yang akan menurunkan panel ketika hujan untuk mencegah kerusakan

D. Hasil yang Ditemukan dalam Perancangan Alat

Tabel 4.3 Hasil yang ditemukan

NO	Aspek	Hasil yang ditemukan
1	Perancangan Sistem	Sistem berhasil dirancang dengan mengintegrasikan Arduino Mega, NodeMCU ESP8266, sensor hujan, sensor LDR, servo MG996R, inverter dan Solar Charge Controller sehingga membentuk satu kesatuan alat yang berfungsi baik.
2	Mekanisme Kerja	Panel surya bergerak mengikuti arah cahaya matahari, turun saat hujan terdeteksi (<i>Auto-Park</i> dan <i>Solar Shield</i>)
3	Pengujian Sistem	Hasil pengujian menunjukkan semua komponen bekerja sesuai fungsi, panel bergerak akurat, proteksi hujan aktif, pengukuran listrik stabil, serta data dapat dikirim ke Telegram secara real-time.
4	Analisis Fungsional	Setiap komponen saling terhubung dan berfungsi sesuai rancangan, mendukung kinerja sistem secara optimal.
5	Efektivitas	Sistem terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya, melindungi panel dari kerusakan cuaca, serta mempermudah monitoring jarak jauh.
6	Kelebihan	Memiliki fitur otomatisasi penuh, proteksi cuaca, monitoring real-time berbasis IoT, serta mendukung efisiensi energi.
7	Kekurangan	Masih bergantung pada kestabilan jaringan internet untuk pengiriman data, serta komponen servo berpotensi aus jika bekerja dalam jangka Panjang & belum menggunakan sensor anemometer.
8	Kesimpulan	Sistem secara keseluruhan berfungsi dengan baik, mendukung optimalisasi energi surya, dan layak dikembangkan lebih lanjut.

E. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sistem yang dirancang menunjukkan kinerja yang sesuai dengan tujuan perancangan. Perancangan

sistem yang dibuat sudah memperlihatkan integrasi yang cukup baik antara perangkat keras dan perangkat lunak. Arduino Mega diposisikan sebagai pengendali utama karena kemampuannya menangani banyak input dan output sekaligus, sementara NodeMCU ESP8266 difungsikan sebagai modul komunikasi yang lebih ringan untuk mengirimkan data ke platform monitoring. Keduanya saling melengkapi, di mana Arduino memastikan kontrol tetap berjalan meski tanpa jaringan, dan NodeMCU menambah nilai fungsional berupa pemantauan jarak jauh. Perancangan ini juga memperhatikan aspek keamanan kelistrikan melalui penggunaan *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur arus masuk ke baterai serta pemisahan jalur daya DC dan AC yang dikonversi melalui inverter. Dengan begitu, sistem tidak hanya berfokus pada otomasi, tetapi juga pada ketahanan komponen dan keamanan pengguna.

Mekanisme kerja yang teruji menunjukkan keterhubungan antar komponen secara nyata. Sensor LDR mampu membaca intensitas cahaya dan memicu Arduino untuk menggerakkan servo MG996R, sehingga panel surya selalu berada pada posisi optimal menerima cahaya. Saat hujan terdeteksi oleh sensor hujan, sistem segera mengalihkan prioritas ke proteksi dengan memposisikan panel ke arah aman. sementara SCC memastikan baterai tidak mengalami overcharge. Energi yang tersimpan di baterai dapat langsung digunakan untuk beban AC berkat inverter. Keseluruhan mekanisme ini berjalan berlapis, di mana setiap komponen bekerja sesuai fungsinya dan saling mendukung sehingga kontinuitas sistem tetap terjaga.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa integrasi komponen berjalan sesuai harapan. Servo bergerak presisi mengikuti perintah dari Arduino, sensor hujan memberikan respon cepat saat kondisi lembab. SCC berfungsi baik dengan menjaga tegangan pengisian dalam batas aman, sementara inverter memberikan suplai AC yang stabil untuk beban sederhana. NodeMCU juga berhasil mengirimkan notifikasi ke pengguna, meskipun sempat terjadi keterlambatan ketika koneksi WiFi tidak stabil. Namun, keterlambatan tersebut tidak berdampak besar karena kendali utama tetap dipegang oleh Arduino. Analisis lebih jauh memperlihatkan bahwa sistem ini tidak hanya sekadar bekerja sesuai rancangan, tetapi juga efektif dalam praktiknya. Otomatisasi tracking panel mampu meningkatkan penerimaan energi surya, sementara proteksi hujan melindungi perangkat dari kerusakan akibat cuaca. SCC menjaga umur baterai tetap panjang, dan inverter menjadikan energi yang dihasilkan panel dapat langsung dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Kemampuan monitoring jarak jauh melalui NodeMCU juga memberikan nilai tambah, karena pengguna dapat mengetahui kondisi sistem tanpa harus berada di lokasi.

Namun, hasil temuan juga mengungkap beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Servo MG996R sebagai penggerak utama rawan aus jika digunakan secara terus-menerus, sehingga akurasi pergerakan panel bisa menurun seiring waktu. Sensor hujan yang digunakan masih bersifat sederhana, sehingga kadang menghasilkan pembacaan palsu ketika terkena percikan air atau kelembaban tinggi. Selain itu, inverter yang dipakai belum sepenuhnya efisien, terutama untuk beban sensitif yang memerlukan gelombang sinus murni. Secara

keseluruhan, sistem ini terbukti efektif dan dapat diandalkan. Kelemahan yang muncul masih dalam batas wajar dan bisa diperbaiki dengan peningkatan kualitas komponen, penggunaan sensor yang lebih presisi, atau penggantian inverter dengan tipe pure sine wave. Dengan hasil yang diperoleh, sistem tidak hanya mampu bekerja secara otomatis, tetapi juga efisien, aman, dan praktis digunakan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Prototipe smart panel surya berbasis IoT dengan fitur *Auto-Park*, dan *Solar Shiled* berhasil dirancang serta diuji dengan baik. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa pada kondisi siang cerah ($LDR \geq 80$ Lux), servo miring ke sudut kerja dan tracking aktif ke arah barat, pada kondisi sore ($LDR \leq 80$ Lux), servo miring ke sudut kerja dengan tracking aktif ke arah timur, pada kondisi hujan mendadak ($LDR \leq 80$ Lux), tracking berhenti dan servo kembali ke posisi awal, sedangkan ketika hujan berhenti ($LDR \geq 80$ Lux), setelah melewati jeda waktu (mode delay), servo kembali ke posisi kerja dan tracking aktif kembali.

B. Saran

Dengan merujuk pada hasil penelitian dan sejumlah keterbatasan yang muncul dalam penerapan sistem, peneliti mengajukan beberapa rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya:

1. Sistem smart panel surya dapat dikembangkan dengan kapasitas lebih besar agar mampu memenuhi kebutuhan energi pada skala rumah tangga maupun fasilitas umum. Dengan begitu, prototipe tidak hanya terbatas untuk penggunaan kecil, tetapi juga dapat diaplikasikan pada kebutuhan energi yang lebih tinggi.
2. Integrasi IoT dapat diperluas dengan mengembangkan aplikasi berbasis web atau mobile yang menampilkan data pemantauan energi secara real-time.
3. Sistem pelacak matahari dapat ditingkatkan menjadi dual axis 360° .

4. Melakukan pengujian dalam jangka panjang untuk menilai keandalan, efisiensi, serta biaya operasional sistem.
5. Penambahan sensor anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Jika terdeteksi angin kencang, sistem dapat mengatur panel ke posisi aman (Auto-Park) guna mengurangi risiko kerusakan akibat tekanan angin berlebih.
6. Penambahan sensor suhu panel berfungsi memantau temperatur pada permukaan panel surya. Jika suhu terlalu tinggi, sistem dapat mengaktifkan mekanisme perlindungan, misalnya dengan mengubah sudut kemiringan panel untuk mencegah overheating dan menjaga efisiensi konversi energi.

DAFTAR PUSTAKA

Azirudin, T. (2019). Potensi tenaga angin di atas bangunan bertingkat di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 18(1), 23-28.

Antara, M. A. S., & Suteja, I. W. A. (2021). Analisis Arus, Tegangan, Daya, Energi, Dan Biaya Pada Sensor Pzem-004T Berbasis Nodemcu Esp8266. *Patria Artha Technological Journal*, 5(1), 76–84. <https://doi.org/10.33857/patj.v5i1.405>

Fauza, N., Syaflita, D., Ramadini, S. S., Annisa, J., Armala, F., Martinqa, E., Susanti, E. D., & Melannia, V. (2021). Rancang Bangun Prototipe Detektor Hujan Sederhana Berbasis Raindrop Sensor Menggunakan Buzzer Dan Led. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(3), 163–168. <https://doi.org/10.33369/jkf.4.3.163-168>

Gunoto, P., Rahmadi, A., & Susanti, E. (2022). Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v5i2.4555>

Harahap, P. (2020). Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 73–80. <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4420>

Haryanto, Khairurrial, F., Purnamasari, D. N., Ulum, M., & Damayanti, F. (2024). Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet Of Things (IoT). *Cyclotron*, 7(01), 67–70. <https://doi.org/10.30651/cl.v7i01.21175>

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. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p17>

Mahmudi, A., Fahmi, M. F., Dzaky, A., & Musta, H. (2025). *Prototype Booth Peminjaman Kunci Ruang Kelas Prodi Teknik Informatika UN PGRI Kediri*. 4, 624–632.

Nurhayati, N., & Maisura, B. (2021). Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Nyala Lampu dengan Menggunakan Sensor Cahaya Light Dependent Resistor. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5(2), 103. <https://doi.org/10.22373/crc.v5i2.9719>

Prasetyo, M. A., & Wardana, H. K. (2021). Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(2), 163. <https://doi.org/10.24853/resistor.4.2.163-168>

Rachman, B., Suppa, R., & Hakam, A. A. (2025). *Rancang Bangun Smart Lamp Menggunakan Nodemcu Berbasis Internet Of Things (Iot)*. 13(1).

Rauf, R., Ritnawati, Rachim, F., Thamrin Dahri, A., Andre, H., A. M. Napitulu, R., Aminur, Corio, D., & Siagian, P. (2023). *Matahari sebagai energi masa depan Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rosnita*.

Santoso, A., Dj, D., & Nurdiana, D. (2021). Rancang Bangun System Pintu Otomatis Menggunakan Keypad dan RFID Berbasis Arduino Mega 2560. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 02(1), 5–13.

Satria, B. (2022). IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266. *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, 1(3), 136–144. <https://doi.org/10.56211/sudo.v1i3.95>

Syahfitri, A. (2025). Internet of Things: Sejarah Teknologi Dan Penerapannya. *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, 14(2), 92–99.

Ulum, Moch. B., Lutfi, Moch., & Faizin, A. (2022). OTOMATISASI POMPA AIR MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 BERBASIS Internetoof THINGS (IOT). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(1), 86–93. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i1.4583>

Waluyo, A. F., & Putra, T. R. (2024). Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (IOT) dan Telegram. *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, 7(1), 142–150. <https://doi.org/10.29408/jit.v7i1.24109>

Wibowo, R., Sarmidi, Zulamata, A., Pradana A. Assagaf, I., Choifin, M., Wiranto, I., Setiawan, D., Triyono, B., Syaiful, M., Kamal, M., Jaya, alex sandria, Wardhana, & Ambarawati, S. (2020). Energi Terbarukan. In *Universitas Surabaya* (Vol. 53, Issue 9).

Widiatmoko, D., Setiawibawa, R., Al-farizi, R. M., Syafaat, M., & Prawira, E. (2023). Implementasi Sensor LDR Pada Prototipe Sistem Tracking Dual Axis Untuk Deteksi Arah Sinar Matahari Pada Sel Surya. *ASPIRASI : Publikasi Hasil Pengabdian Dan Kegiatan Masyarakat*, 1(5), 132–140. <https://doi.org/10.61132/aspirasi.v1i5.407>

Yufrida Alfiana, A., Putri Rahayu, L., & Fajri Syahbana, D. (2021). Implementasi Kontrol Torsi Motor Servo Menggunakan Metode PI pada Sistem Automatic Pallet Dispenser. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 244–250.

L

A

M

P

I

R

A

N

I

Lampiran 1. Kode Program

```

void safetyCheck() {
    // Emergency stop jika kedua limit switch aktif
    if (systemState.limitTop && systemState.limitBottom) {
        emergencyStop();
        sendTelegramRequest("⚠ KEDUA LIMIT SWITCH AKTIF - SISTEM
ERROR");
        return;
    }

    // Current overload protection
    if (powerData.current > 2.5) {
        emergencyStop();
        sendTelegramRequest("⚠ OVERLOAD! Current: " +
String(powerData.current) + "A");
        return;
    }

    // Block movement during rain
    if (systemState.isRaining && systemState.manualOverride) {
        elevationServo.write(SERVO_STOP);
        systemState.manualOverride = false;
    }
}

/**
 * Mencetak status sistem ke serial monitor
 */
void printSystemStatus() {
    Serial.println(F("\n==== SMART SOLAR TRACKER STATUS ===="));
}

```

```

Serial.print(F("LDR Timur: ")); Serial.println(systemState.ldrEast);
Serial.print(F("LDR Barat: ")); Serial.println(systemState.ldrWest);
Serial.print(F("Sensor Hujan: ")); Serial.println(systemState.isRaining ?
"HUJAN" : "CERAH");
Serial.print(F("Limit Atas: ")); Serial.println(systemState.limitTop ?
"TERAKTIVASI" : "NORMAL");
Serial.print(F("Limit Bawah: ")); Serial.println(systemState.limitBottom ?
"TERAKTIVASI" : "NORMAL");
Serial.print(F("Boleh Naik: ")); Serial.println(systemState.canMoveUp ? "YA" :
"TIDAK");
Serial.print(F("Boleh Turun: ")); Serial.println(systemState.canMoveDown ?
"YA" : "TIDAK");
Serial.print(F("Azimuth: ")); Serial.print(systemState.azimuthAngle);
Serial.println(F("°"));
Serial.print(F("Target Azimuth: ")); Serial.print(systemState.targetAzimuth);
Serial.println(F("°"));
Serial.print(F("Elevasi: ")); Serial.print(systemState.elevationAngle);
Serial.println(F("°"));
Serial.print(F("Mode: ")); Serial.println(systemState.autoTracking ?
"OTOMATIS" : "MANUAL");
Serial.print(F("Servo Moving: ")); Serial.println(systemState.servoMoving ?
"YES" : "NO");
Serial.print(F("Tegangan: ")); Serial.print(powerData.voltage); Serial.println(F(
"V"));
Serial.print(F("Arus: ")); Serial.print(powerData.current); Serial.println(F(" A"));
Serial.print(F("Daya: ")); Serial.print(powerData.power); Serial.println(F(" W"));
Serial.print(F("Energi: ")); Serial.print(powerData.energy); Serial.println(F(
"kWh"));
Serial.println(F("====="));
}

```

L

A

M

P

I

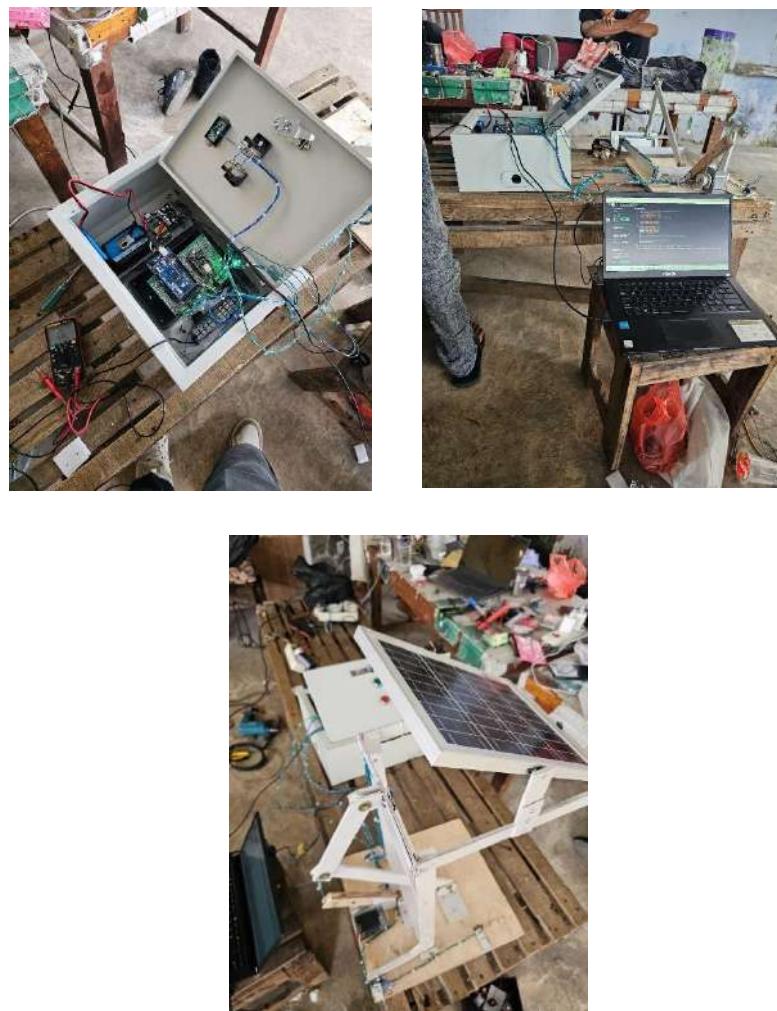
R

A

N

II

Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Alat



Dokumentasi Pembuatan Alat

(Sumber: Peneliti)

L

A

M

P

I

R

A

N

III

Lampiran 3. Data Sheet Komponen

1. Arduino Mega



Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V
8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash

DATASHEET

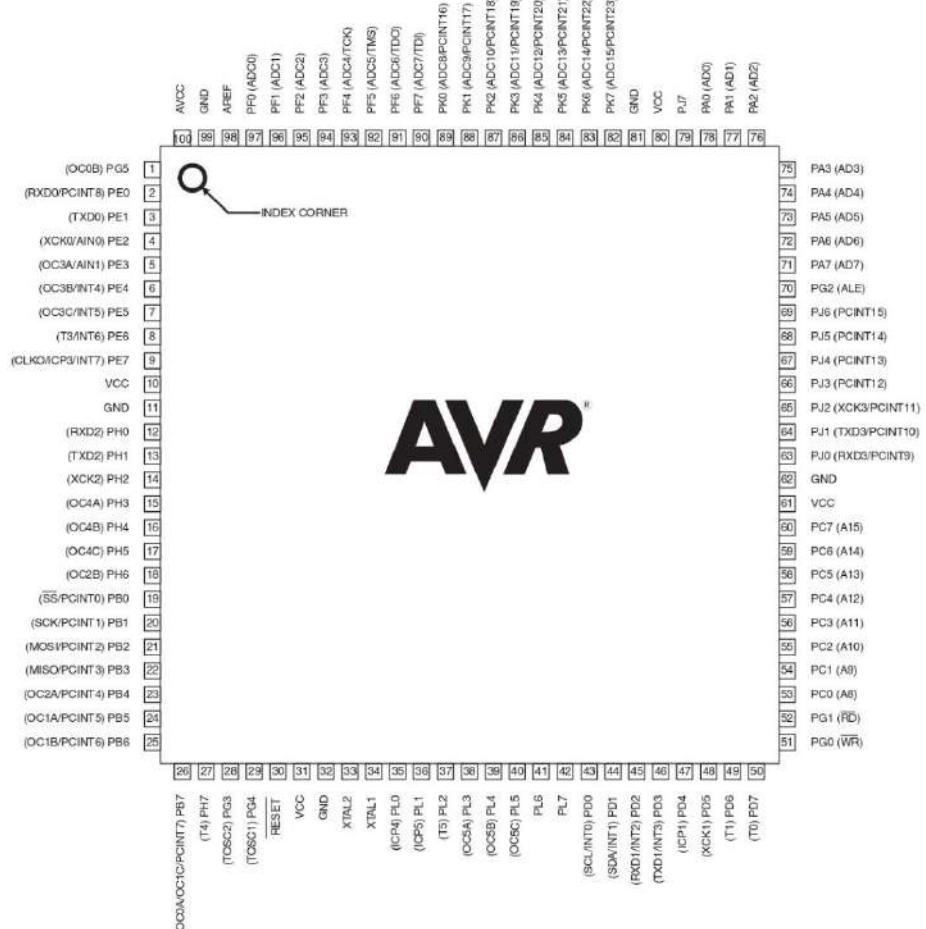
Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-BIT Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 4Kbytes EEPROM
 - 8Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
 - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE® std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 54/88 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
 - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
 - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
 - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
 - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
 - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega2560V/ATmega2561V:
 - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
 - ATmega2560/ATmega2561:
 - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V

2549Q-AVR-02/2014

1. Pin Configurations

Figure 1-1. TQFP-pinout ATmega640/1280/2560

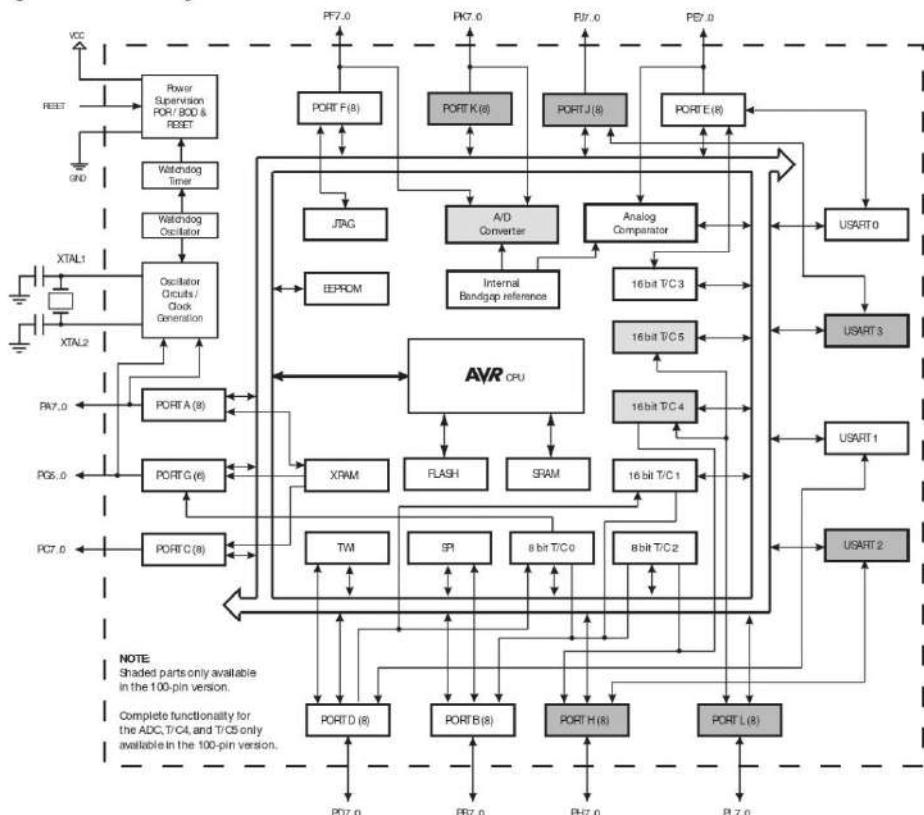


2. Overview

The ATmega640/1280/1281/2560/2561 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega640/1280/1281/2560/2561 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The Atmel® AVR® core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

2.2 Comparison Between ATmega1281/2561 and ATmega640/1280/2560

Each device in the ATmega640/1280/1281/2560/2561 family differs only in memory size and number of pins. Table 2-1 summarizes the different configurations for the six devices.

Table 2-1. Configuration Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	General Purpose I/O pins	16 bits resolution PWM channels	Serial USARTs	ADC Channels
ATmega640	64KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1280	128KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1281	128KB	4KB	8KB	54	6	2	8
ATmega2560	256KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega2561	256KB	4KB	8KB	54	6	2	8

2.3 Pin Descriptions

2.3.1 VCC

Digital supply voltage.

2.3.2 GND

Ground.

2.3.3 Port A (PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 75.

2.3.4 Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B has better driving capabilities than the other ports.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 76.

2.3.5 Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port C also serves the functions of special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 79.

2.3.6 Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 80.

2.3.7 Port E (PE7..PE0)

Port E is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 82.

2.3.8 Port F (PF7..PF0)

Port F serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port F also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port F output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port F pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port F pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PF7(TDI), PF5(TMS), and PF4(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port F also serves the functions of the JTAG interface.

2.3.9 Port G (PG5..PG0)

Port G is a 6-bit I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port G output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port G pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port G pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port G also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on page 86.

2.3.10 Port H (PH7..PH0)

Port H is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port H output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port H pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port H pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port H also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 88](#).

2.3.11 Port J (PJ7..PJ0)

Port J is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port J output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port J pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port J pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port J also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 90](#).

2.3.12 Port K (PK7..PK0)

Port K serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port K is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port K output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port K pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port K pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port K also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 92](#).

2.3.13 Port L (PL7..PL0)

Port L is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port L output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port L pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port L pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port L also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 94](#).

2.3.14 RESET

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in "System and Reset Characteristics" on [page 360](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

2.3.15 XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

2.3.16 XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

2.3.17 AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port F and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.

2.3.18 AREF

This is the analog reference pin for the A/D Converter.

2. ESP8266

ESP8266 Technical Reference



Version 1.3
Copyright © 2017

About This Guide

This document provides introduction to the interfaces integrated on ESP8266. Functional overview, parameter configuration, function description, application demos and other information is included.

The document is structured as below.

Chapter	Title	Subject
Chapter 1	Overview	Overall introduction to the interfaces.
Chapter 2	GPIO	Description of GPIO functions, registers and parameter configuration.
Chapter 3	SPI Compatibility Mode User Guide	Description of functions, DEMO solution, ESP8266 software instruction and STM32 software solution.
Chapter 4	SPI Communication User Guide	Description of SPI functions, master/slave protocol format and API functions.
Chapter 5	SPI Overlay & Display Application Guide	Description of SPI functions, hardware connection of SPI overlap mode, API description and display screen console program demo.
Chapter 6	SPI Wi-Fi Passthrough 1- Interrupt Mode	Description of SPI functions, SPI slave protocol format, slave status and line breakage and API functions.
Chapter 7	SPI Wi-Fi Passthrough 2- Interrupt Mode	Description of SPI functions, SPI slave protocol format, data flow control line and API functions.
Chapter 8	HSPI Host Multi-device API	Description of HSPI functions, hardware connection and API functions.
Chapter 9	I2C User Guide	Description of I2C functions, master interface and demo.
Chapter 10	I2S Module Description	Description of I2S functions, system configuration and API functions.
Chapter 11	UART Introduction	Description of UART functions, hardware resources, parameter configuration, interrupt configuration, example of interrupt handler process and abandon serial output during booting.
Chapter 12	PWM Interface	Description of PWM functions PWM, detailed on <code>pwm.h</code> , and custom channels.
Chapter 13	IR Remote Control User Guide	Introduction on infrared transmission, parameter configuration and functions of sample codes.
Chapter 14	Sniffer Introduction	Introduction on Sniffer, application scenarios, phone App and IOT-device firmware.
Appendix	Appendix	GPIO registers, SPI registers, UART registers, Timer registers.

Release Notes

Date	Version	Release notes
2016.05	V1.0	First release.

Date	Version	Release notes
2016.06	V1.1	Added Section 4.5 Interface Description .
2016.08	V1.2	Updated Section 14.1 Sniffer Introduction .
2017.05	V1.3	Updated Section 4.1.2 SPI Features .



1.

Overview

1.1. General Purpose Input/Output Interface (GPIO)

ESP8266EX has 17 GPIO pins which can be assigned to various functions by programming the appropriate registers.

Each GPIO can be configured with internal pull-up or pull-down, or set to high impedance, and when configured as an input, the data are stored in software registers; the input can also be set to edge-trigger or level trigger CPU interrupts. In short, the IO pads are bidirectional, non-inverting and tristate, which includes input and output buffer with tristate control inputs.

These pins can be multiplexed with other functions such as I2C, I2S, UART, PWM, IR Remote Control, etc.

For low power operations, the GPIOs can also be set to hold their state. For instance, when the chip is powered down, all output enable signals can be set to hold low.

Optional hold functionality can be built into the IO if requested. When the IO is not driven by the internal or external circuitry, the hold functionality can be used to hold the state to the last used state. The hold functionality introduces some positive feedback into the pad. Hence, the external driver that drives the pad must be stronger than the positive feedback. The required drive strength is small — in the range of 5 μ A to pull apart the latch.

1.2. Secure Digital Input/Output Interface (SDIO)

ESP8266EX has one Slave SDIO, the definitions of which are described below. 4-bit 25 MHz SDIO v1.1 and 4-bit 50 MHz SDIO v2.0 are supported.

Table 1-1: Pin Definitions of SDIOs

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SDIO_CLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SDIO_DATA0
SDIO_DATA1	23	IO8	SDIO_DATA1
SDIO_DATA_2	18	IO9	SDIO_DATA_2
SDIO_DATA_3	19	IO10	SDIO_DATA_3
SDIO_CMD	20	IO11	SDIO_CMD

1.3. Serial Peripheral Interface (SPI/HSPI)

ESP8266EX has 3 SPIs.

One general Slave/Master SPI



One Slave SDIO/SPI

One general Slave/Master HSPI

Functions of all these pins can be implemented via hardware. The pin definitions are described as below.

1.3.1. General SPI (Master/Slave)

Table 1-2. Pin Definitions of SPIs

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SPICLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SPIQ/MISO
SDIO_DATA1	23	IO8	SPIID/MOSI
SDIO_DATA_2	18	IO9	SPIHD
SDIO_DATA_3	19	IO10	SPIWP
U0TXD	26	IO1	SPICS1
GPIO0	15	IO0	SPICS2

Note:

SPI mode can be implemented via software programming. The clock frequency is 80 MHz at maximum.

1.3.2. HSPI (Slave)

Table 1-3. Pin Definitions of HSPI (Slave)

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	HSPICLK
MTDI	10	IO12	HSPIQ/MISO
MTCK	12	IO13	HSPIID/MOSI
MTDO	13	IO15	HPSICS

1.4. I2C Interface

ESP8266EX has one I2C used to connect with micro-controller and other peripheral equipments such as sensors. The pin definition of I2C is as below.

Table 1-4. Pin Definitions of I2C

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	I2C_SCL
GPIO2	14	IO2	I2C_SDA



Both I2C Master and I2C Slave are supported. I2C interface functionality can be realized via software programming, the clock frequency reaches 100 kHz at a maximum. It should be noted that I2C clock frequency should be higher than the slowest clock frequency of the slave device.

1.5. I2S Interface

ESP8266EX has one I2S data input interface and one I2S data output interface. I2S interfaces are mainly used in applications such as data collection, processing, and transmission of audio data, as well as the input and output of serial data. For example, LED lights (WS2812 series) are supported. The pin definition of I2S is as below. I2S functionality can be enabled via software programming by using multiplexed GPIOs, and linked list DMA is supported.

Table 1-5. Pin Definitions of I2S

I2S Data Input				
Pin Name	Pin Num	IO	Function Name	
MTDI	10	IO12	I2SI_DATA	
MTCK	12	IO13	I2SI_BCK	
MTMS	9	IO14	I2SI_WS	
MTDO	13	IO15	I2SO_BCK	
U0RXD	25	IO3	I2SO_DATA	
GPIO2	14	IO2	I2SO_WS	

1.6. Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

ESP8266EX has two UART interfaces UART0 and UART, the definitions are as below.

Table 1-6. Pin Definitions of UART

Pin Type	Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
UART0	U0RXD	25	IO3	U0RXD
	U0TXD	26	IO1	U0TXD
	MTDO	13	IO15	U0RTS
	MTCK	12	IO13	U0CTS
UART1	GPIO2	14	IO2	U1TXD
	SD_D1	23	IO8	U1RXD

Data transfers to/from UART interfaces can be implemented via hardware. The data transmission speed via UART interfaces reaches 115200 x 40 (4.5 Mbps).

UART0 can be used for communication. It supports fluid control. Since UART1 features only data transmit signal (Tx), it is usually used for printing log.

**Note:**

By default, UART0 outputs some printed information when the device is powered on and booting up. The baud rate of the printed information is relevant to the frequency of the external crystal oscillator. If the frequency of the crystal oscillator is 40 MHz, then the baud rate for printing is 115200; if the frequency of the crystal oscillator is 26 MHz, then the baud rate for printing is 74880. If the printed information exerts any influence on the functionality of the device, it is suggested to block the printing during the power-on period by changing (UOTXD, UORXD) to (MTDO, MTCK).

1.7. Pulse-Width Modulation (PWM)

ESP8266EX has four PWM output interfaces. They can be extended by users themselves. The pin definitions of the PWM interfaces are defined as below.

Table 1-7. Pin Definitions of PWM

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDI	10	IO12	PWM0
MTDO	13	IO15	PWM1
MTMS	9	IO14	PWM2
GPIO4	16	IO4	PWM3

The functionality of PWM interfaces can be implemented via software programming. For example, in the LED smart light demo, the function of PWM is realized by interruption of the timer, the minimum resolution reaches as much as 44 ns. PWM frequency range is adjustable from 1000 μ s to 10000 μ s, i.e., between 100Hz and 1 kHz. When the PWM frequency is 1 kHz, the duty ratio will be 1/22727, and over 14 bit resolution will be achieved at 1 kHz refresh rate.

1.8. IR Remote Control

One Infrared remote control interface is defined as below.

Table 1-8. Pin Definitions of IR Remote Control

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	IR Tx
GPIO5	24	IO5	IR Rx

The functionality of Infrared remote control interface can be implemented via software programming. NEC coding, modulation, and demodulation are used by this interface. The frequency of modulated carrier signal is 38 kHz, while the duty ratio of the square wave is 1/3. The transmission range is around 1m which is determined by two factors: one is the maximum value of rated current, the other is internal current-limiting resistance value in the infrared receiver. The larger the resistance value, the lower the current, so is the power, and vice versa. The transmission angle is between 15° and 30° which is determined by the radiation direction of the infrared receiver.



1.9. Sniffer

ESP8266 can enter promiscuous mode (sniffer). ESP8266 can capture complete IEEE 802.11 packets in the air or it can obtain the length of the packets.



2.

GPIO

2.1. Functional Overview

The ESP8266 has 16 general IOs. Their pin numbers and names are shown in the table below:

Table 2-1. GPIO Pin Definition

GPIO NO.	Pin NO.	Pin name
GPIO0	pin15	GPIO0_U
GPIO1	pin26	U0TXD_U
GPIO2	pin14	GPIO2_U
GPIO3	pin25	U0RXD_U
GPIO4	pin16	GPIO4_U
GPIO5	pin24	GPIO5_U
GPIO6	pin21	SD_CLK_U
GPIO7	pin22	SD_DATA0_U
GPIO8	pin23	SD_DATA1_U
GPIO9	pin18	SD_DATA2_U
GPIO10	pin19	SD_DATA3_U
GPIO11	pin20	SD_CMD_U
GPIO12	pin10	MTDI_U
GPIO13	pin12	MTCK_U
GPIO14	pin9	MTMS_U
GPIO15	pin13	MTDO_U

In the QUAD mode flash, 6 IO interfaces are used for flash communication.

In the DUAL mode flash, 4 IO interfaces are used for flash communication.

Note:

Users may find the following documents helpful:

- **Appendix 1 - GPIO Registers**
- **List of ESP8266 pin functions: [ESP8266 Pin List.xlsx](http://bbs.espressif.com/viewtopic.php?f=21&t=412&p=1545#p1545):**
<http://bbs.espressif.com/viewtopic.php?f=21&t=412&p=1545#p1545>.



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl. Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp. (0411) 866972, 881593, Fax. (0411) 865588

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Muh. Fausan

Nim : 105821102621

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10%	10 %
2	Bab 2	8%	25 %
3	Bab 3	7%	10 %
4	Bab 4	0%	10 %
5	Bab 5	0%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 29 Agustus 2025

Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,



Jl. Sultan Alauddin no 259 makassar 90222
Telepon (0411)866972,881 593,fax (0411)865 588
Website: www.library.unismuh.ac.id
E-mail : perpustakan@unismuh.ac.id