

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penyusunan proposal tugas akhir ini, penyusun menggunakan beberapa referensi jurnal selain yang telah disebutkan di latar belakang untuk mendukung penyusunan tugas akhir. Jurnal yang disusun oleh Yudharma, Gede. 2025. “Prototipe Sistem Pengaturan Beban Listrik Dengan Nodemcu Esp32 Dan Rtc Berbasis Iot” Efisiensi energi listrik pada gedung bertingkat sering terganggu akibat pemborosan dan tidak adanya monitoring real time. Penelitian ini merancang prototipe sistem pengaturan beban listrik berbasis ESP32, RTC, dan IoT. Sistem mampu mengontrol perangkat secara otomatis sesuai jadwal atau manual melalui Blynk, serta memantau arus secara real time. Sistem juga mendeteksi kondisi beban tidak normal dan menampilkan data melalui dashboard yang dapat diakses secara lokal maupun melalui internet[2].

Luthfy, Nazry, Fadhlun, dkk. 2026. “Implementasi Internet of Thing (IoT) untuk Monitoring dan Kontrol Energi Listrik Rumah Tangga Menggunakan Fuzzy Tsukamoto” Konsumsi listrik rumah tangga meningkat dan kurangnya monitoring real time menyebabkan penggunaan tidak efisien serta berisiko pada instalasi. Penelitian ini mengembangkan sistem IoT untuk monitoring dan kontrol energi listrik jarak jauh menggunakan algoritma Fuzzy Tsukamoto. Sistem menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32 untuk mengukur tegangan, arus, dan daya secara real time[3].

Ediga, Poornima, dkk. 2024. “Smart energy management: real-time prediction and optimization for IoT-enabled smart homes” SHEMS merupakan sistem manajemen energi rumah berbasis IoT dan Machine Learning untuk mengoptimalkan konsumsi listrik. Sistem ini mampu melakukan monitoring, kontrol, dan identifikasi pemborosan energi. Arsitekturnya terdiri dari sensor IoT, gateway untuk pengolahan data, serta sistem manajemen energi berbasis ML. Penggunaan metode Gradient Boosting memungkinkan sistem

menganalisis data, mengenali pola, dan mengambil keputusan optimasi energi secara cerdas[4].

Sajjad, Ali, Intisar, dkk. 2022.” IOT Application for Energy Management in Smart Home” Peningkatan populasi dan industrialisasi menyebabkan konsumsi energi listrik terus meningkat. Sistem distribusi saat ini belum mampu memonitor dan mengontrol aliran daya secara efisien sehingga menimbulkan kerugian. Penelitian ini mengusulkan sistem manajemen energi berbasis IoT untuk memantau dan mengendalikan beban listrik pada bangunan secara lebih cepat dan efisien[5].

Muksin, Pradifta, Andreanata, dkk. 2025. “IoT-Based Remote Electricity Control and Management Monitoring System Using Blynk Application” Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kontrol listrik berbasis IoT untuk manajemen energi rumah tangga secara real time menggunakan ESP32, sensor PZEM-004T, modul relay, dan aplikasi Blynk. Sistem mampu memantau tegangan, arus, daya, dan energi serta mengendalikan beban dari jarak jauh melalui smartphone. Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki respon cepat, koneksi stabil, dan akurasi pengukuran yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan memudahkan pengguna dalam mengontrol konsumsi listrik[6].

2.2 Dasar Teori

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia, konsumsi listrik per kapita Indonesia pada tahun 2023 mencapai 1.285 kWh per kapita, meningkat dari 1.173 kWh per kapita pada tahun 2022. Sektor rumah tangga menjadi kontributor terbesar dengan menyumbang sekitar 42% dari total konsumsi listrik nasional.

Menurut Yasa, Kadek Amerta. (2025) dalam Jurnal Angka, tren peningkatan konsumsi listrik ini menunjukkan kebutuhan mendesak akan sistem pengelolaan energi yang lebih efisien di tingkat rumah tangga, terutama di hunian vertikal seperti apartemen yang penggunaan listriknya cenderung tidak terpantau dengan baik oleh penghuninya. Tanpa sistem pemantauan yang memadai, penghuni seringkali tidak menyadari besarnya energi yang terbuang

akibat perangkat listrik yang dibiarkan menyala pada ruangan yang tidak ditempati[7].

Sistem monitoring dan pengendalian energi listrik merupakan sistem yang digunakan untuk mengukur, mengawasi, dan mengatur penggunaan daya listrik secara real-time dengan memanfaatkan teknologi IoT (Internet of Things) sehingga pengguna dapat memantau dan mengendalikan beban listrik dari jarak jauh melalui perangkat smartphone. Menurut Rohmah et al. (2022) dalam Emitter: Jurnal Teknik Elektro, sistem monitoring dan pengendalian konsumsi listrik rumah tangga berbasis IoT merupakan pendekatan yang efektif untuk mewujudkan konsep rumah pintar karena memungkinkan pengguna memperoleh informasi penggunaan energi secara langsung dan melakukan tindakan pengendalian kapan saja dan dari mana saja[8].

2.3 Parameter Listrik yang Diukur

Sistem monitoring energi listrik mengukur beberapa parameter utama yang saling berkaitan. Pemahaman terhadap parameter-parameter ini beserta hubungan matematis antar variabelnya merupakan landasan penting dalam perancangan sistem ini.

2.3.1 Tegangan (Voltage)

Tegangan listrik merupakan beda potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik yang mendorong muatan listrik mengalir dari titik bertegangan tinggi menuju titik bertegangan rendah. Pada sistem kelistrikan AC seperti jaringan PLN Indonesia, tegangan bersifat sinusoidal dengan nilai nominal 220 V dan frekuensi 50 Hz. Nilai tegangan yang diukur oleh sensor PZEM-004T merupakan nilai tegangan efektif atau Root Mean Square (RMS), yang didefinisikan sebagai:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_{rms} = tegangan efektif (V)

T = periode sinyal AC (s)

$v(t)$ = nilai tegangan sesaat (V)

2.3.2 Arus (Current)

Arus listrik merupakan besaran yang menyatakan laju aliran muatan listrik melalui suatu penghantar per satuan waktu. Sensor PZEM-004T menggunakan Current Transformer (CT) untuk mengukur arus secara non-invasif tanpa memutus jalur konduktor. Nilai arus yang dikembalikan oleh PZEM-004T juga merupakan nilai RMS, yang dirumuskan sebagai:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (2.3)$$

Keterangan:

I_{rms} = arus efektif (A)

T = periode sinyal AC (s)

$i(t)$ = nilai arus sesaat (A)

2.3.3 Daya Listrik

Daya listrik merupakan laju transfer energi listrik per satuan waktu. Dalam sistem arus bolak-balik (AC), terdapat tiga jenis daya yang perlu dibedakan:

A. Daya Aktif (P) daya yang benar-benar dikonsumsi oleh beban dan dikonversi menjadi energi lain seperti cahaya atau panas, dinyatakan dalam satuan Watt (W):

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

B. Daya Reaktif (Q) daya yang tersimpan dan dilepaskan secara bergantian oleh komponen induktif atau kapasitif, dinyatakan dalam satuan VAR:

$$Q = V_{rms} \times I_{rms} \times \sin \varphi \quad (2.5)$$

C. Daya Semu (S) kombinasi vektor dari daya aktif dan daya reaktif, dinyatakan dalam satuan VA:

$$S = V_{rms} \times I_{rms} = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad (2.6)$$

Keterangan:

P = daya aktif (W)

Q = daya reaktif (VAR)

S = daya semu (VA)

φ = sudut fase antara tegangan dan arus ($^\circ$)

$\cos \varphi$ = faktor daya (power factor)

2.3.4 Energi Listrik

Energi listrik merupakan akumulasi daya aktif yang dikonsumsi beban selama selang waktu tertentu. Energi dinyatakan dalam satuan Watt-hour (Wh) atau kilowatt-hour (kWh) dan dirumuskan sebagai:

$$E = P \times t \quad (2.8)$$

Untuk daya yang berubah terhadap waktu, energi dihitung melalui integrasi:

$$E = \int_0^T P(t) dt \quad (2.9)$$

Keterangan:

E = energi listrik (Wh atau kWh)

P = daya aktif (W atau kW)

t = waktu (jam)

T = durasi total pengukuran (jam)

dt = selisih waktu yang sangat kecil

2.3.5 Estimasi Biaya Listrik

Estimasi biaya listrik dihitung berdasarkan energi yang dikonsumsi (dalam kWh) dikalikan dengan tarif dasar listrik PLN yang berlaku. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM, tarif listrik untuk pelanggan rumah tangga golongan R-1/TR dengan daya 1.300 VA ke atas adalah Rp 1.444,70 per kWh (tahun 2024). Rumus estimasi biaya adalah:

$$Biaya (Rp) = E (kWh) \times Tarif \left(\frac{Rp}{kWh} \right) \quad (2.10)$$

Dalam implementasi pada sistem ini, energi yang terbaca dari PZEM-004T dalam satuan kWh langsung dikalikan dengan konstanta tarif tersebut sehingga nilai estimasi biaya dapat ditampilkan secara real-time pada aplikasi Blynk dan dicatat pada Google Sheets.

2.3.6 Persentase Error Pengukuran

Untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor PZEM-004T terhadap nilai referensi dari alat ukur standar (multimeter digital DT830D), digunakan perhitungan persentase error sebagai berikut:

$$Error (\%) = \frac{|x_{ref} - x_{sensor}|}{x_{ref}} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

X_{ref} = nilai referensi dari alat ukur Multimeter

X_{sensor} = nilai yang terbaca oleh sensor

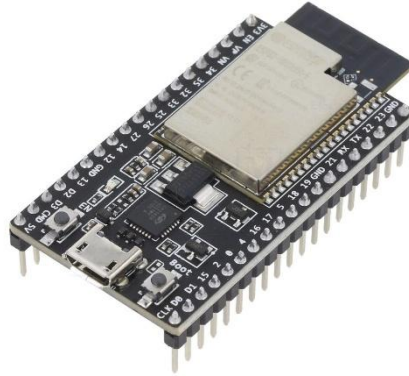
2.4 Perangkat Keras (*Hardware*)

Salah satu komponen dari sebuah komputer yang sifat alatnya bisa dilihat dan diraba secara langsung atau yang berbentuk nyata, yang berfungsi untuk mendukung proses komputerisasi. Perangkat keras (*hardware*) adalah komponen fisik dari komputer atau sistem elektronik yang dapat dilihat dan disentuh secara langsung. Hardware berfungsi untuk menjalankan proses input, pemrosesan, penyimpanan, dan output data pada suatu sistem. Dalam sistem berbasis Internet of Things, hardware terdiri dari mikrokontroler, sensor, relay, dan perangkat pendukung lainnya yang saling terhubung untuk melakukan monitoring dan pengendalian secara otomatis[9].

2.4.1 ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler SoC (System on Chip) terpadu dengan dilengkapi WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai peripheral. ESP32 adalah chip yang terbilang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (General Purpose Input Output). ESP32 merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke WIFI secara langsung. Board ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Sumber daya board bisa diberikan melalui konektor micro USB. ESP32 dipilih daripada ESP8266

karena ESP32 memiliki 18 kanal ADC 12 bit sedangkan ESP8266 hanya memiliki 1 kanal ADC 10 bit[10].



Gambar 2.1 ESP32

Tabel 2.1 Specification ESP32

Kategori	Spesifikasi
Microcontroller	Tensilica 32-bit Single-/Dual-core CPU Xtensa LX6
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage	5-12V
Digital I/O Pins (DIO)	25 (Which is not all pin can used normally, please refer to datasheet)
Analog Input Pins (ADC)	15
Analog Outputs Pins (DAC)	2
Communication	UART, SPI, I2C
Flash Memory	4 MB
SRAM	520 KB
Clock Speed	240 Mhz
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n/e/I Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network, WEP or WPA/WPA2 authentication, or open networks

2.4.2 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan modul yang digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem satu fasa secara real time. Parameter yang dapat

diukur meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Sensor ini banyak digunakan karena memiliki akurasi yang baik dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32[11].

Modul PZEM-004T terdiri atas dua bagian utama, yaitu modul utama yang berfungsi membaca tegangan secara langsung melalui terminal AC, serta sensor Current Transformer (CT) yang berfungsi membaca arus beban secara non-invasif tanpa memutus jalur kabel fasa. Modul ini bekerja menggunakan antarmuka komunikasi UART dengan baud rate 9600, 8 data bit, 1 stop bit, dan tanpa parity, di mana pada lapisan aplikasinya menggunakan protokol Modbus-RTU untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke mikrokontroler.

Pada implementasinya dengan ESP32, koneksi antara PZEM-004T dengan ESP32 cukup menggunakan empat pin, yaitu pin TX modul dihubungkan ke pin GPIO16 (RX2) ESP32, pin RX modul dihubungkan ke pin GPIO17 (TX2) ESP32, serta pin VCC dan GND yang dihubungkan ke sumber tegangan dan ground ESP32, dengan memanfaatkan fitur *hardware serial* tambahan (Serial2) yang dimiliki ESP32 sehingga komunikasi dengan PZEM-004T tidak mengganggu komunikasi serial utama yang digunakan untuk pemrograman maupun debugging. Pada penelitian sejenis, PZEM-004T dipilih karena mampu mengukur tegangan, arus, frekuensi, dan daya pada sistem kelistrikan dengan rentang pengukuran yang mendukung kebutuhan pemantauan, serta memiliki kompatibilitas yang baik dengan mikrokontroler ESP32 untuk proses integrasi sistem. Pada sistem yang dirancang, data hasil pembacaan PZEM-004T berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik diolah oleh ESP32 dan ditampilkan pada

aplikasi Blynk untuk keperluan monitoring serta menjadi salah satu parameter dalam pengendalian beban



Gambar 2. 2 Sensor *PZEM-004T*

Tabel 2.2 Specification PZEM-004T

Kategori	Spesifikasi
Operating Voltage	80 – 260 VAC
Voltage Measurement Range	80 – 260 VAC
Current Measurement Range	Open CT: up to 100 A (Clamp) Closed CT: up to 100 A (Solid Ring)
Maximum Measurable Power	23 kW (100 A @ 230 V)
Energy Measurement Range	0 – 9999 kWh
Frequency	45 – 65 Hz
Power Factor (PF)	0.00 – 1.00
Voltage Resolution	± 0.1 V
Current Resolution	± 0.01 A
Power Resolution	± 0.1 W
Energy Resolution	± 0.001 kWh

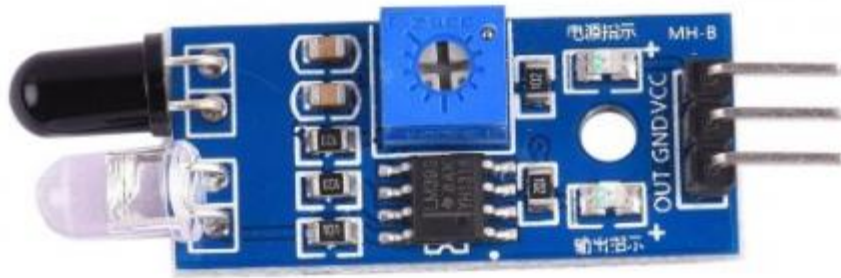
2.4.3 Sensor Infrared (IR)

Sensor Infrared (IR) adalah sensor elektronik yang digunakan untuk mendeteksi gerakan dengan cara menerima radiasi inframerah (panas) yang dipancarkan oleh objek seperti manusia atau hewan di sekitarnya. Sensor ini bersifat pasif karena tidak memancarkan sinyal, melainkan hanya mendeteksi perubahan energi inframerah dari lingkungan. Prinsip kerjanya yaitu ketika

terjadi perubahan intensitas inframerah akibat adanya pergerakan, elemen piroelektrik pada sensor akan menghasilkan sinyal listrik yang kemudian diubah menjadi output digital berupa logika HIGH atau LOW. Sensor infrared banyak digunakan pada sistem keamanan, lampu otomatis, dan berbagai aplikasi deteksi gerak karena efektif dalam mendeteksi keberadaan manusia[12].

Sensor infrared yang digunakan terdiri atas pemancar inframerah (IR LED) dan penerima inframerah (photodiode/phototransistor). Prinsip kerjanya yaitu ketika tidak ada objek di depan sensor, sinar inframerah yang dipancarkan oleh IR LED tidak terpantul kembali ke penerima sehingga keluaran sensor berada pada level tertentu, sedangkan saat ada objek atau manusia yang terdeteksi, sinar inframerah akan terpantul dan diterima oleh photodiode sehingga menghasilkan perubahan sinyal yang kemudian diproses menjadi keluaran digital HIGH atau LOW[12].

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada beberapa penelitian, tegangan kerja sensor infrared adalah sebesar 5 VDC, di mana sensor akan memberikan keluaran logika high atau low yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan relay. Selain itu, hasil pengujian jarak deteksi pada penelitian lain menunjukkan bahwa jarak efektif sensor infrared dalam mendeteksi keberadaan manusia berkisar antara 0 hingga 5 meter, di mana pada jarak lebih dari 5 meter sensor tidak lagi memberikan respon deteksi. Pada penelitian ini, sensor infrared digunakan sebagai input bagi ESP32 untuk mendeteksi keberadaan seseorang pada suatu ruangan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengendalikan kondisi ON dan OFF pada modul relay[12].



Gambar 2.3 Sensor infrared

Tabel 2.3 Specification Sensor Infrared

Kategori	Spesifikasi
Sensor Type	Infrared (IR)
Operating Voltage	3.3 – 5 VDC
Output Voltage	3.3 V TTL
Detection Range	2 – 30 cm (Adjustable)
Detection Angle	35°
Output Signal	Digital High/Low
Interface	3-Pin (VCC, GND, OUT)
Operating Temperature	–10°C to +50°C
Current Consumption	< 20 mA
Indicator	Power LED & Output LED

2.4.4 Modul Relay 4 Channel

Modul relay 4 channel merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk mengontrol beban listrik bertegangan tinggi menggunakan sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler. Modul ini memiliki empat relay yang dapat bekerja secara independen untuk mengendalikan beberapa beban secara terpisah. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang menghubungkan atau memutuskan aliran listrik, sehingga memungkinkan pengendalian perangkat seperti lampu secara aman. Pada sistem ini, modul relay digunakan sebagai

penghubung antara ESP32 dan beban listrik untuk mengatur kondisi ON dan OFF setiap beban secara individual[13].

Secara konstruksi, setiap relay pada modul ini terdiri atas kumparan elektromagnetik , saklar mekanik , serta tiga buah terminal kontak yaitu Common , Normally Open , dan Normally Closed. Pada kondisi normal (relay tidak aktif), terminal COM terhubung dengan terminal NC, sedangkan pada saat kumparan diberikan arus listrik, akan timbul medan elektromagnetik yang menarik armature sehingga terminal COM berpindah dan terhubung dengan terminal NO. Perpindahan kontak inilah yang menyebabkan beban listrik yang terhubung pada terminal tersebut dapat menyala atau padam sesuai dengan sinyal kendali yang diberikan.

Modul relay 4 channel yang digunakan pada penelitian ini bekerja pada tegangan kontrol sebesar 5V dan dilengkapi dengan empat pin input (IN1, IN2, IN3, dan IN4) yang masing-masing terhubung ke pin GPIO pada ESP32. Setiap channel relay pada modul ini mampu menahan beban dengan kapasitas hingga 10A pada tegangan 250VAC maupun 30VDC, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan beban listrik rumah tangga seperti lampu maupun peralatan elektronik lainnya. Selain itu, modul ini juga dilengkapi dengan indikator LED pada setiap channel yang berfungsi untuk menampilkan status kondisi relay, baik dalam keadaan ON maupun OFF, sehingga memudahkan dalam proses pemantauan dan pengujian sistem.



Gambar 2.4 Modul Relay 4 Channel

Tabel 2.4 Specification Modul Relay 4 Channel

Kategori	Spesifikasi
Operating Voltage	5 – 7.5 VDC
Number of Channels	4
Relay Type	Electromagnetic Relay
Isolation Method	Onboard Optocoupler (Photocoupler) Isolation
AC Load Capacity	250 VAC, 10 A
DC Load Capacity	30 VDC, 10 A
Input Logic Level	TTL Compatible
Status Indicator	Relay Output Indicator LED
Interface Type	Digital TTL Interface
Compatible Controllers	Arduino, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, MSP430, and other microcontrollers

2.4.5 PCB Lampu

PCB Lampu merupakan modul lampu LED berbentuk papan rangkaian yang digunakan sebagai sumber penerangan dengan prinsip kerja mengalirkan arus listrik melalui komponen LED sehingga menghasilkan cahaya yang efisien. Dalam penelitian ini, PCB Lampu digunakan sebagai beban listrik pada setiap zona ruangan prototype apartemen dengan variasi daya 5 Watt, 7 Watt, dan 9 Watt yang dipasang pada masing-masing ruangan untuk mensimulasikan perbedaan konsumsi energi listrik antar zona.

Menurut penelitian yang dipublikasikan dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (2025), sistem monitoring berbasis ESP32 dan PZEM-004T yang diuji menggunakan beban lampu LED terbukti mampu membedakan karakteristik beban berdasarkan data daya yang terbaca secara real-time dengan performa yang responsif dan stabil. PCB Lampu dipilih karena karakteristik bebannya bersifat resistif dengan faktor daya mendekati 1

sehingga pengukuran daya aktif oleh PZEM-004T menjadi lebih akurat dan mudah diverifikasi saat dilakukan pengujian sistem berbasis IoT[14].



Gambar 2.5 PCB Lampu

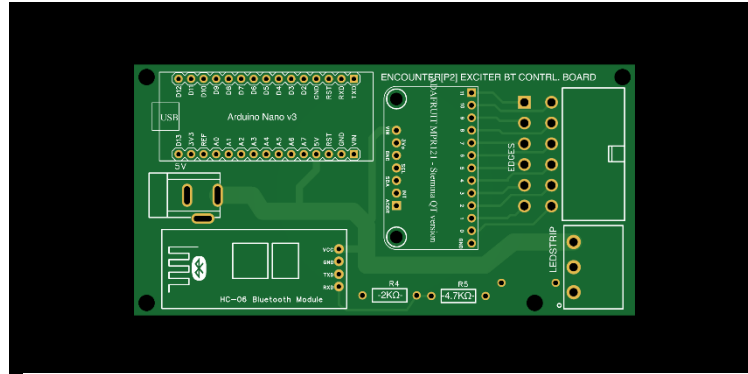
Tabel 2.5 Specification PCB Lampu

Kategori	Spesifikasi
Light Color	Cool Daylight (White)
LED Chip Type	9 V LED Chip
Operating Voltage	165 – 265 VAC
Power Rating	5 – 50 W
Color Temperature	7000 K
PCB Thickness	1.0 – 1.2 mm
Lifetime	12,000 Hours
PCB Diameter	39.6 mm (5 W), 41.7 mm (7 W & 9 W)
Special Feature	Upgraded Eco Super Design with Enhanced Center Hole and PCB Diameter

2.4.6 PCB (Printed Circuit Board)

PCB merupakan papan rangkaian yang digunakan untuk menyusun dan menghubungkan komponen elektronik secara permanen menggunakan jalur konduktor berbahan tembaga. Komponen dipasang dan disolder pada PCB sehingga menghasilkan rangkaian yang lebih kuat, rapi, dan stabil dibandingkan dengan breadboard. PCB umumnya digunakan pada tahap implementasi akhir

karena memiliki keandalan yang tinggi dan cocok untuk sistem yang digunakan secara terus menerus[15].



Gambar 2.6 PCB (Printed Circuit Board)

2.4.7 Power Supply Unit 12V

Power Supply Unit (PSU) 12V merupakan perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC dari sumber listrik PLN menjadi tegangan DC 12V yang stabil untuk menyuplai kebutuhan daya pada rangkaian elektronika. PSU memiliki peranan penting dalam sistem elektronika karena seluruh komponen seperti mikrokontroler, sensor, dan modul relay memerlukan sumber tegangan DC yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Pada sistem berbasis Internet of Things, PSU 12V digunakan sebagai sumber utama daya sebelum tegangan diturunkan kembali menggunakan modul step-down converter sesuai kebutuhan komponen[16].

Power supply adaptor switching 12 V 3 A banyak digunakan pada aplikasi elektronika seperti LED strip, sistem kontrol, dan perangkat berbasis mikrokontroler karena mampu menyediakan arus yang cukup besar dengan efisiensi tinggi. Selain itu, power supply jenis ini umumnya telah dilengkapi dengan sistem proteksi, seperti perlindungan terhadap hubung singkat, kelebihan arus, dan kelebihan tegangan, sehingga meningkatkan keamanan dan keandalan sistem.

Pada sistem yang dirancang, *power supply adaptor switching* 12 V 3 A digunakan sebagai sumber daya utama untuk menyuplai tegangan pada rangkaian elektronik dan perangkat pendukung. Penggunaan power supply ini memastikan seluruh komponen memperoleh suplai daya yang stabil dan sesuai dengan spesifikasi, sehingga sistem dapat beroperasi secara optimal dan andal



Gambar 2.7 *Power Supply Unit 12V*

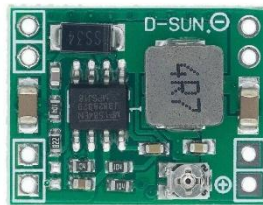
Tabel 2.6 Specification Power Supply Unit 12V

Kategori	Spesifikasi
Module Type	Slim Switching Power Supply
Input Voltage	185 – 240 VAC
Output Voltage	12 VDC
Output Current	12.5 A
Rated Power	150 W
Dimensions	140 mm × 50 mm × 22 mm
Form Factor	Slim Design
Applications	12 VDC Electronic Devices

2.4.8 Modul MP1584

Modul MP1584 merupakan modul *DC-DC step-down converter* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC menjadi tegangan yang lebih rendah dan stabil sesuai kebutuhan sistem elektronik. Modul ini banyak digunakan pada sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki efisiensi tinggi, ukuran kecil, serta mampu menghasilkan tegangan output yang stabil.

Pada penelitian berbasis Internet of Things, MP1584 sering digunakan untuk menyuplai daya ke ESP32, sensor, dan modul lainnya agar dapat bekerja dengan aman dan optimal. Modul MP1584 bekerja dengan metode *switching regulator* sehingga memiliki efisiensi daya lebih baik dibanding regulator linear. Dalam sistem ini, MP1584 digunakan untuk menurunkan tegangan dari power supply 12V DC menjadi 5V atau 3,3V yang dibutuhkan oleh ESP32 dan komponen pendukung lainnya[17].



Gambar 2.8 Modul MP1584

Tabel 2.7 Specification Modul MP1584

Kategori	Spesifikasi
Module Type	DC-DC Buck Converter
Model	MP1584
Input Voltage	4.5 – 28 VDC
Output Voltage	0.8 – 20 VDC (Adjustable)
Output Current	Up to 3 A
Conversion Efficiency	Up to 96%
Switching Frequency	1.5 MHz
Dimensions	22 mm × 17 mm × 4 mm
Protection Features	Overcurrent and Thermal Protection

2.4.9 Papan MDF

Prototype sistem monitoring dan pengendalian beban listrik apartemen dirancang dalam bentuk miniatur berbahan MDF (*Medium Density Fiberboard*) dengan ukuran total papan 80×80 cm yang dipotong dan disusun membentuk struktur miniatur apartemen 4 ruangan. Papan MDF dipotong sedemikian rupa

sehingga membentuk dua bagian utama, yaitu bagian ruangan di sisi atas dan bagian panel kontrol di bagian depan bawah. Bagian ruangan terdiri dari empat ruangan yang disusun dalam formasi 2×2 dan dibatasi oleh sekat-sekat MDF hasil potongan, masing-masing merepresentasikan satu zona hunian apartemen yaitu Ruang 1 (Kamar Mandi/R1), Ruang 2 (Kamar Tidur/R2), Ruang 3 (Ruang Kerja/R3), dan Ruang 4 (Ruang Tamu/R4). Pada setiap ruangan terpasang sensor infrared yang menempel di dinding sekat dan menghadap ke dalam ruangan untuk mendeteksi kehadiran objek atau penghuni, serta dilengkapi jalur kabel yang menghubungkan sensor dan fitting lampu ke panel kontrol.



Gambar 2.9 Papan MDF

Tabel 2.8 Spesifikasi Papan MDF

Kategori	Spesifikasi
Material	MDF (Medium Density Fiberboard)
Ketebalan	5 mm
Ukuran Total	80×80 cm

2.4.10 Stop Kontak 1 Lubang

Stop kontak satu lubang merupakan perangkat kelistrikan yang berfungsi sebagai titik sambungan antara sumber listrik dengan peralatan elektronik melalui steker. Stop kontak jenis ini memiliki satu pasang lubang kontak yang terdiri dari lubang fasa dan lubang netral, sehingga hanya dapat melayani satu

perangkat dalam satu waktu. Pada sistem kelistrikan rumah tangga di Indonesia, stop kontak beroperasi pada tegangan nominal 220V AC dengan frekuensi 50 Hz sesuai standar PLN.

Secara konstruksi, stop kontak satu lubang terdiri dari beberapa bagian utama yaitu terminal fasa, terminal netral, dan terminal ground (pada tipe yang dilengkapi grounding). Terminal-terminal tersebut terhubung ke jaringan listrik melalui kabel instalasi yang terpasang di dalam dinding. Badan stop kontak umumnya terbuat dari bahan isolator seperti plastik atau bakelit yang tahan terhadap panas dan tidak menghantarkan listrik, sehingga aman digunakan pada instalasi rumah tangga maupun gedung.

Pada penelitian ini, stop kontak satu lubang digunakan sebagai representasi beban listrik pada tiga zona ruangan prototype miniatur apartemen, yaitu R2 (Kamar Tidur) dengan beban charger HP, R3 (Ruang Kerja) dengan beban charger laptop, dan R4 (Ruang Tamu) dengan beban kipas angin. Penggunaan stop kontak memungkinkan simulasi variasi jenis dan daya beban yang lebih mendekati kondisi nyata hunian apartemen, sehingga data konsumsi energi yang diperoleh dari sensor PZEM-004T lebih representatif dan bervariasi dibandingkan apabila seluruh ruangan hanya menggunakan beban lampu LED



Gambar 2.10 Stop Kontak 1 lubang

Tabel 2.9 Spesifikasi Stop Kontak 1 lubang.

Kategori	Spesifikasi
Model	Stop Kontak 1 Lubang
Tegangan Operasi	220 VAC

Kategori	Spesifikasi
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas Arus	10 A

2.4.11 Box Module X4

Box panel merupakan wadah yang digunakan untuk menempatkan dan melindungi seluruh komponen elektronik dalam sistem. Penggunaan box panel bertujuan untuk menjaga keamanan rangkaian dari gangguan eksternal seperti debu, sentuhan langsung, dan kerusakan fisik. Selain itu, box panel juga membantu merapikan susunan komponen sehingga sistem terlihat lebih terorganisir dan mudah dalam proses instalasi serta pengujian.



Gambar 2.11 Box Module

Tabel 2.10 Spesification Box Module

Kategori	Spesifikasi
Model	X4
Material	ABS Plastic
Color	Black
Dimensions	125 mm × 85 mm × 50 mm
Mounting Type	Surface Mount
Application	Electronic and IoT Projects

2.4.12 Perangkat Lunak (*Software*)

Software adalah data yang diprogram, disimpan, dan diformat secara digital dengan fungsi tertentu. Perangkat ini sendiri tidak memiliki bentuk fisik, cara

mengoperasikannya lewat perangkat komputer. Untuk pembuatannya sendiri, perangkat ini memerlukan bahasa pemrograman yang ditulis oleh seorang pemrogram/orang yang ahli akan bidang tersebut. Selanjutnya, perangkat tersebut dikompilasikan memakai aplikasi kompiler agar dapat menjadi kode yang bisa dikenali oleh mesin *hardware*/perangkat keras. Yang dimaksud *hardware*/perangkat keras disini adalah *Personal Computer*/komputer[18].

2.4.13 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak resmi yang dikembangkan oleh Arduino untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah (upload) program ke dalam papan mikrokontroler, baik papan Arduino itu sendiri maupun papan pengembangan lain yang kompatibel seperti ESP32 dan ESP8266. Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE merupakan turunan dari bahasa C/C++ yang telah disederhanakan, sehingga lebih mudah dipahami oleh pengguna pemula maupun pengguna yang sudah berpengalaman dalam bidang elektronika dan pemrograman mikrokontroler.

Pada penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pemrograman pada mikrokontroler ESP32 adalah Arduino IDE versi 2, yang merupakan pembaruan besar dari versi sebelumnya (Arduino IDE 1.x). Arduino IDE 2 dibangun menggunakan kerangka kerja Eclipse Theia sehingga memiliki tampilan antarmuka yang lebih modern dan responsif. Beberapa peningkatan utama yang terdapat pada Arduino IDE 2 antara lain proses kompilasi dan pengunggahan program yang lebih cepat, fitur autocomplete kode menggunakan IntelliSense, fitur debugger untuk papan tertentu, board manager dan library manager dengan tampilan yang lebih informatif, serta serial monitor dan serial plotter yang dapat dibuka secara bersamaan dalam satu jendela aplikasi[19].



Gambar 2.12 Tampilan Antarmuka Arduino IDE

Secara umum, antarmuka Arduino IDE 2 terdiri atas beberapa bagian utama. Bagian pertama adalah toolbar yang terletak di bagian atas jendela, yang berisi tombol Verify untuk mengompilasi program guna memeriksa kesalahan penulisan kode (*syntax error*), tombol Upload untuk mengompilasi sekaligus mengunggah program ke papan mikrokontroler, serta menu pemilihan jenis board dan port komunikasi serial yang digunakan. Bagian kedua adalah sidebar di sisi kiri yang menyediakan akses cepat menuju Board Manager untuk menambahkan dukungan jenis papan tertentu seperti ESP32, Library Manager untuk menambahkan pustaka tambahan, serta fitur pencarian dan debugging.

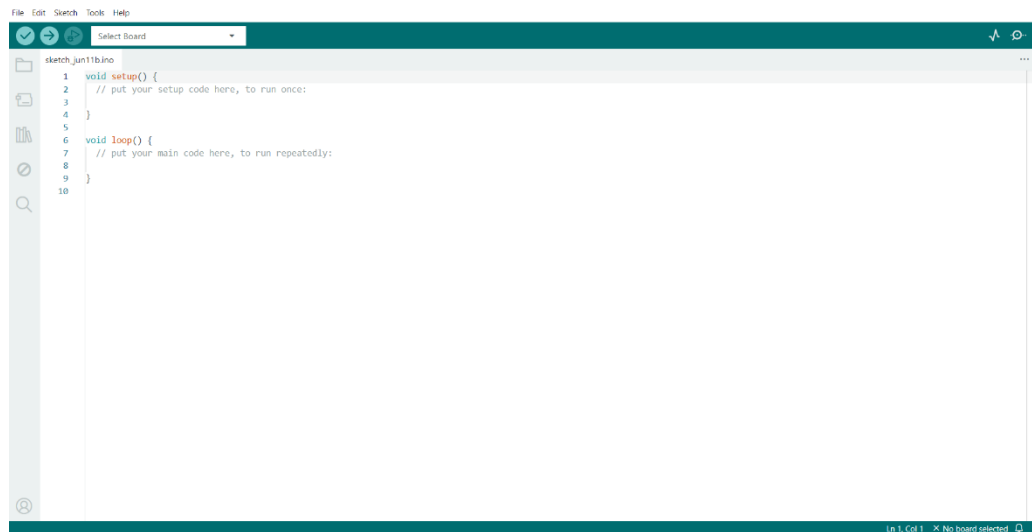
Bagian ketiga adalah area editor kode (*sketch*) yang merupakan tempat utama penulisan program. Pada Arduino IDE, satu file program disebut dengan istilah sketch dengan ekstensi file .ino. Setiap sketch minimal terdiri atas dua fungsi utama, yaitu fungsi *void setup()* yang hanya dijalankan satu kali pada saat mikrokontroler dinyalakan atau direset, dan fungsi *void loop()* yang akan dijalankan secara terus-menerus secara berulang selama mikrokontroler dalam keadaan menyala. Bagian keempat adalah output console dan serial monitor yang terletak di bagian bawah jendela, yang menampilkan status proses kompilasi dan upload, pesan kesalahan seperti yang ada di gambar 2.13.



Gambar 2.13 Tampilan Antarmuka Arduino IDE

Dan Untuk menggunakan Arduino IDE dapat melakukan Langkah-langkah sebagai berikut.

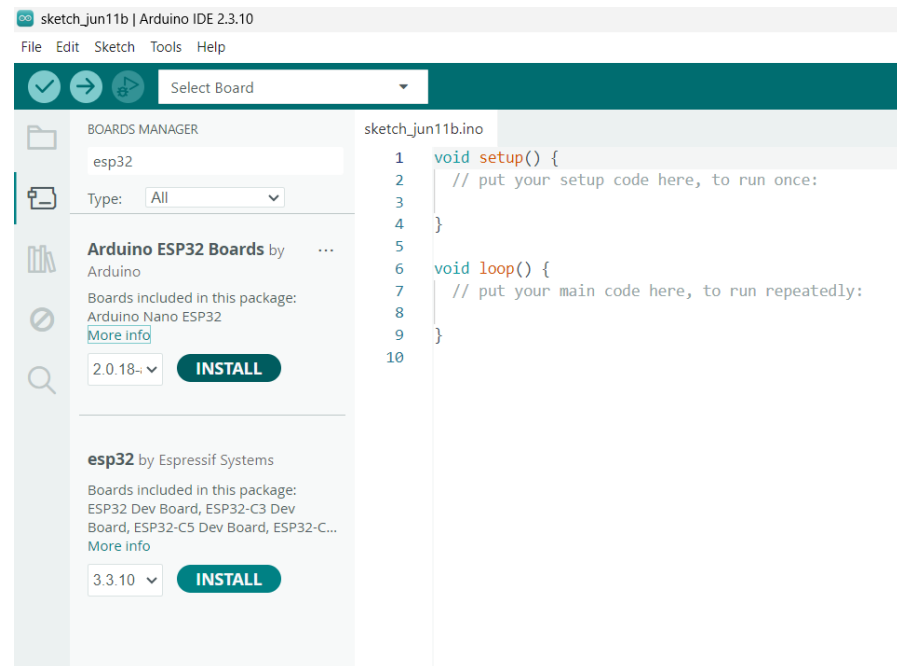
1. Membuka perangkat lunak Arduino IDE hingga muncul tampilan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Tampilan Antarmuka Arduino IDE

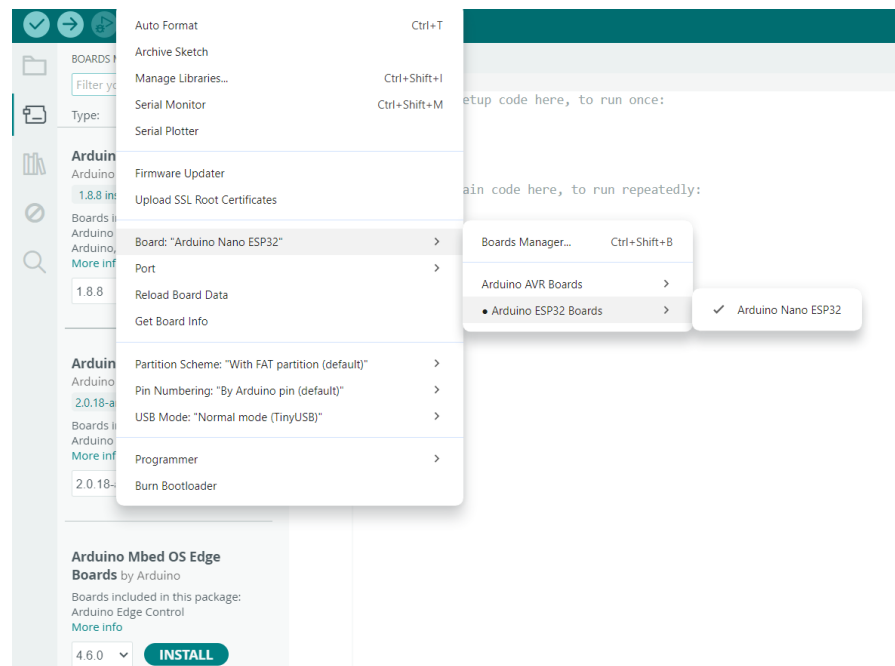
Tahap awal yang dilakukan adalah membuka perangkat lunak Arduino IDE yang telah terpasang pada komputer. Setelah perangkat lunak terbuka, akan tampil jendela utama Arduino IDE seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Pada tampilan tersebut terdapat menu bar (File, Edit, Sketch, Tools, Help) di bagian atas, toolbar yang berisi tombol Verify, Upload, dan Debug, serta menu Select Board. Di bagian tengah terdapat area editor sketch yang menampilkan program dasar dengan struktur fungsi *void setup()* dan *void loop()*, sedangkan pada bagian bawah terdapat status bar yang menunjukkan posisi kursor dan status koneksi board. Pada tahap ini, jenis board belum dipilih sehingga pada menu Select Board masih tertulis "*No board selected*", yang menunjukkan bahwa Arduino IDE sudah siap digunakan namun belum terhubung dengan papan mikrokontroler tertentu.

2. Menambahkan dan melakukan instalasi board pada Arduino IDE melalui Board Manager.



Gambar 2.15 Tampilan Board Manager

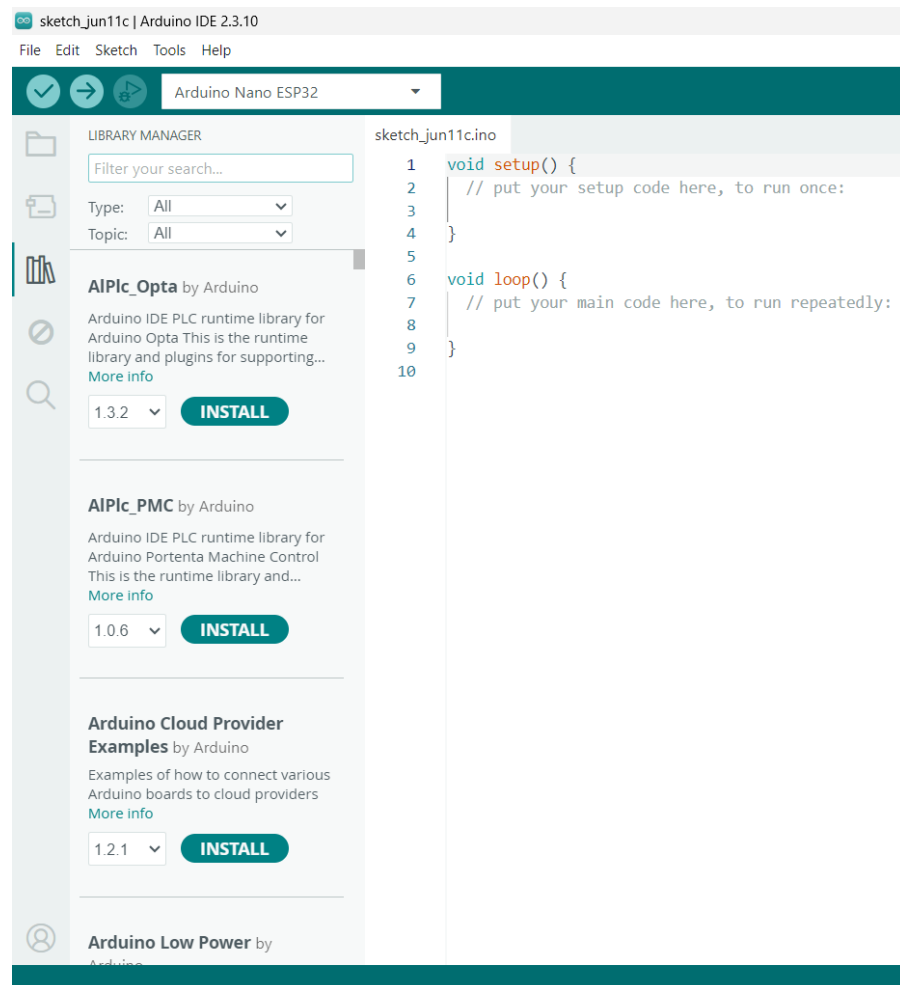
Tahap selanjutnya adalah menambahkan dan melakukan instalasi board ESP32 pada Arduino IDE melalui Boards Manager. Proses ini diawali dengan membuka menu Boards Manager yang terdapat pada sidebar sebelah kiri, kemudian mengetikkan kata kunci "esp32" pada kolom pencarian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Pada hasil pencarian akan muncul beberapa pilihan paket board, yaitu Arduino ESP32 Boards oleh Arduino dan esp32 oleh *Espressif Systems*. Pada penelitian ini dipilih paket esp32 by *Espressif Systems* dengan menekan tombol Install untuk memulai proses instalasi paket board ESP32.



Gambar 2.16 Tampilan menu Tools untuk memilih Board

Setelah proses instalasi selesai, langkah berikutnya adalah memastikan jenis board ESP32 telah tersedia dan dapat dipilih melalui menu Tools. Pada Gambar 2.16 dapat dilihat tampilan menu Tools, kemudian memilih Board, lalu memilih kategori Arduino ESP32 Boards, sehingga akan muncul pilihan jenis board ESP32 yang telah terpasang. Dengan selesainya proses penambahan dan instalasi board ini, Arduino IDE telah siap digunakan untuk melakukan pemrograman pada papan mikrokontroler ESP32.

3. Melakukan instalasi library yang dibutuhkan.



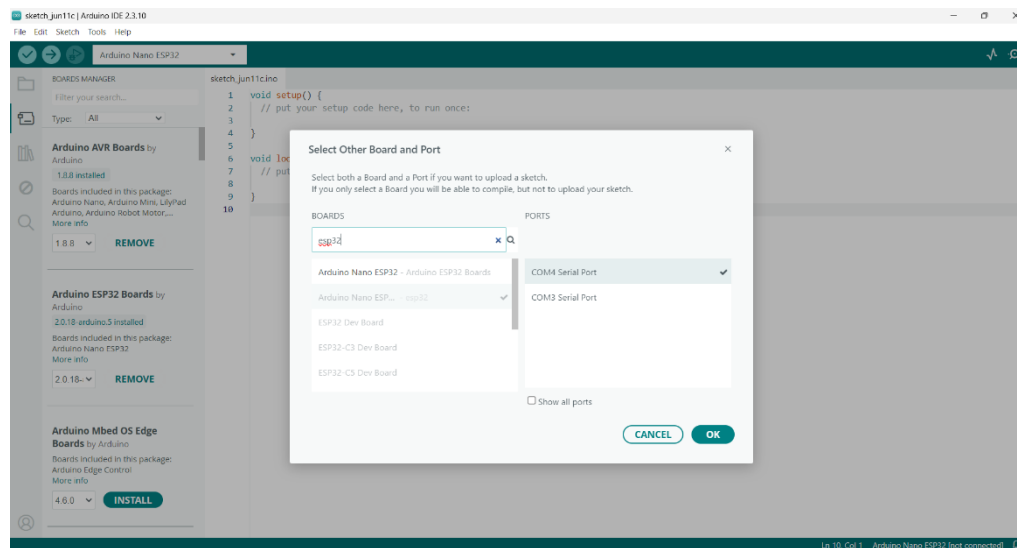
Gambar 2.17 Tampilan menu Tools untuk memilih Board

Tahap selanjutnya adalah melakukan instalasi library yang dibutuhkan melalui Library Manager pada Arduino IDE. Library Manager dapat diakses melalui sidebar sebelah kiri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Pada jendela Library Manager terdapat kolom pencarian yang digunakan untuk mencari library berdasarkan nama, serta filter Type dan Topic untuk mempersempit hasil pencarian sesuai dengan kategori library yang diinginkan.

Library merupakan kumpulan kode program tambahan yang berfungsi untuk mempermudah proses pemrograman dalam mengakses dan mengendalikan komponen maupun modul tertentu, sehingga pengguna tidak perlu menulis program dari awal untuk setiap fungsi yang akan digunakan. Proses instalasi library dilakukan dengan cara mengetikkan nama library yang dibutuhkan pada kolom pencarian, kemudian memilih versi library yang sesuai

melalui menu *dropdown*, dan menekan tombol Install untuk memulai proses instalasi. Pada penelitian ini, library yang diinstal disesuaikan dengan kebutuhan komponen yang digunakan pada sistem, seperti library untuk komunikasi dengan modul sensor maupun library untuk koneksi ke layanan IoT.

4. Memilih jenis board dan port yang akan digunakan.

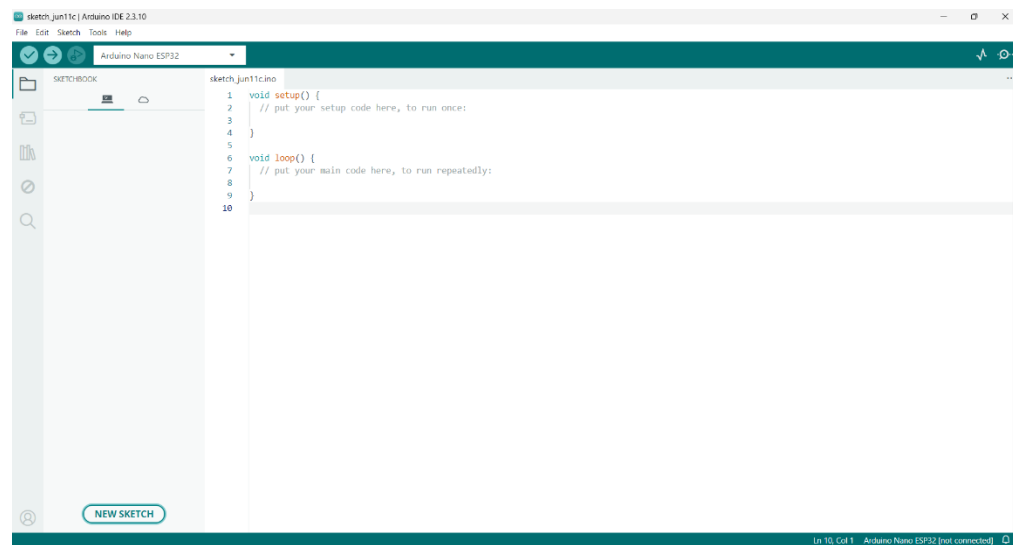


Gambar 2.18 Tampilan menu Tools untuk memilih Board

Tahap selanjutnya adalah memilih jenis board dan port yang akan digunakan agar program dapat dikompilasi dan diunggah ke ESP32 dengan benar. Pemilihan dilakukan melalui jendela *Select Other Board and Port* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18, yang dapat diakses dengan menekan menu dropdown pemilihan board pada bagian atas Arduino IDE.

Pada kolom Boards, dilakukan pencarian dengan mengetikkan kata kunci "esp32", kemudian dipilih jenis board "Arduino Nano ESP32" sesuai dengan modul ESP32 yang digunakan pada penelitian ini. Pada kolom Ports, dipilih port yang sesuai dengan port tempat ESP32 terhubung ke komputer, yaitu COM4 Serial Port. Apabila port yang sesuai tidak muncul pada daftar, dapat dicentang opsi Show all ports untuk menampilkan seluruh port yang tersedia. Setelah jenis board dan port dipilih dengan benar, dilanjutkan dengan menekan tombol OK untuk mengonfirmasi pilihan tersebut, sehingga pada bagian status bar akan menampilkan keterangan board yang aktif beserta status koneksinya.

5. Membuat Program

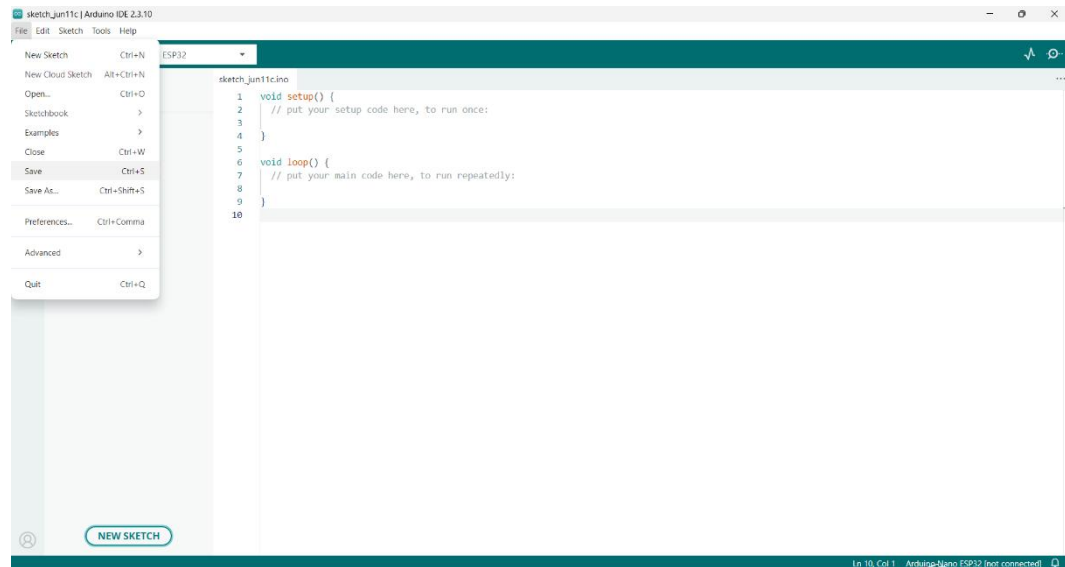


Gambar 2.19 Area Sketch Pada Arduino IDE

Tahap selanjutnya adalah pembuatan program (sketch) yang akan digunakan untuk menjalankan sistem pada ESP32. Pembuatan program dilakukan pada area editor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19, dengan jenis board "Arduino Nano ESP32" yang telah terpilih pada bagian atas jendela Arduino IDE. Secara default, setiap sketch baru yang dibuat melalui menu *New Sketch* akan menampilkan struktur program dasar yang terdiri atas dua fungsi utama, yaitu fungsi *void setup()* dan fungsi *void loop()*.

Fungsi *void setup()* digunakan untuk menuliskan baris program yang hanya akan dijalankan satu kali pada saat ESP32 dinyalakan atau direset, seperti inisialisasi pin input/output, inisialisasi komunikasi serial, koneksi WiFi, maupun inisialisasi sensor dan modul yang digunakan. Adapun fungsi *void loop()* digunakan untuk menuliskan baris program yang akan dijalankan secara berulang selama ESP32 dalam keadaan menyala, seperti pembacaan data sensor, pengolahan data, pengendalian relay, serta pengiriman data ke layanan IoT. Pada tahap ini, seluruh kode program disusun sesuai dengan alur kerja sistem yang telah dirancang sebelumnya pada diagram alir (flowchart) sistem.

6. Menyimpan Program



Gambar 2.20 Area Sketch Pada Arduino IDE

Tahap terakhir adalah menyimpan program yang telah dibuat agar dapat digunakan kembali pada proses selanjutnya, seperti proses kompilasi dan pengunggahan ke ESP32. Penyimpanan program dilakukan melalui menu File yang terdapat pada menu bar, kemudian memilih opsi Save, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Selain melalui menu tersebut, penyimpanan program juga dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi tombol Ctrl+S pada keyboard.

Apabila program disimpan untuk pertama kalinya, maka akan muncul jendela Save As yang digunakan untuk menentukan lokasi penyimpanan serta nama file sketch yang akan dibuat. File sketch tersebut akan tersimpan dengan format .ino, yang merupakan format standar untuk program pada Arduino IDE. Dengan tersimpannya program, seluruh tahapan persiapan pada perangkat lunak Arduino IDE telah selesai dilakukan, sehingga program dapat dilanjutkan ke proses kompilasi (*Verify*) dan pengunggahan (*Upload*) ke papan mikrokontroler ESP32.

2.4.14 Blynk

Blynk merupakan platform *Internet of Things* yang digunakan sebagai antarmuka untuk monitoring dan pengendalian sistem secara jarak jauh melalui

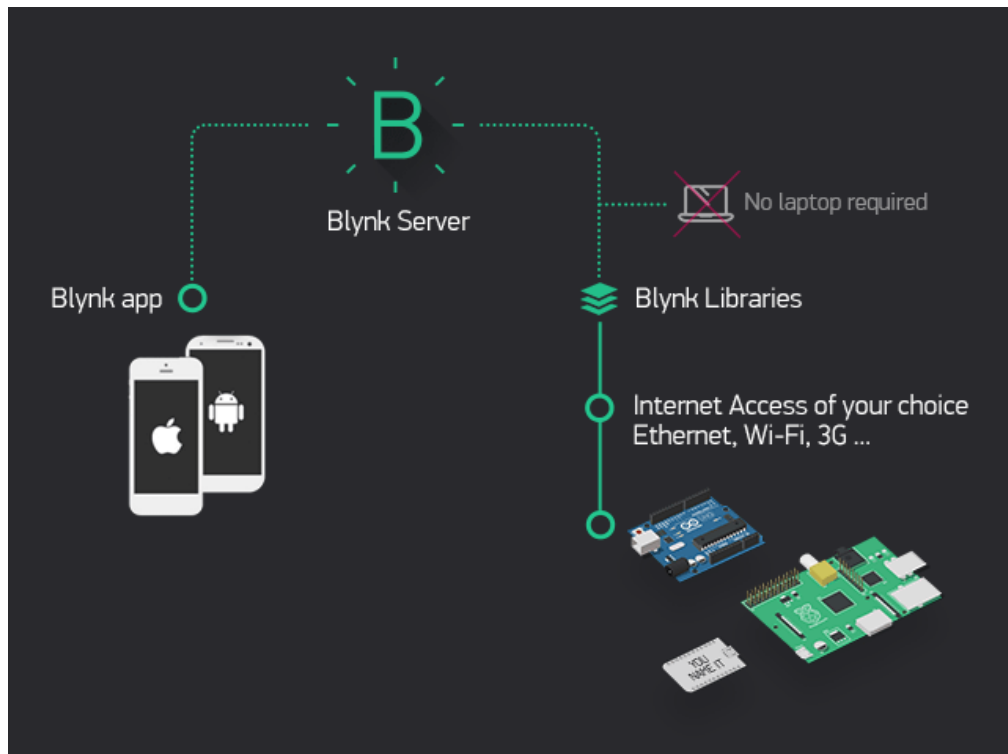
smartphone. Blynk memungkinkan pengguna untuk menampilkan data seperti tegangan, arus, dan daya secara real time serta mengontrol beban listrik melalui fitur yang tersedia pada aplikasi. Pada sistem ini, Blynk berfungsi sebagai media komunikasi antara pengguna dan ESP32 melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan dengan mudah dan efisien[20].

Blynk adalah aplikasi untuk iOS dan OS Android untuk mengontrol Arduino, NodeMCU, Raspberry Pi dan sejenisnya melalui Internet. Aplikasi ini dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat hardware menampilkan data sensor, menyimpan data, visualisasi, dan lain-lain. Blynk tidak terikat dengan beberapa jenis microcontroller namun harus didukung hardware yang dipilih. NodeMCU dikontrol dengan Internet melalui WiFi, chip ESP8266, Blynk akan dibuat online dan siap untuk Internet of Things



Gambar 2.21 *Blynk*

Aplikasi Blynk sebagai pendukung IoT dapat diunduh melalui Google Play untuk pengguna Android dan melalui App Store bagi pengguna iOS. Blynk mendukung berbagai macam hardware yang dapat digunakan untuk project Internet of Things. Blynk adalah dashboard digital dengan fasilitas antar muka grafis dalam pembuatan project-nya. Berikut Gambar 2.22 adalah Gambar blynk cloud server.



Gambar 2.22 *Blynk Cloud Server*

Terdapat 3 komponen utama Blynk:

1. Blynk Apps

Blynk Apps memungkinkan untuk membuat project interface dengan berbagai macam komponen Input & output yang mendukung untuk pengiriman maupun penerimaan data serta merepresentasikan data sesuai dengan komponen yang dipilih. Representasi data dapat berbentuk visual angka maupun grafik.

2. Blynk Server

Blynk server merupakan fasilitas *Backend Service* berbasis Cloud yang bertanggung jawab untuk mengatur komunikasi antara aplikasi smartphone dengan lingkungan hardware. Kemampuan untuk menangani puluhan hardware pada saat yang bersamaan semakin memudahkan bagi para pengembang sistem IoT.

3. Blynk Library

Blynk Library dapat digunakan untuk membantu pengembangan code. Blynk library tersedia pada banyak platform perangkat keras sehingga semakin

memudahkan para pengembang IoT dengan fleksibilitas hardware yang didukung oleh lingkungan Blynk.

2.4.1 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan aplikasi pengolah data berbasis cloud yang dikembangkan oleh Google dan dapat digunakan untuk menyimpan, mengelola, serta memantau data secara online melalui koneksi internet. Google Spreadsheet dapat diakses melalui browser maupun perangkat mobile tanpa memerlukan instalasi software tambahan sehingga memudahkan pengguna dalam memantau data dari mana saja.



Gambar 2.23 Google Spreadsheets

Pada Gambar 2.23 merupakan Google Spreadsheets, dalam penelitian ini, Google Spreadsheet digunakan sebagai media penyimpanan data monitoring panel surya secara otomatis. Data hasil pembacaan sensor seperti intensitas cahaya, tegangan, arus, daya, dan efisiensi panel surya dikirim oleh ESP32 ke Google Spreadsheet menggunakan koneksi internet sehingga data dapat tersimpan secara real-time dan digunakan untuk analisis performa panel surya.

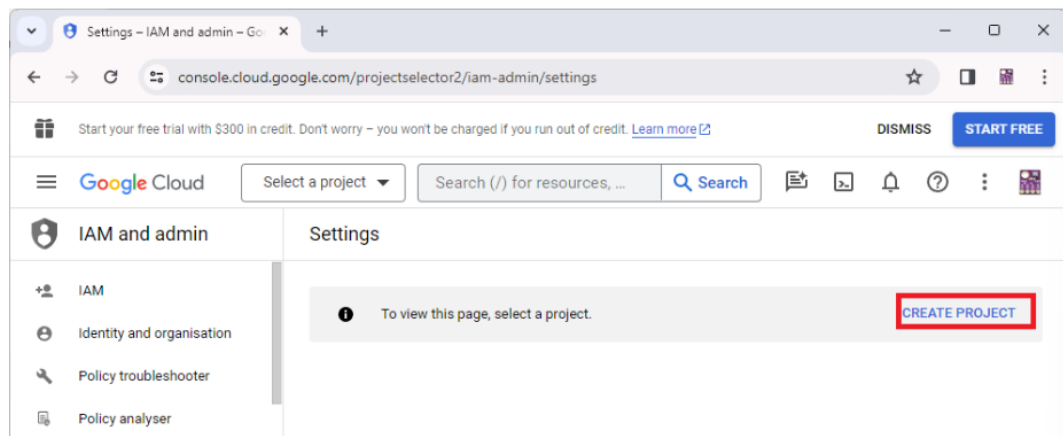
Google Spreadsheet dipilih sebagai media penyimpanan data karena mudah diintegrasikan dengan ESP32 melalui *Google Apps Script* sebagai penghubung pengiriman data, serta library *ESP_Google_Sheet_Client* pada Arduino IDE. Google Apps Script berfungsi menerima data yang dikirim ESP32 melalui internet, kemudian menuliskannya secara otomatis ke Google Spreadsheet.

Data yang tersimpan dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik sehingga memudahkan proses monitoring dan analisis perubahan performa panel surya dari waktu ke waktu.

Berikut merupakan tahapan konfigurasi Google Spreadsheet yang digunakan sebagai media penyimpanan data monitoring panel surya secara otomatis melalui koneksi internet:

Konfigurasi Google Spreadsheet dilakukan sebagai media penyimpanan data monitoring panel surya secara otomatis melalui koneksi internet. Proses diawali dengan membuka *Google Cloud Console* melalui browser, kemudian masuk (*login*) menggunakan akun Google yang akan digunakan untuk integrasi sistem monitoring. Akun tersebut digunakan untuk mengakses layanan Google Cloud yang nantinya terhubung dengan ESP32 dan Google Spreadsheet.

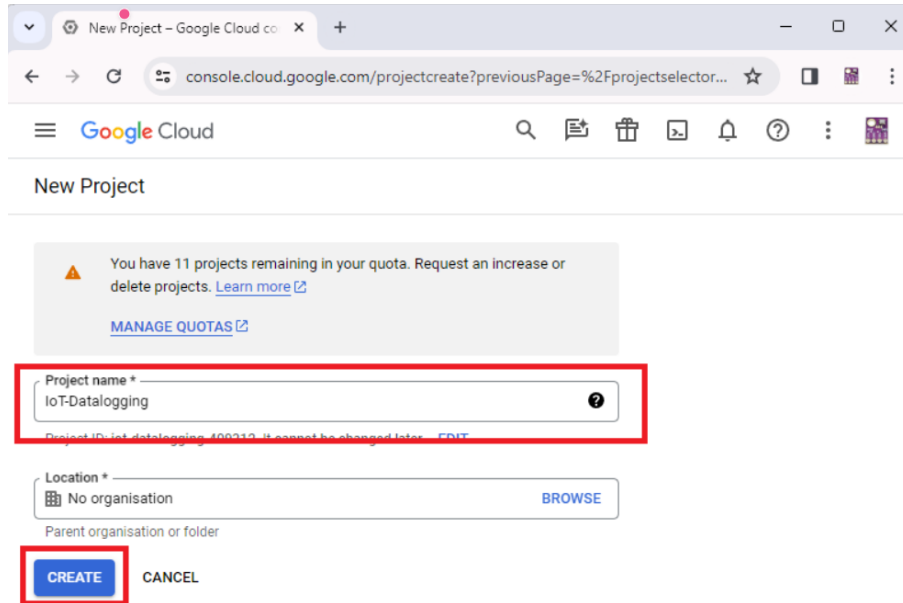
Setelah berhasil masuk ke *Google Cloud Console*, dilakukan pembuatan project baru dengan memilih menu Create Project. Project ini berfungsi sebagai tempat konfigurasi layanan Google Spreadsheet yang akan digunakan pada sistem monitoring. Proses pembuatan project baru pada *Google Cloud Console* ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.24 Proses pembuatan project baru pada *Google Cloud Console*.

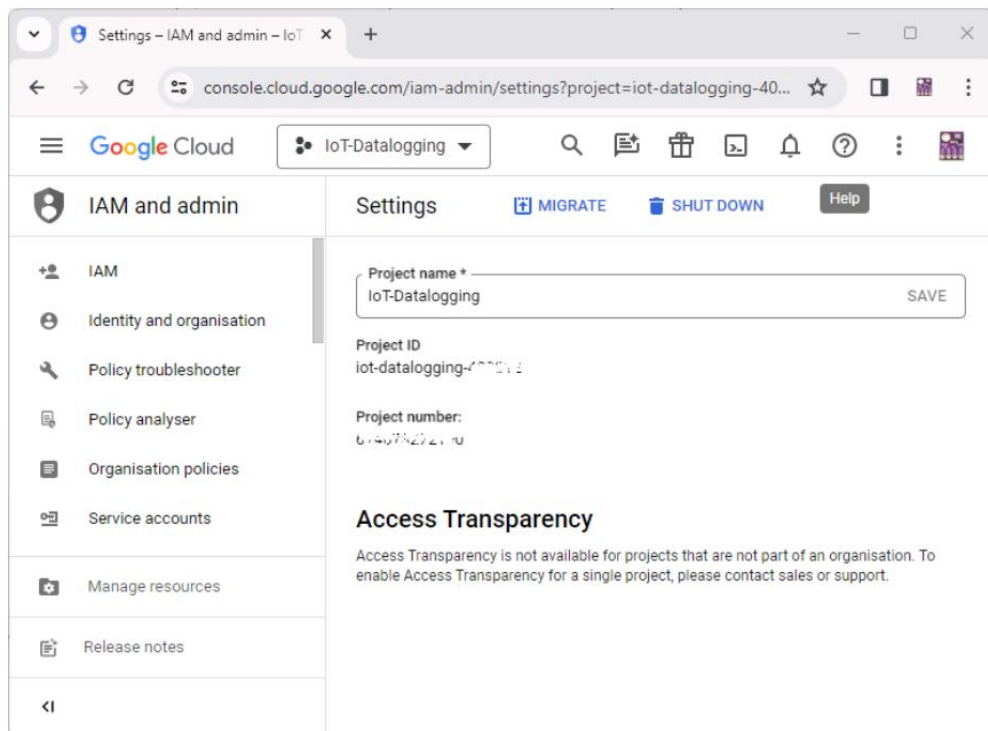
Selanjutnya pengguna mengisi “nama project” sesuai kebutuhan pada kolom yang tersedia, kemudian memilih tombol “*Create*” untuk membuat project baru. Setelah proses selesai, project akan berhasil dibuat dan siap digunakan untuk konfigurasi berikutnya. Proses pengisian nama project

ditunjukkan pada Gambar, sedangkan tampilan notifikasi bahwa project berhasil dibuat ditunjukkan pada Gambar.



The screenshot shows the 'New Project' page in the Google Cloud Console. At the top, there is a notification: 'You have 11 projects remaining in your quota. Request an increase or delete projects. [Learn more](#) [MANAGE QUOTAS](#)'. Below this, the 'Project name' field is set to 'IoT-Datalogging' and is highlighted with a red box. The 'Location' is set to 'No organisation'. The 'Parent organisation or folder' is empty. At the bottom, the 'CREATE' button is highlighted with a red box, and the 'CANCEL' button is next to it.

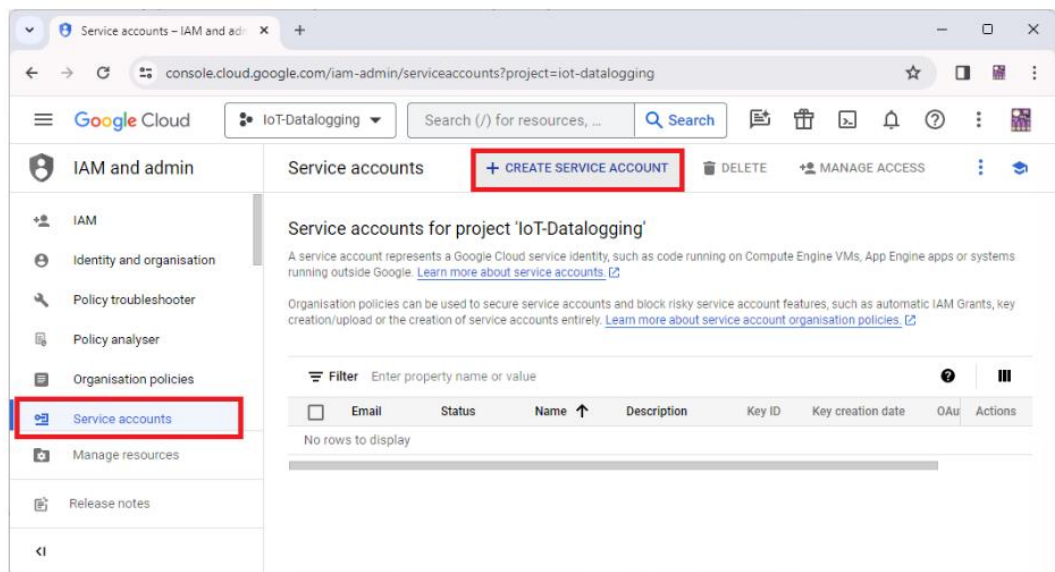
Gambar 2.25 Proses pengisian nama project pada *Google Cloud Consol*



The screenshot shows the 'Settings - IAM and admin' page for the project 'IoT-Datalogging'. The page displays the project name 'IoT-Datalogging' with a 'SAVE' button. Below this, the 'Project ID' is 'iot-datalogging-400312' and the 'Project number' is '674574272110'. The 'Access Transparency' section is also visible, stating: 'Access Transparency is not available for projects that are not part of an organisation. To enable Access Transparency for a single project, please contact sales or support.'

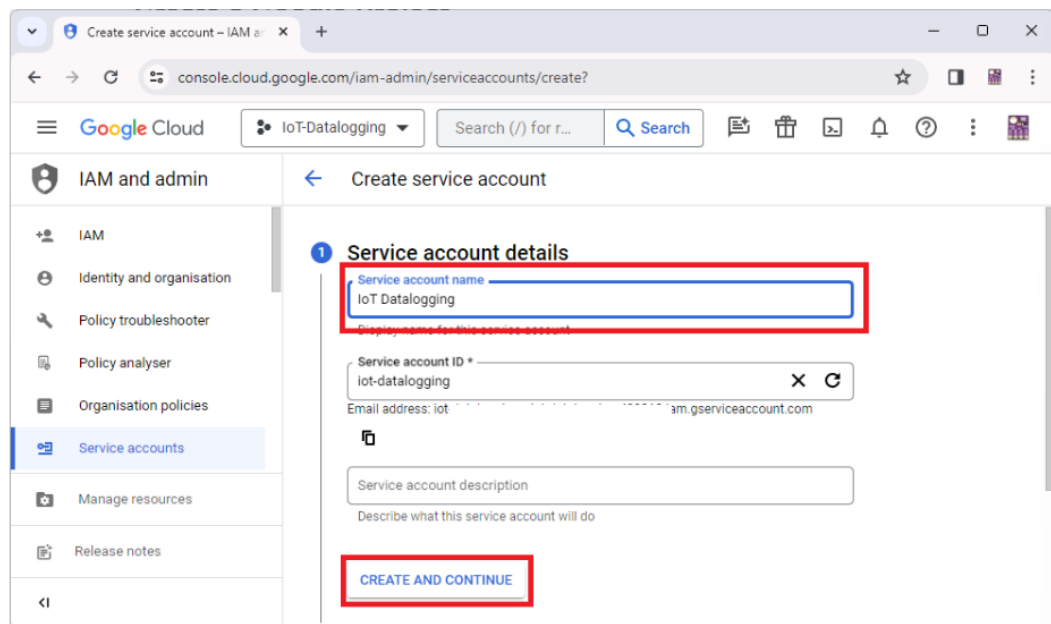
Gambar 2.26 Tampilan project berhasil dibuat pada *Google Cloud Console*

Setelah project berhasil dibuat, konfigurasi dilanjutkan dengan membuka menu *Service Accounts* pada sidebar sebelah kiri *Google Cloud Console*, kemudian memilih + *Create Service Account*. *Service Account* digunakan sebagai akun autentikasi yang berfungsi menghubungkan ESP32 dengan layanan Google Spreadsheet. Melalui akun ini, ESP32 dapat memperoleh izin untuk mengirim data monitoring secara otomatis ke spreadsheet. Proses membuka menu *Service Accounts* ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.27 Proses membuka menu *Service Account* pada *Google Cloud Console*

Pada tahap berikutnya dilakukan pengisian nama *Service Account* sesuai kebutuhan, kemudian memilih tombol “*Create and Continue*” untuk melanjutkan proses konfigurasi. Setelah *Service Account* berhasil dibuat, sistem akan menghasilkan file JSON yang berisi data autentikasi seperti *Project ID*, *Client Email*, dan *Private Key*. Data tersebut digunakan sebagai identitas akses antara ESP32 dengan layanan Google Spreadsheet. Proses pengisian nama *Service Account* ditunjukkan pada Gambar



Gambar 2.28 Proses pengisian nama *Service Account*

Setelah konfigurasi pada *Google Cloud Console* selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pengaturan pada *Arduino IDE*. Pada program *Arduino* ditambahkan library *ESP_Google_Sheet_Client.h* menggunakan *directive #include*. Library ini digunakan agar ESP32 dapat terhubung dengan layanan *Google Spreadsheet* melalui jaringan internet. Proses penambahan library pada *Arduino IDE* ditunjukkan pada Gambar.

```

1  #include <Arduino.h>
2  #include <PZEM004Tv30.h>
3  #include "time.h"
4  #include <WiFi.h>
5  #include <ESP_Google_Sheet_Client.h>
6  #include <GS_SDHelper.h>

```

Gambar 2.29 Menambahkan library *ESP_Google_Sheet_Client.h* pada *Arduino IDE*

Selanjutnya *Project ID*, *Client Email*, dan *Private Key* yang diperoleh dari file JSON hasil pembuatan *Service Account* dimasukkan ke dalam program Arduino IDE. Data tersebut berfungsi sebagai autentikasi agar ESP32 dapat mengakses Google Spreadsheet dan mengirimkan data monitoring secara otomatis. Proses memasukkan data autentikasi tersebut ke dalam program ditunjukkan pada Gambar.

```
//GSHEET
#define PROJECT_ID "iot-data-logging-aja"
#define CLIENT_EMAIL "iot-data-logging-aja@iot-data-logging-aja.iam.gserviceaccount.com"
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE KEY-----\nMIIIEvQIBADANBgkqhkiG9w0BAQEFAASCBKcwggSjAgEAAoIBAQDxOm6LBD5whp9s\nnHMFfEW26CuQ2qnt2RrEPHAvpQoCuhnzy028pywvCy/60ko438X0a9yV+32bZn0x\nnpu0Bad/g1rh4H0u7wenBbEbXAkSyb91QrL75Ty8sdH6o1KyMDXxQVn1eKI10j\nn83mHITeU8+8ccYjTue0w/Fu7HP8i20zN3Us0ze5ARB8v1qrR75kOPLoHZ/hgLL\nnbc8B8g8jwC26kIpTutZgQpM9uVryCNUk15L/vHfb4Hz0T9J24klp0Q4R9KQccr\nngYc+UCYS0bktS0KzLYURhyQoh2yFY/137FntnU0ehpyppwFv11wa373QqR6Hk\nnQY5GwcYXG6Ry0gEkx4VzDaFL7X7CoroMx90gsw0GQK8GQD8zlrkPxo0oXoVkwL\nPF0iKTpUwLumpVJMneai2Z6C1qDhBlupzuFn0MvPJJCMMkBE/B1kc0DKBv+Yaxr0\nnpa1AuU3hBwKBGEVHZgu239Gcnxpad21CdKHKbJzPffYN88qTsBfzPhveqrHOB\nnTGS04gualUaKaAtLk5IKnhczXr1Pu9iwwa8pMFpQTVQ11/gHwKvtYfZkhAoGAS\nn/hgqFsfnwM1lcTaKR+E2WgaoCGGqIXbqGa1ZueG7gm8p/1iC0hjd/EQ1ZJHw0\nnwFLUFf1j5X0Ug/Dj2uSPOLM3KfQm17EY9gv1e1GF8S0zfX3/g9WE56KYJeQxrq9\nnggTL6dOmZTLU1jYEE8yWvjY=\n-----END PRIVATE KEY-----\n";
const char spreadsheetId[] = "1PGw9Sj4f1Y9ZK3kCjQ01M_53jw-AZzHZUico3zoQajM";
```

Gambar 2.30 Proses memasukkan *Project ID*, *Client Email*, dan *Private Key* pada Arduino IDE

Setelah seluruh proses konfigurasi selesai dilakukan, Google Spreadsheet berhasil terintegrasi dengan ESP32 melalui *Google Service Account*. Dengan konfigurasi tersebut, ESP32 dapat mengirim dan menyimpan data hasil monitoring panel surya ke Google Spreadsheet secara otomatis melalui koneksi internet, sehingga data dapat direkam dan diakses secara *real-time* untuk proses monitoring dan analisis lebih lanjut.