

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil studi literatur, sebagian besar penelitian terdahulu telah membahas sistem monitoring panel surya berbasis IoT maupun analisis efisiensi panel surya dengan pendekatan yang beragam. Penelitian pada [2] mengembangkan sistem monitoring PLTS off-grid berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Telegram. Sistem tersebut memanfaatkan sensor BH1750, INA219, DHT22, dan PZEM-004T untuk membaca parameter panel surya. Penelitian ini menunjukkan akurasi pengukuran mencapai 98,57% dengan efisiensi tertinggi sebesar 9,83%. Penelitian tersebut relevan karena menggunakan platform ESP32 dan Telegram sebagai media monitoring. Namun, sistem yang dikembangkan belum menyediakan penyimpanan data historis, notifikasi otomatis berdasarkan kondisi tertentu, serta analisis efisiensi konversi energi secara real-time.

Penelitian pada [3] membahas monitoring arus listrik pada solar panel berbasis IoT menggunakan NodeMCU dengan sensor ACS712 dan DHT22. Data ditampilkan melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini menunjukkan penerapan monitoring real-time berbasis IoT pada panel surya. Akan tetapi, parameter yang dipantau masih terbatas pada arus listrik, sehingga belum mencakup analisis efisiensi konversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Selain itu, sistem belum dilengkapi penyimpanan data historis maupun notifikasi otomatis.

Penelitian pada [4] melakukan penelitian mengenai evaluasi efisiensi panel surya off-grid pada beban resistif dan induktif dengan integrasi IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban resistif menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan beban induktif. Penelitian ini memberikan kontribusi pada analisis efisiensi panel surya berdasarkan karakteristik beban. Namun, penelitian tersebut belum menghubungkan intensitas radiasi matahari secara langsung terhadap daya keluaran panel dan belum dilengkapi fitur penyimpanan data historis serta notifikasi otomatis.

Penelitian pada [6] meneliti peningkatan efisiensi panel surya melalui sistem solar tracker dual-axis 100 WP terhadap suhu panel. Sistem menggunakan ESP32, BH1750, INA219, dan DS18B20. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi panel melalui pengaturan arah panel mengikuti matahari. Meskipun demikian, sistem yang digunakan cukup kompleks dan fokus penelitian lebih menitikberatkan pada mekanisme tracking, belum pada monitoring efisiensi konversi energi secara spesifik dengan penyimpanan data historis.

Penelitian pada [7] mengenai sistem PLTS 120 WP untuk optimasi irigasi sawah juga menerapkan monitoring real-time berbasis IoT dengan beberapa sensor seperti INA219, ACS712, BH1750, dan DS18B20. Penelitian ini menunjukkan implementasi sistem PLTS yang lengkap dengan integrasi kontrol dan monitoring. Namun, efisiensi yang dihitung merupakan efisiensi sistem keseluruhan, sehingga belum secara khusus merepresentasikan efisiensi panel surya.

Penelitian pada [8] mengembangkan sistem solar tracker dual-axis dengan monitoring berbasis IoT. Sistem yang dikembangkan berhasil meningkatkan energi yang dihasilkan panel melalui mekanisme pelacakan arah matahari. Penelitian ini menggunakan ESP32, BH1750, dan INA219. Walaupun mampu meningkatkan output energi, sistem memiliki kompleksitas tinggi dan belum dilengkapi analisis efisiensi konversi secara rinci maupun penyimpanan data historis.

Penelitian pada [9] membahas pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap tegangan dan arus panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas radiasi memiliki hubungan langsung terhadap peningkatan tegangan dan arus keluaran panel. Akan tetapi, proses pengambilan data masih dilakukan secara manual selama 12 hari sehingga belum mendukung monitoring real-time berbasis IoT.

Penelitian pada [10] melakukan analisis efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi panel di lapangan lebih rendah dibandingkan spesifikasi pabrik. Penelitian ini memberikan gambaran performa aktual panel surya dalam kondisi operasional, namun fokus analisis masih pada sistem PLTS secara keseluruhan dan belum mengarah pada panel surya secara langsung dengan monitoring real-time.

Penelitian pada [11] menganalisis efisiensi PLTS terhadap penyinaran matahari menggunakan solar power meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi panel mencapai nilai optimal pada waktu tertentu ketika intensitas penyinaran berada pada kondisi terbaik. Meski demikian, pengukuran masih dilakukan secara manual, belum terintegrasi dengan IoT, belum menyediakan penyimpanan data otomatis, dan belum memiliki fitur notifikasi.

Berdasarkan kajian terhadap sepuluh penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian terkait sistem monitoring panel surya berbasis IoT telah berkembang cukup luas. Namun, masih terdapat beberapa keterbatasan yang sering muncul. Sebagian besar sistem hanya menampilkan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya secara real-time tanpa melakukan analisis efisiensi konversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Beberapa penelitian juga masih menggunakan metode pengukuran manual sehingga pemantauan belum dapat dilakukan secara kontinu dan real-time.

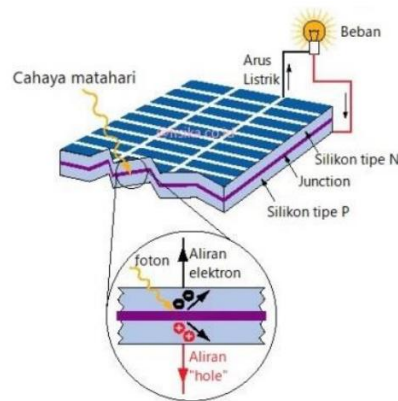
Keterbatasan lain yang ditemukan adalah data pengukuran belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi aktual panel surya karena masih melibatkan komponen tambahan seperti solar charge controller, baterai, dan inverter dalam jalur pengukuran. Kondisi tersebut menyebabkan nilai yang terukur dipengaruhi rugi-rugi daya pada komponen lain di luar panel surya. Selain itu, sebagian besar sistem belum dilengkapi fitur notifikasi otomatis sebagai peringatan dini ketika performa panel menurun, serta belum menyediakan penyimpanan data historis yang dapat digunakan untuk evaluasi tren performa dalam jangka panjang.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Panel Surya (Photovoltaic)

Sel surya merupakan komponen dasar pada teknologi fotovoltaik yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik [10]. Secara umum, sel surya dapat dianalogikan sebagai dioda foto berukuran besar yang mampu menghasilkan energi listrik ketika terkena cahaya matahari [10]. Material fotovoltaik tersusun dari dua jenis bahan semikonduktor berbeda yang dihubungkan melalui sambungan p-n (p-n junction) [9]. Ketika permukaan sel surya menerima

cahaya matahari, elektron pada material semikonduktor akan bergerak sehingga menghasilkan aliran arus listrik [10]. Untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar, beberapa sel surya disusun menjadi satu kesatuan yang disebut modul surya atau panel surya [9].



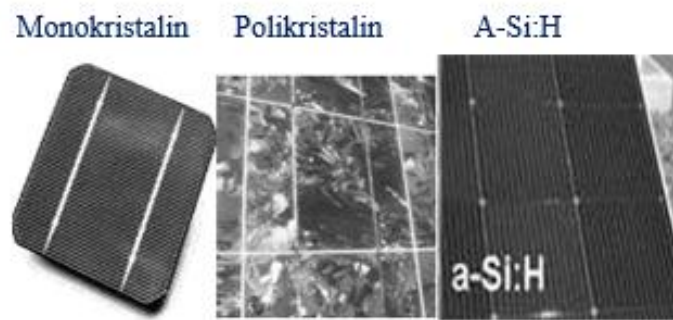
Gambar 2.1 Sistem Kerja Panel Surya (Photovoltaic)

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan sistem kerja panel surya (*photovoltaic*) dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Secara umum, modul surya dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu silikon kristalin (*crystalline silicon*) dan *thin-film* [9]. Modul silikon kristalin dibuat menggunakan bahan dasar silikon, sedangkan modul *thin-film* menggunakan lapisan material semikonduktor tertentu sebagai material aktif penyerap cahaya [9].

Modul silikon kristalin terbagi menjadi dua jenis, yaitu monokristalin dan polikristalin. Panel surya monokristalin umumnya memiliki efisiensi sekitar 14% hingga 16%, sedangkan panel surya polikristalin memiliki efisiensi sekitar 13% hingga 16% [9]. Sementara itu, panel surya *thin-film* memiliki beberapa jenis, seperti *amorphous silicon hydrogenated* (A-Si:H), *cadmium telluride* (CdTe), dan *copper indium gallium selenide* (CIGS). Perbandingan panel surya monokristalin, polikristalin, dan A-Si:H ditunjukkan pada Gambar 2.2. Efisiensi rata-rata panel surya *thin-film* berkisar antara 6,5% hingga 8% [9].

Perbedaan nilai efisiensi pada setiap jenis panel surya menyebabkan ukuran fisik panel juga berbeda meskipun kapasitas dayanya sama. Hal ini akan memengaruhi luas area yang dibutuhkan untuk proses pemasangan panel surya. Kapasitas panel surya sendiri dinyatakan dalam satuan Watt peak (Wp). Pada

sistem pembangkit listrik tenaga surya, kapasitas panel yang umum digunakan berada pada rentang 80 Wp hingga 300 Wp per modul. Untuk meningkatkan tegangan keluaran, panel surya dirangkai secara seri, sedangkan untuk meningkatkan arus dilakukan penyusunan secara paralel [9].



Gambar 2.2 Monokristalin, Polikristalin, Thin-Film (A-Si:H)

Kapasitas panel surya yang dibutuhkan dinyatakan dalam satuan kWp (kilowatt peak) dan ditentukan oleh jumlah energi (kWh) yang dikonsumsi beban dalam periode waktu tertentu serta intensitas radiasi matahari di lokasi pemasangan. Efisiensi panel surya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu operasi, kualitas koneksi kabel, efisiensi inverter, dan kondisi baterai (jika ada), dan lain-lain [9].

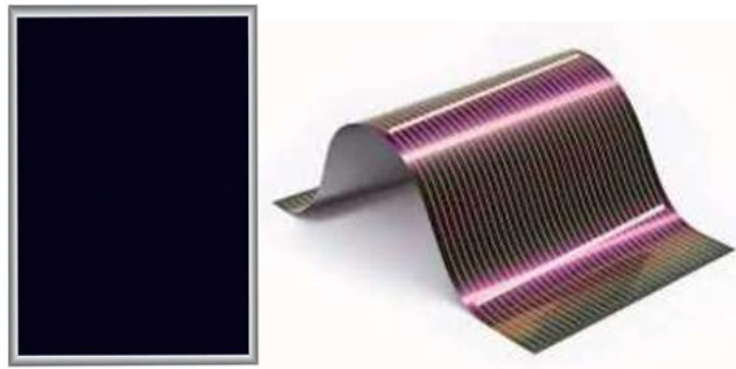
Oleh karena itu, perhitungan kapasitas ideal seringkali disesuaikan dengan faktor derating (penurunan kinerja) yang umumnya bernilai sekitar 0,67 atau 67%, untuk mengkompensasi kehilangan daya akibat faktor-faktor tersebut [9].



Gambar 2.3 Panel Surya Monokristalin



Gambar 2.4 Panel Surya Polikristalin



Gambar 2.5 Panel Surya Thin-Film (TFPV)



Gambar 2.6 Panel Surya 50 WP Poly Inscom

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 50 WP Poly Inscom

Parameter	Spesifikasi
Jenis Panel	Polikristalin (Polycrystalline)
Merek / Model Modul	KMP-2750
Daya Maksimum (Maximum Power - Pmax)	50Wp
Tegangan Daya Maksimum (Maximum Power Voltage - Vmp)	19.12V
Arus Daya Maksimum (Maximum Power Current - Imp)	2.45A
Tegangan Sirkuit Terbuka (Open Circuit Voltage - Voc)	22.68V
Arus Hubung Singkat (Short Circuit Current - Isc)	2.62A
Nominal Suhu Sel Operasional (Nominal Operating Cell Temp - NOCT)	$48 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Tegangan Sistem Maksimum (Maximum System Voltage)	715VDC
Sekring Seri Maksimum (Maximum Series Fuse)	18A
Berat Modul (Weight)	4.3 kg
Dimensi Modul (Dimension)	670 x 540 x 25 mm
Fungsi Pada Sistem	Sebagai sumber energi utama pada sistem monitoring

2.2.2 Prinsip Kerja dan Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Panel surya atau modul fotovoltaik merupakan perangkat semikonduktor yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaik [10]. Proses ini terjadi ketika foton matahari mengenai material

semikonduktor, umumnya silikon, sehingga menghasilkan aliran elektron dan arus listrik [4][12]. Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan sistem [10].

$$G = \frac{W_p}{A} \times \eta \quad (2.1)$$

Keterangan:

G : Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

W_p : Daya maksimum nominal panel surya (Watt Peak)

A : Luas penampang aktif panel surya (m^2)

η : Efisiensi konversi nominal panel surya dari spesifikasi pabrikan (%)

Nilai intensitas radiasi matahari (G) pada Persamaan (2.1) diperoleh dari kalkulasi daya nominal panel surya (W_p) terhadap luas permukaan aktif serta nilai efisiensi nominal modul. Nilai radiasi ini juga divalidasi dan dibandingkan secara langsung dengan pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur *Solar Power Meter* (W/m^2). Selanjutnya, besarnya total daya listrik masuk (*power input*) yang diterima oleh seluruh permukaan aktif panel surya secara teoritis dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (2.2) [4][11].

$$P_{in} = G \times A \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya radiasi matahari yang diterima panel surya (Watt)

G : Intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan panel (W/m^2)

A : Luas permukaan aktif panel surya (m^2)

Persamaan (2.2) menunjukkan daya input merupakan total daya dari energi radiasi matahari yang diterima secara langsung oleh luas permukaan aktif penampang panel surya [7][8]. Selain menghitung daya masuk, daya output elektrik yang dihasilkan langsung oleh panel surya juga dihitung dari pengukuran parameter kelistrikan berupa tegangan dan arus, dengan rumus pada Persamaan (2.3) [3][10].

$$P_{out} = V \times I \quad (2.3)$$

Keterangan:

P_{out} : Daya output panel surya hasil pengukuran (Watt)

V : Tegangan output panel surya (Volt)

I : Arus output panel surya (Ampere)

Pada Persamaan (2.3), daya keluaran (P_{out}) merupakan daya listrik arus searah (DC) yang dihasilkan panel surya dan disalurkan ke beban dummy load berupa empat resistor kapur $10\ \Omega$ $15\ W$ yang dirangkai seri dan paralel [21]. Nilai P_{out} diperoleh secara real-time dari pengukuran tegangan dan arus menggunakan sensor INA219 [14]. Nilai P_{in} dan P_{out} selanjutnya digunakan untuk menentukan persentase kinerja panel berdasarkan perbandingan daya masukan dan daya keluaran. Secara matematis, persentase kinerja panel dinyatakan pada Persamaan (2.4).

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

η : Efisiensi konversi panel surya (%)

Contoh perhitungan efisiensi panel surya pada Hari ke-1 dilakukan berdasarkan nilai irradiance yang terukur:

Rumus umum:

$$P = I \times A \times \eta$$

$$W_p = G \times A \times \eta$$

$$\eta = \frac{A}{W_p} \times G \quad (2.5)$$

$$= \frac{0.361\ m^2}{24.9\ W} \times 770\ W/m^2$$

$$\eta = 11.19$$

$$G = \frac{W_p}{A} \times \eta \quad (2.1)$$

$$= \frac{24.9 \text{ V}}{0.3618 \text{ m}^2} \times 11.19$$

$$= 770 \text{ W/m}^2$$

$$P_{in} = G \times A \quad (2.2)$$

$$= 770 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0.3618 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 278 \text{ W}$$

$$P_{out} = V \times I \quad (2.3)$$

$$= 19.12 \text{ V} \times 1.984 \text{ A}$$

$$P_{out} = 37.93 \text{ W}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (2.4)$$

$$= \left(\frac{37.93}{278} \right) \times 100$$

$$= 0.1364$$

$$\eta = 13.64\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai efisiensi panel surya sebesar 13,64%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 13,64% energi radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel dapat dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan energi lainnya tidak dikonversi menjadi daya listrik keluaran panel. Nilai efisiensi ini digunakan sebagai nilai acuan dalam pemantauan kinerja panel surya pada kondisi radiasi matahari yang berbeda.

2.2.3 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler rESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dengan prosesor Xtensa dual-core 32-bit LX6 berkecepatan hingga 240 MHz, SRAM 520 kB, dan flash memory 4 MB. ESP32 dilengkapi Wi-Fi

802.11 b/g/n dan Bluetooth 4.2 terintegrasi sehingga banyak digunakan dalam sistem IoT [15].



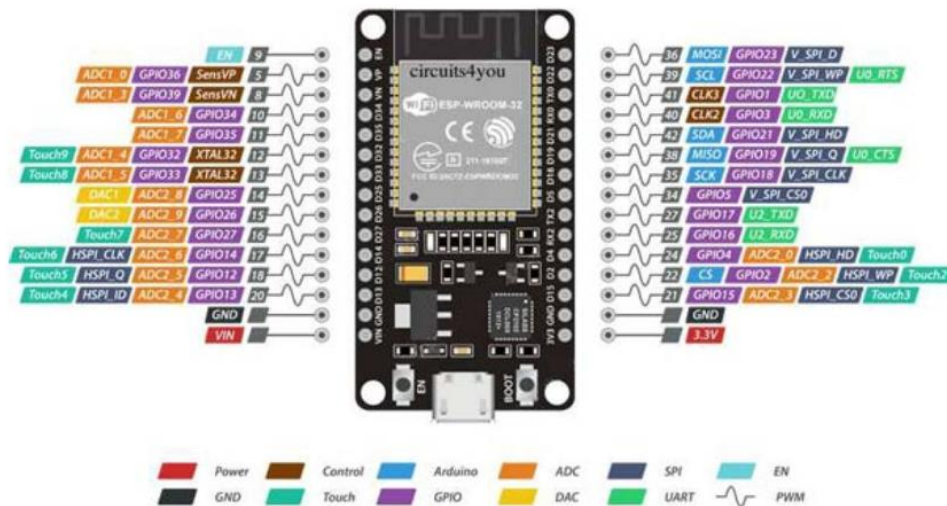
Gambar 2.7 ESP32

Pada Gambar 2.7 menunjukkan bentuk fisik ESP32 yang digunakan pada penelitian ini. Board ESP32 DevKit V1 merupakan papan pengembangan yang telah dilengkapi regulator tegangan, konektor USB, serta header pin untuk mempermudah proses pemrograman dan pengkoneksian dengan sensor maupun perangkat lain. Pada tabel 2.2 berikut ditampilkan spesifikasi utama ESP32 yang digunakan sebagai mikrokontroler utama dalam sistem monitoring panel surya [15].

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	Tensilica 32-bit Single-/Dual-core CPU Xtensa LX6
Digital input-output (DIO) pins	25
Memory	520 KiB SRAM
Flash Memory	4 MB
Analog Input (ADC) pins	6
Analog Output (DAC) Pins	2
UARTs	3
SPIs	2
I2Cs	3
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n/e/i
Clock Speed	240 MHz
Dimensions	51.5 x 29 x 5 mm

Pembahasan selanjutnya menjelaskan mengenai pinout pada ESP32. Pinout digunakan untuk mengetahui fungsi, posisi, dan kegunaan setiap pin yang tersedia pada board ESP32. Informasi ini penting dalam proses perancangan rangkaian karena membantu pengkabelan, koneksi sensor, serta pemrograman perangkat agar sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Dengan memahami pinout, penggunaan fitur-fitur pada ESP32 dapat dilakukan secara lebih optimal sesuai kebutuhan sistem.



Gambar 2.8 Pinout ESP32

Tabel 2.3 Pinout ESP32

Jenis Pin	Fungsi Utama	Kegunaan	Keterangan
GPIO (<i>General Purpose Input Output</i>)	Input/Output Digital	Membaca sinyal digital dari sensor, mengendalikan aktuator seperti LED, relay, dll.	Dapat dikonfigurasi sebagai input atau output
ADC (<i>Analog to Digital Converter</i>)	Konversi sinyal analog ke digital	Membaca nilai sensor analog seperti sensor	ESP32 memiliki 12-bit ADC, beberapa

Jenis Pin	Fungsi Utama	Kegunaan	Keterangan
		suhu, cahaya, potensiometer	pin mendukung ADC
DAC (<i>Digital to Analog Converter</i>)	Konversi sinyal digital ke analog	Menghasilkan sinyal analog seperti output audio atau kontrol motor	Tersedia pada beberapa pin tertentu
PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	Menghasilkan sinyal PWM	Mengontrol kecepatan motor, intensitas LED, dan perangkat yang memerlukan sinyal PWM	Pin GPIO dapat digunakan untuk PWM
UART (<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i>)	Komunikasi serial	Menghubungkan ESP32 dengan perangkat serial seperti modul GPS, Bluetooth, atau komputer	Biasanya menggunakan pin khusus RX dan TX
I2C (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)	Komunikasi data dua arah dengan beberapa perangkat	Menghubungkan sensor, display, dan modul lain secara bersamaan menggunakan dua kabel SDA, SCL	Pin khusus SDA dan SCL
SPI (<i>Serial Peripheral Interface</i>)	Komunikasi serial cepat	Menghubungkan perangkat dengan kecepatan tinggi seperti memori	Pin khusus MOSI, MISO, SCK

Jenis Pin	Fungsi Utama	Kegunaan	Keterangan
		eksternal, display TFT	
Strapping Pins	Menentukan mode booting ESP32	Mengatur mode booting seperti flash mode atau download mode	Harus diperhatikan saat desain hardware

2.2.3.1 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, serta mengunggah program ke mikrokontroler seperti Arduino maupun ESP32. Software ini dirancang dengan tampilan yang sederhana sehingga mudah digunakan dalam pengembangan sistem elektronika dan Internet of Things (IoT), baik oleh pemula maupun pengguna tingkat lanjut [20].

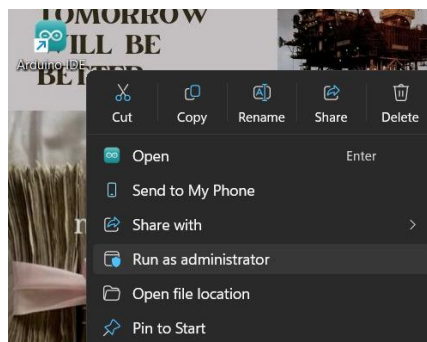
Pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan sebagai media pemrograman utama untuk ESP32 pada sistem monitoring kinerja panel surya. Seluruh program sistem dibuat menggunakan Arduino IDE, mulai dari pembacaan sensor BH1750 untuk intensitas cahaya, sensor INA219 untuk tegangan dan arus, perhitungan daya dan efisiensi panel surya, hingga pengiriman data ke Telegram dan Google Spreadsheet. Selain itu, Arduino IDE juga digunakan untuk proses debugging dan pemantauan data secara real-time melalui fitur Serial Monitor sehingga memudahkan pengujian serta pengembangan sistem monitoring yang dibuat [20].



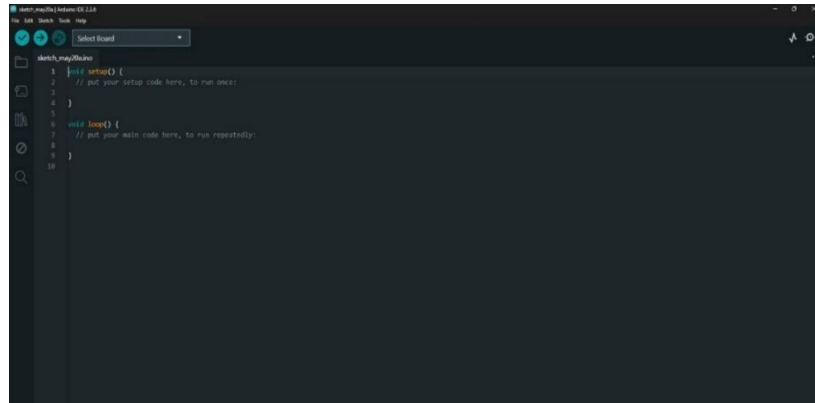
Gambar 2.9 Arduino IDE

Arduino IDE mendukung berbagai jenis board mikrokontroler, termasuk ESP32 yang digunakan pada penelitian ini. Bahasa pemrograman yang digunakan berbasis C/C++ dengan struktur yang telah disederhanakan sehingga lebih mudah dipahami dalam pengembangan sistem elektronika dan Internet of Things (IoT). Setelah memahami tampilan dan fitur utama pada Arduino IDE, tahap selanjutnya adalah memahami proses penggunaannya dalam pembuatan sistem monitoring panel surya. Proses diawali dengan membuka software Arduino IDE melalui ikon di desktop dengan cara klik kanan, kemudian memilih “Run as Administrator” agar software memiliki izin akses penuh selama proses pemrograman dan upload program ke ESP32 pada Gambar 2.10.

Gambar 2.10 Tampilan awal software Arduino IDE saat dijalankan menggunakan fitur “Run as Administrator”



Setelah Arduino IDE terbuka, pengguna dapat membuat lembar kerja baru dengan menekan tombol CTRL + N atau melalui menu File → New. sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tampilan lembar kerja baru (sketch) pada Arduino IDE untuk pembuatan program ESP32



Gambar 2.12 Proses instalasi library yang digunakan pada sistem monitoring panel surya melalui Library Manager Arduino IDE

Setelah seluruh library terpasang, proses dilanjutkan dengan menuliskan kode program pada sketch Arduino IDE sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13. Program yang dibuat mencakup pembacaan sensor, perhitungan daya dan efisiensi panel surya, tampilan data pada LCD, serta pengiriman data ke Telegram dan Google Spreadsheet.

```

1  #include <Arduino.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3  #include <RTClib.h>
4  #include <BH1750.h>
5  #include <I2CKeyPad.h>
6  #include <Adafruit_INA219.h>
7  #include <OneWire.h>
8  #include <OneWire.h>
9  #include <ArduinoJson.h>
10
11 //set wifi
12 const char* ssid = "udad";
13 const char* password = "UdadGratis";
14
15 //rtc
16 RTC_DS3231 rtc;
17
18 //bh1750
19 BH1750 myBH1750 = BH1750(0x23);
20 float lightIntensity = 0;
21
22 //keypad
23 I2CKeyPad keyPad(0x21);
24 char keypad[19] = "123456789*0#";
25
26 //LCD
27 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
28
29 //INA219
30 Adafruit_INA219 ina219;
31 float busvoltage = 0;
32 float current_mA = 0;
33 float Daya = 0;
34
35 //TELEGRAM BOT
36 #define BOT_TOKEN "8752051850:AAGGIB0rkyFMDL-PC2Wv1X0whK5VW9rW7BA"
37
38 const unsigned long BOT_MTBS = 1000; // mean time between scan messages

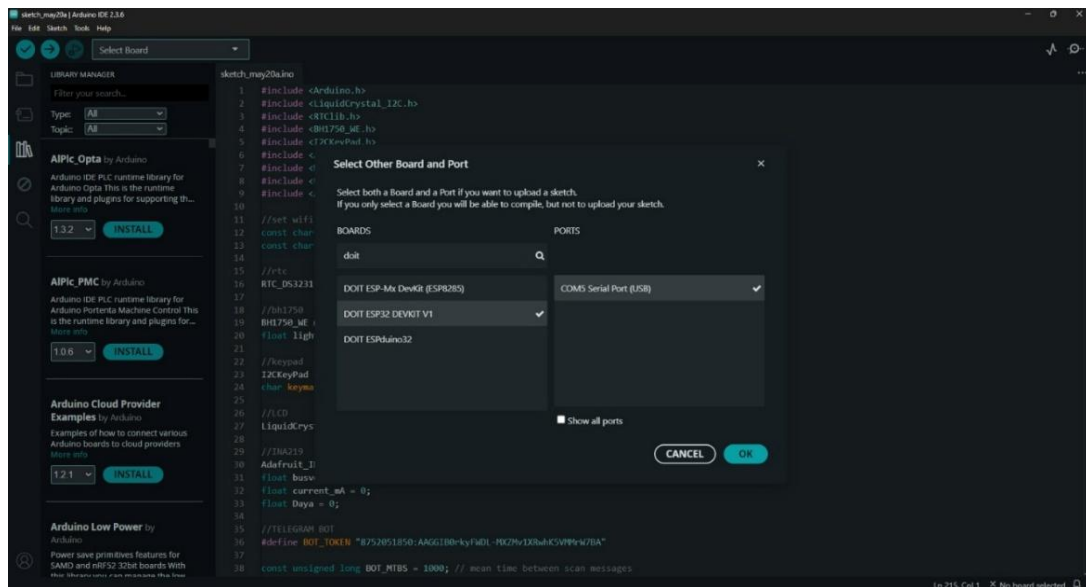
```

Gambar 2.13 Tampilan penulisan kode program ESP32 pada lembar kerja Arduino IDE.



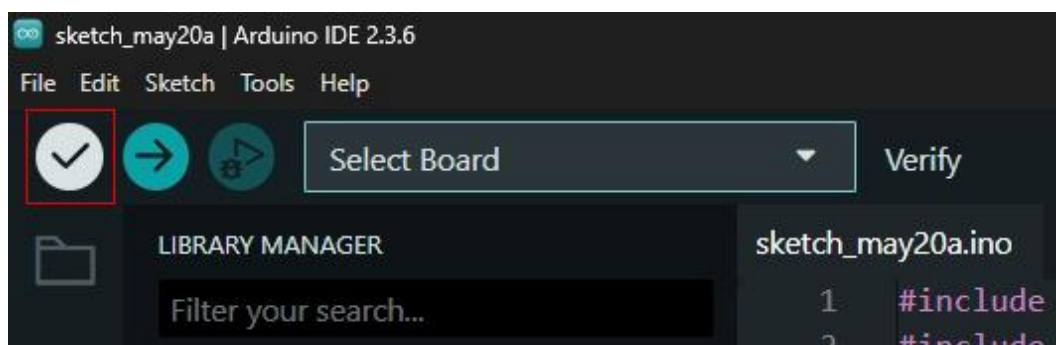
Gambar 2.14 Proses menghubungkan board ESP32 ke laptop menggunakan kabel USB

Setelah board terhubung, konfigurasi dilakukan dengan memilih "DOIT ESP32 DEVKIT V1" pada menu Select Board dan memilih port komunikasi yang sesuai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.15.



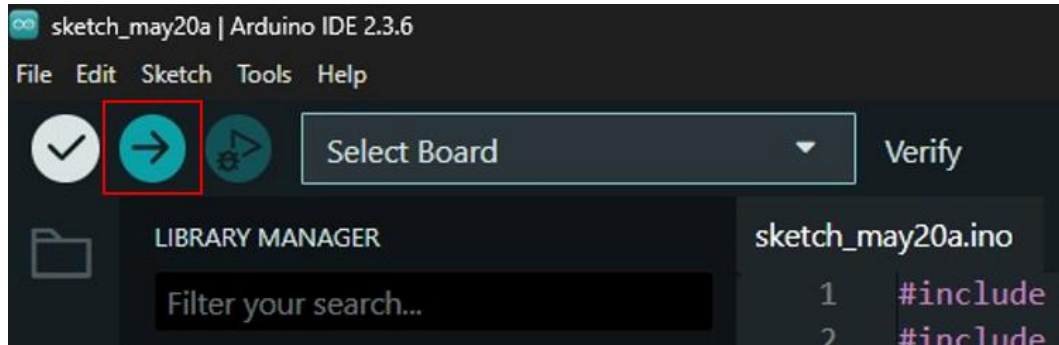
Gambar 2.15 Proses pemilihan board “DOIT ESP32 DEVKIT V1” dan port komunikasi ESP32 pada Arduino IDE.

Setelah konfigurasi selesai, program perlu diperiksa terlebih dahulu menggunakan tombol “Verify” yang ditandai dengan simbol centang di pojok kiri atas Arduino IDE. Proses verifikasi ini bertujuan untuk memeriksa dan memastikan tidak terdapat kesalahan sintaks maupun error pada kode program sebelum diunggah ke board.



Gambar 2.16 Proses verifikasi program menggunakan tombol “Verify” pada Arduino IDE.

Apabila proses verifikasi berhasil tanpa error, program diunggah ke board ESP32 menggunakan tombol Upload sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Proses upload program ke board ESP32 menggunakan Arduino IDE



Gambar 2.18 Tampilan notifikasi “Done Uploading” yang menunjukkan program berhasil diunggah ke board ESP32 melalui Arduino IDE.

2.2.4 Sensor GY-302 BH1750

Sensor GY-302 BH1750 merupakan sensor cahaya digital atau ambient light sensor yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux. Sensor ini bekerja menggunakan fotodioda yang mampu menangkap cahaya, kemudian mengubahnya menjadi data digital melalui ADC internal sehingga data dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler menggunakan komunikasi I2C. Sensor BH1750 mampu mengukur intensitas cahaya dalam rentang 1 hingga 65535 lux dengan resolusi 16-bit serta tidak memerlukan pengujian eksternal tambahan. Selain itu, sensor ini banyak digunakan pada sistem monitoring karena memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, konsumsi daya rendah, dan mampu memberikan hasil pembacaan lux secara real-time tanpa memerlukan rangkaian tambahan yang rumit [13].



Gambar 2.19 Sensor Cahaya GY-302 BH1750

Pada Gambar 2.19 merupakan Sensor Cahaya BH1750, pada penelitian ini sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan panel surya. Data lux yang diperoleh digunakan sebagai parameter input untuk mengetahui hubungan antara cahaya matahari dengan daya output panel surya. Nilai intensitas cahaya tersebut nantinya dibandingkan dengan daya listrik yang dihasilkan panel untuk mengetahui kondisi performa panel surya. Apabila intensitas cahaya tinggi tetapi daya output yang dihasilkan rendah, maka sistem dapat mengindikasikan adanya penurunan performa pada panel surya.

Sensor GY-302 BH1750 memiliki beberapa fitur utama [13]:

1. Lebih Akurat menghasilkan nilai lux yang telah diuji.
2. Lebih mudah digunakan, antarmuka I2C digital, tidak memerlukan perhitungan ADC.
3. Rentang pengukuran yang luas hingga 65.535 lux, mencakup pencahayaan dalam ruangan yang redup hingga sinar matahari yang terang.
4. Konsumsi daya rendah, berguna untuk untuk proyek portable dan yang menggunakan daya baterai.

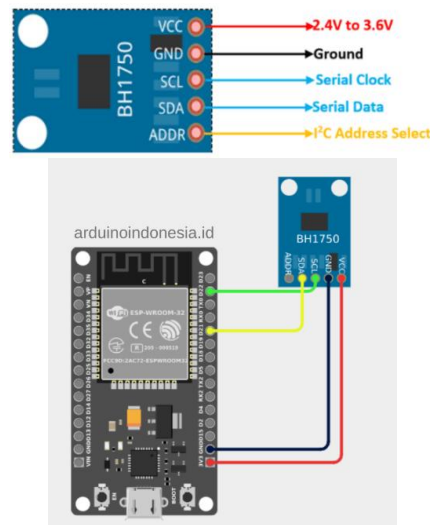
Sensor ini bekerja dengan prinsip deteksi cahaya menggunakan fotodiode internal. Di dalam sensor terdapat elemen peka cahaya yang menangkap partikel foton dari radiasi matahari. Cahaya yang masuk kemudian diubah menjadi arus listrik, diperkuat, dan dikonversi oleh rangkaian ADC internal menjadi sinyal digital melalui antarmuka I2C [13].

Dalam penelitian ini, GY-302 BH1750 diletakkan sejajar dengan permukaan panel surya. Area deteksi utama adalah lubang sensor yang menghadap langsung ke arah langit. Ketika intensitas matahari meningkat, fotodiode akan

menerima lebih banyak energi foton, sehingga menghasilkan nilai Lux yang lebih tinggi. Data ini digunakan Aira untuk mengetahui ketersediaan energi matahari sebelum dikonversi menjadi energi listrik oleh panel [13].

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor GY-302 BH1750

Spesifikasi	Keterangan
Model Modul	GY-302
Chip Utama	BH1750FVI
Tegangan Operasi (Power Supply)	3,3V – 5V DC
Antarmuka Komunikasi (Interface)	Bus I2C (Alamat default: 0x23 atau 0x5C)
Konverter Analog-ke-Digital	16-bit AD Converter
Rentang Pengukuran (Output Range)	0 – 65.535 Lux
Resolusi & Akurasi	Sensitivitas tinggi yang dapat disesuaikan (akurasi khas 1 Lux)
Konsumsi Arus	$\pm 0,12$ mA saat aktif (didukung mode power-down)
Suhu Operasional (Operating Temp)	-40°C hingga +85°C
Dimensi Fisik Modul	13,9 mm x 18,5 mm
Fungsi Pada Sistem	Mengukur kuat penerangan (Lux) untuk kalkulasi intensitas radiasi (G)



Gambar 2.20 Pinout Sensor GY-302 BH1750

Pada Gambar 2.20 merupakan Pinout Sensor GY-302 BH1750. Sensor GY-302 BH1750 umumnya memiliki beberapa pin utama yaitu VCC, GND, SCL, SDA dan ADD. Pin VCC digunakan sebagai sumber tegangan, pin GND sebagai ground, pin SDA digunakan untuk jalur data I2C, dan pin SCL digunakan sebagai jalur clock I2C. Pin ADD digunakan untuk mengubah alamat I2C sensor agar dapat digunakan bersama perangkat I2C lain dalam satu jalur komunikasi [13]. Berdasarkan diagram *pinout* dari Sensor GY-302 BH1750, terdapat beberapa jalur koneksi utama yang harus dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 agar komunikasi data intensitas cahaya dapat berjalan dengan baik. Sensor ini menggunakan protokol I2C (*Inter-Integrated Circuit*), sehingga hanya memerlukan dua jalur data utama untuk mengirimkan informasi digital. Berikut Tabel 2.5 Pinout Sensor GY-302 BH1750.

Tabel 2.5 Pinout Sensor GY-302 BH1750

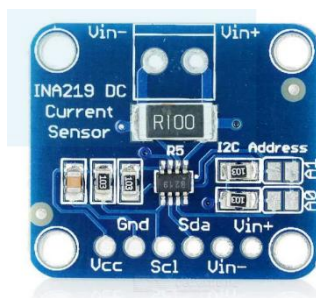
Nama Pin	Fungsi Utama
VCC	Terminal masukan catu daya (power supply) yang memerlukan tegangan kerja linear antara 2,4V hingga 3,6V DC, dengan nilai operasional optimal pada level 3,0V.
GND	Jalur referensi potensial nol (grounding) yang dikoneksikan ke titik pembumian bersama pada rangkaian elektronika sistem.

Nama Pin	Fungsi Utama
SCL	Serial Clock Line, berperan sebagai konduktor transmisi sinyal detak (clock synchronous) guna mengatur ritme komunikasi pada bus I2C.
SDA	Serial Data Line, berfungsi sebagai media pengantar data digital dua arah (bidirectional) dalam proses transfer parameter urutan data berbasis protokol I2C.
ADDR	Address Select, digunakan untuk menentukan konfigurasi bit alamat fisik perangkat (hardware addressing) guna menghindari konflik interupsi saat menggunakan multi-sensor pada satu jalur bus.

2.2.5 Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan modul pengukur parameter kelistrikan (tegangan, arus, dan daya) secara dua arah menggunakan komunikasi I2C. Daya listrik dihitung secara otomatis menggunakan persamaan $P = V \times I$. Modul ini umumnya telah dilengkapi dengan komponen pendukung yang memungkinkan integrasi secara praktis dengan mikrokontroler seperti ESP32 melalui komunikasi I2C, sehingga data dapat diproses dan ditampilkan pada sistem monitoring secara akurat [14].

Dalam perancangan monitoring panel surya ini, sensor INA219 menempati posisi sentral sebagai unit pengumpul data energi utama. Dengan kemampuan pengukuran tegangan bus hingga 26V DC, modul ini menjadi pilihan yang ideal untuk memantau *output* daya dari panel surya secara *real-time*. Fungsi utamanya adalah mencatat setiap perubahan parameter listrik yang dihasilkan panel sebelum diteruskan ke beban resistor kapur, di mana nilai tersebut nantinya akan dibandingkan dengan data intensitas cahaya dari sensor BH1750 untuk menganalisis efisiensi serta kondisi performa panel surya secara menyeluruh [14].

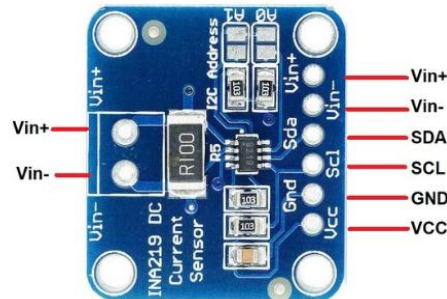


Gambar 2.21 Sensor INA219

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor INA219

Spesifikasi	Keterangan
Fungsi Utama	Mengukur parameter tegangan, arus, dan daya listrik DC pada beban
Antarmuka Komunikasi (Interface)	Bus I2C (Pin SDA dan SCL)
Konfigurasi Alamat (I2C Address)	Dapat diubah hingga 16 alamat berbeda via solder pad
Koneksi Multi-Sensor	Dapat diparalel hingga 16 perangkat dalam 1 jalur komunikasi I2C
Alamat I2C Default	0x40
Tegangan Operasi (Power Supply)	3,3V – 5V DC
Level Data Tegangan (Data Level)	3,3V – 5V
Rentang Pengukuran Tegangan	0V hingga +26V DC
Rentang Pengukuran Arus	0A hingga 3,2A
Resolusi Komputasi	12-bit ADC (untuk pembacaan tegangan, arus, dan daya)
Akurasi Pengukuran	Tinggi, dengan tingkat toleransi miss 0,5% hingga $\pm 1\%$

Konfigurasi pinout sensor INA219 ditunjukkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Pinout Sensor INA219

Tabel 2.7 Pinout Sensor INA 219[14]

Nama Pin	Fungsi Utama
VCC	Input catu daya positif untuk mengoperasikan modul sensor, mendukung tegangan linear rentang 3,3V hingga 5V DC.
GND	Terminal referensi potensial nol (ground) yang dihubungkan ke ground sistem untuk melengkapi sirkuit.
SCL	Serial Clock Line, jalur input sinyal clock pengatur sinkronisasi data digital pada bus komunikasi I2C.
SDA	Serial Data Line, jalur komunikasi dua arah (bidirectional) untuk transfer bit parameter arus dan tegangan.
Vin-	Terminal input tegangan negatif beban, dihubungkan ke sisi beban sirkuit (setelah melewati resistor shunt).
Vin+	Terminal input tegangan positif beban, menjembatani input daya dari sumber energi utama (panel surya).

2.2.6 Power Supply Switching 12 Volt 5 Ampere

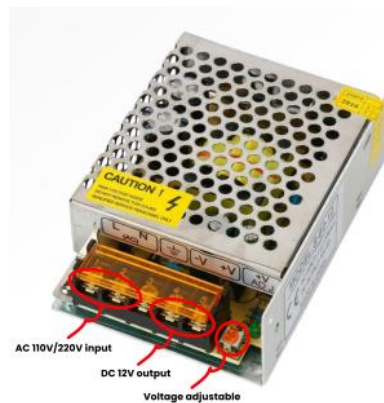


Gambar 2.23 *Power Supply Switching 12 Volt 5 Ampere*

Pada Gambar 2.23 Power Supply Switching 12V 5A berfungsi sebagai sumber daya utama sistem, menyuplai tegangan 12V DC secara kontinu tanpa membebani panel surya yang sedang diuji [22]. Spesifikasi Power Supply Switching terdapat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Spesifikasi Power Supply Switching 12V 5A

Spesifikasi	Keterangan
Jenis	Switching Power Supply
Tegangan Input	AC 110–240 V
Frekuensi Input	50/60 Hz
Tegangan Output	DC 12 V
Arus Output Maksimum	5 A
Daya Maksimum	60 W
Jenis Output	DC (Arus Searah)
Sistem Pendinginan	Pendinginan udara (ventilasi casing)
Material Casing	Jaring logam pelindung
Dimensi	110 × 78 × 37 mm
Jarak Lubang Baut	123 mm



Gambar 2.24 Pinout Power Supply Switching 12V 5A

Tabel 2.9 Pinout Power Supply Switching 12V 5A

Simbol Terminal	Nama Pin	Fungsi
L	Line / Phase	Jalur masukan fasa (arus AC hidup) dari jala-jala listrik PLN melalui sakelar pengaman.
N	Neutral	Jalur masukan netral arus AC dari sumber jala-jala listrik PLN.
FG / Arde	Frame Ground	Jalur arde keselamatan bumi yang terhubung ke bodi jaring logam untuk membuang arus bocor.
-V / COM	Common Ground	Terminal keluaran kutub negatif DC yang bertindak sebagai referensi masa bersama sirkuit alat.
+V	Positive Output	Terminal keluaran kutub positif DC 12V penyedia suplai daya hulu menuju Buck Converter.
V+ ADJ	Trimpot Adjuster	Komponen potensiometer kecil onboard untuk kalibrasi halus tingkat presisi tegangan output.

2.2.7 Buck Converter MP1584

Buck converter merupakan jenis rangkaian elektronika daya yang dikategorikan sebagai regulator peralihan DC-ke-DC (*step-down switching regulator*) dengan fungsi utama menurunkan nilai tegangan searah menjadi level tegangan searah yang lebih rendah secara efisien. Modul *buck converter* varian MP1584 ini berbasis pada integrasi sirkuit terpadu IC MP1584 yang dikembangkan oleh pabrikan *Monolithic Power Systems* (MPS). Modul regulator ini menjadi pilihan utama dalam perancangan berbagai perangkat sistem tertanam dan sistem IoT karena keunggulannya yang memiliki dimensi fisik sangat ringkas, nilai efisiensi daya yang tinggi, serta kemampuan regulasi output yang stabil terhadap fluktuasi input [23].



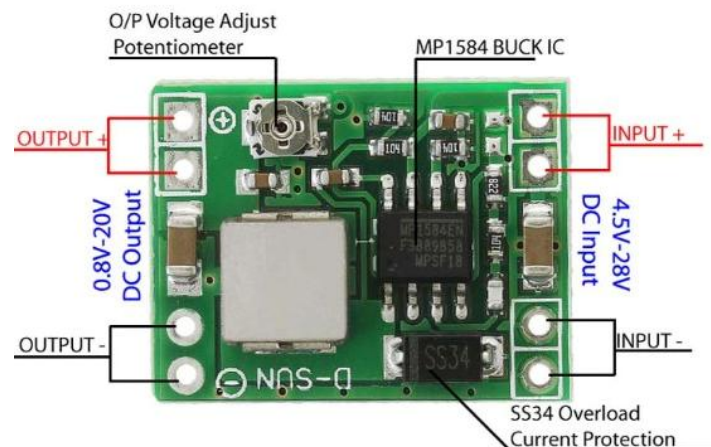
Gambar 2.25 Buck Converter MP1584

Pada Gambar 2.25 merupakan Buck Converter, berdasarkan ukuran modul yang ringkas dan kemampuan regulasi tegangan yang stabil, buck converter MP1584 memiliki peran penting sebagai pengondisi daya pada rangkaian elektronik digital. Pada alat monitoring panel surya ini, modul MP1584 digunakan untuk menurunkan tegangan masukan sebesar 12V dari power supply utama menjadi tegangan keluaran stabil sebesar 5V. Tegangan 5V tersebut kemudian digunakan sebagai sumber daya untuk mikrokontroler ESP32, sensor intensitas cahaya BH1750, sensor arus INA219, serta modul LCD. Penggunaan buck converter bertujuan agar setiap komponen memperoleh suplai tegangan yang sesuai dengan spesifikasi kerja sehingga sistem dapat bekerja secara optimal dan aman [23]. Buck converter MP1584 memiliki beberapa fungsi utama pada sistem monitoring panel surya, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.10 Spesifikasi Teknis Modul Buck Converter MP1584

Spesifikasi	Keterangan
IC Utama	MP1584EN
Jenis Modul	DC-to-DC Step Down (Buck) Converter
Tegangan Input	4,5V - 28V DC
Tegangan Output	0,8V - 20V DC (Dapat diatur via potensiometer)
Arus Output Maksimum	3 A
Efisiensi Konversi	Hingga 96%
Frekuensi Switching	1 MHz - 1,5 MHz
Output Ripple	< 30 mV
Suhu Operasional	-40°C hingga +85°C
Dimensi Fisik	22 mm x 17 mm x 4 mm

Konfigurasi pinout Buck Converter MP1584 ditunjukkan pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Pinout Buck Converter 1584

Tabel 2.11 Pinout Modul Buck Converter MP1584

Nama Pin	Fungsi Utama
IN-	Input Ground / GND (Terhubung ke kutub negatif dari sumber tegangan masukan/catu daya induk)

Nama Pin	Fungsi Utama
IN+	Input Tegangan Positif (Menerima suplai tegangan DC awal yang akan diturunkan, rentang nilai tegangan antara 4,5V hingga 28V)
OUT-	Output Ground / GND Beban (Referensi negatif untuk komponen mikrokontroler atau sensor, terhubung secara common ground dengan IN-)
OUT+	Output Tegangan Positif (Jalur keluaran daya hasil regulasi penurunan tegangan stabil yang siap disalurkan ke sistem beban)
O/P Voltage Adjust Potentiometer / Onboard Trimmer Potentiometer	Tidak dihubungkan ke kabel fisik sirkuit. Komponen ini merupakan tuas mekanis yang digunakan dengan cara diputar menggunakan obeng mikro pada tahap kalibrasi awal untuk menurunkan dan mengunci output tepat di angka 5,0V DC sebelum pin OUT+ disambungkan ke mikrokontroler.

2.2.8 Resistor Kapur 15 W 10 Ω J

Resistor daya atau yang umum dikenal sebagai resistor kapur merupakan komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk menghambat aliran arus listrik serta mengubah energi listrik menjadi energi panas. Resistor jenis ini dirancang untuk mampu bekerja pada daya yang lebih besar dibandingkan resistor biasa karena menggunakan elemen resistif yang dibungkus dengan bahan keramik tahan panas. Sebutan resistor kapur berasal dari bentuk fisiknya yang menyerupai balok keramik berwarna putih. Pada penelitian ini digunakan resistor daya dengan nilai hambatan 10 Ω , toleransi J atau $\pm 5\%$, dan kemampuan disipasi daya maksimum sebesar 15 Watt. Resistor tersebut digunakan sebagai beban tiruan (dummy load) pada keluaran panel surya untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang tetap selama proses pengukuran berlangsung. Pemilihan resistor 15 Watt 10 Ω J dilakukan karena memiliki kemampuan menahan panas yang cukup baik serta sesuai dengan daya keluaran panel surya yang digunakan pada penelitian [20].



Gambar 2.27 Resistor 15W 10 Ω J [21]

Dalam penelitian ini, resistor daya 15 Watt 10 Ω J digunakan sebagai beban tiruan (dummy load) pada keluaran panel surya. Resistor dipasang secara langsung pada terminal output panel surya sehingga arus listrik dapat mengalir pada rangkaian tertutup dan selanjutnya diukur oleh sensor INA219. Penggunaan resistor sebagai beban tetap bertujuan untuk menjaga kondisi pembebanan panel surya agar tetap konstan selama proses monitoring dan pengambilan data. Dengan kondisi beban yang tetap, perubahan nilai tegangan, arus, dan daya yang diperoleh dapat dianalisis berdasarkan perubahan intensitas cahaya matahari dan kondisi lingkungan selama pengujian [20].

2.2.9 LCD I2C 20x4

LCD (Liquid Crystal Display) I2C 20x4 merupakan perangkat tampilan elektronik yang digunakan untuk menampilkan informasi berupa karakter, angka, maupun simbol dengan memanfaatkan teknologi kristal cair sebagai media tampilan. Prinsip kerja LCD didasarkan pada kemampuan kristal cair dalam mengatur cahaya yang melewatinya ketika diberikan tegangan listrik sehingga dapat membentuk karakter tertentu pada layar [19].

Pada penelitian ini digunakan LCD Character 2004 dengan modul I2C untuk Arduino yang memiliki kemampuan menampilkan 20 karakter pada 4 baris tampilan. LCD ini menggunakan backlight berwarna hijau (green backlight) sehingga tampilan data lebih jelas dan mudah dibaca. Selain itu, LCD telah dilengkapi modul I2C yang dipasang langsung pada bagian belakang modul LCD sehingga proses komunikasi dengan ESP32 menjadi lebih sederhana karena hanya memerlukan 4 jalur utama, yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL [19].



Gambar 2.28 LCD (Liquid Crystal Display) I2C

Pada Gambar 2.28 merupakan LCD (Liquid Crystal Display) I2C 20x4, dalam penelitian ini, LCD digunakan untuk menampilkan data monitoring secara real-time langsung pada alat. Data yang ditampilkan pada LCD meliputi:

Tabel 2.12 Spesifikasi LCD Character 2004 + I2C Module

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Display	Character LCD (20 Karakter x 4 Baris)
IC Driver Utama	HD44780 (LCD) dan PCF8574 (Modul I2C)
Tegangan Operasional	5V DC
Warna Backlight	Biru (Teks Putih) atau Hijau-Kuning (Teks Hitam)
Antarmuka Komunikasi	I2C (Serial Data SDA dan Serial Clock SCL)
Alamat Default I2C	0x27 atau 0x3F (Tergantung manufaktur IC PCF8574)
Penyesuaian Kontras	Tersedia Trimpot Potentiometer onboard pada modul I2C

Spesifikasi	Keterangan
Dimensi Modul	98 mm x 60 mm x 12 mm



Gambar 2.29 Pinout LCD (Liquid Crystal Display) I2C 20x4

Tabel 2.14 Konfigurasi Pinout Terminal LCD Character 2004 via Modul I2C

Nama pin	Fungsi Utama
GND	Ground (Dihubungkan ke referensi negatif catu daya / GND mikrokontroler)
VCC	Input Suplai Tegangan Positif (+5V DC untuk mengaktifkan logika LCD dan backlight)
SDA	Serial Data Line (Jalur komunikasi data I2C, dihubungkan ke GPIO 21 ESP32)
CL	Serial Clock Line (Jalur clock sinkronisasi I2C, dihubungkan ke GPIO 22 ESP32)

2.2.10 Keypad I2C 4X4 Matrix

Module Keypad 4x4 Matrix berbasis I2C merupakan sebuah perangkat keras masukan (input device) yang mengintegrasikan papan tombol matriks 16 sakelar dengan cip ekspander I/O serial PCF8574. Pada konfigurasi matriks konvensional, sebuah keypad 4x4 membutuhkan sedikitnya 8 jalur pin I/O digital pada mikrokontroler (4 pin untuk baris dan 4 pin untuk kolom). Dengan mengimplementasikan modul I2C bridge ini, seluruh komunikasi penandaan penekanan tombol ditransmisikan secara serial melalui bus Inter-Integrated Circuit (I2C) yang hanya menggunakan 2 pin komunikasi data sirkuit, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). Teknologi ini memberikan efisiensi yang sangat tinggi dalam penghematan pin mikrokontroler, sehingga sisa pin I/O digital lainnya dapat dialokasikan untuk kebutuhan sensor dan akuisisi data subsistem lainnya [24].

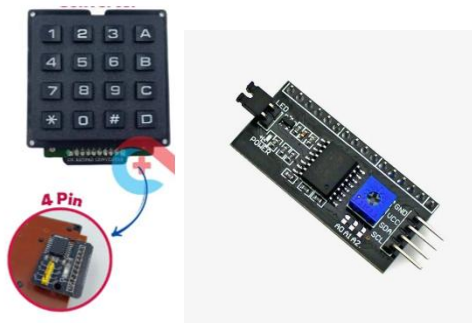


Gambar 2.30 Keypad 4x4

Tabel 2.13 Spesifikasi Keypad 4x4 Matrix I2C

Spesifikasi	Keterangan
IC Driver Utama	PCF8574 / PCF8574T (Remote 8-Bit I/O Expander)
Protokol Komunikasi	I2C (Inter-Integrated Circuit)
Tegangan Kerja (Operating Voltage)	DC 2.5V – 6.0V (Kompatibel dengan 3.3V dan 5V)
Konsumsi Arus Standby	Maksimum 10 uA (Sangat rendah daya)

Spesifikasi	Keterangan
Konfigurasi Tombol	4 Baris x 4 Kolom (16 Tombol Matriks)
Alamat I2C Default	0x20 hingga 0x38 (Dapat diubah melalui jumper alamat A0, A1, A2)
Jenis Mekanis Tombol	Membran fleksibel tipis atau Tactile Switch (Tergantung varian fisik)
Konektor Fisik	4 Pin Header (VCC, GND, SDA, SCL)



Gambar 2.31 Pinout Keypad 4x4

Tabel 2.14 Pinout Keypad I2C 4x4

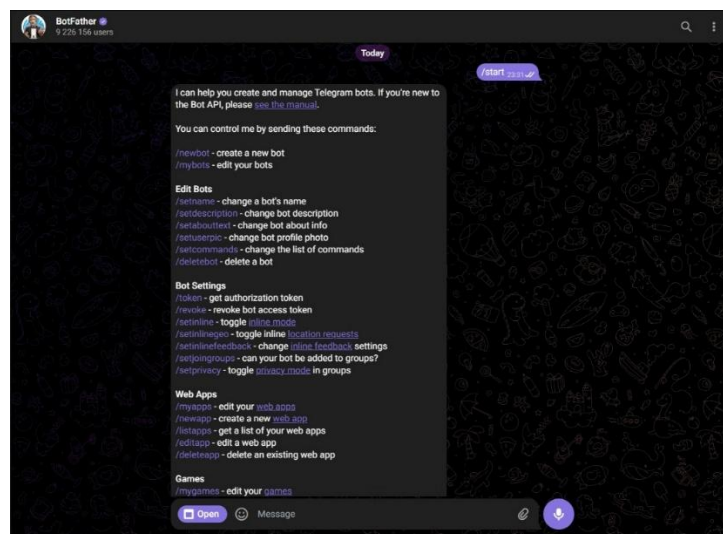
No.	Nama Pin	Jenis Jalur	Fungsi
1.	VCC	Power Supply	Jalur masukan tegangan positif +3.3V hingga +5V DC sebagai pencatu daya utama IC PCF8574 pada modul ekspander I2C keypad.
2.	GND	Ground	Referensi negatif catu daya sistem
3.	SDA	Serial Data	Jalur komunikasi data serial dua arah (bidirectional) untuk mentransmisikan kode penekanan tombol matriks menuju pin GPIO ESP32.
4.	SCL	Serial Clock	Serial Clock Line (Jalur clock sinkronisasi untuk polling matriks data I2C)

2.2.11 Telegram Bot API

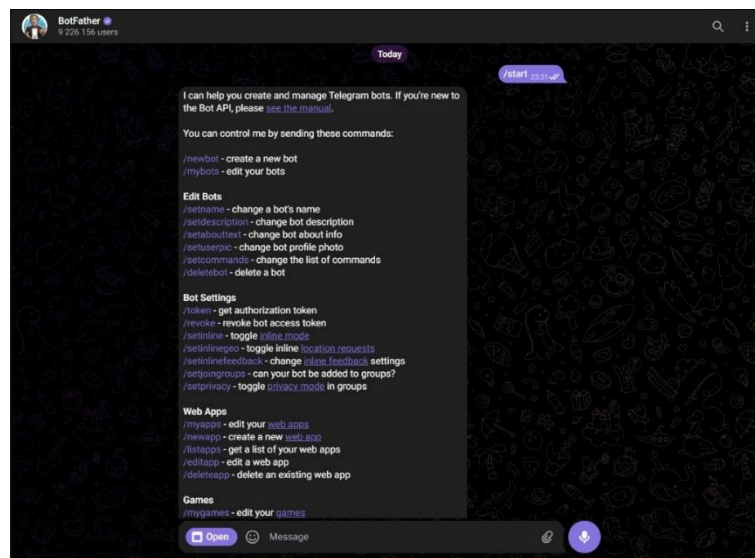
Telegram Bot digunakan sebagai media utama untuk pengiriman notifikasi sistem monitoring secara real-time. Telegram merupakan aplikasi perpesanan berbasis internet yang dapat digunakan pada berbagai platform seperti Android, iOS, maupun Desktop, sehingga memudahkan pengguna dalam menerima informasi dari perangkat IoT kapan saja dan di mana saja [17].



Gambar 2.32 Telegram Bot API

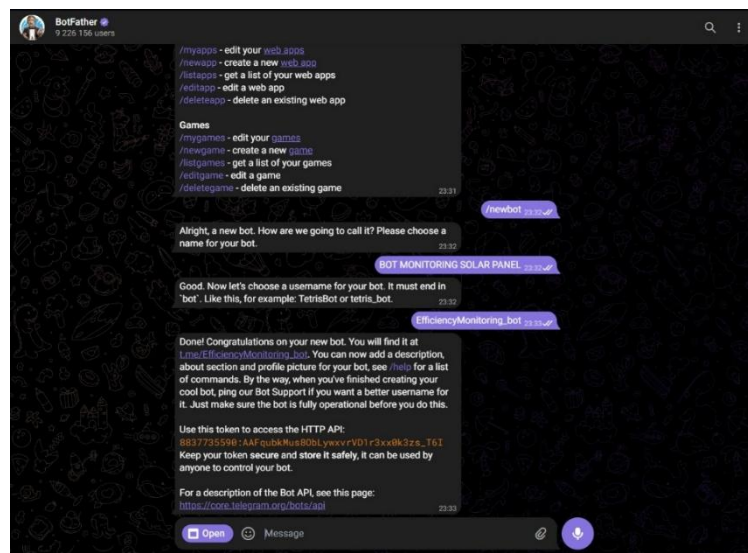


Gambar 2.33 Tampilan awal BotFather pada aplikasi Telegram

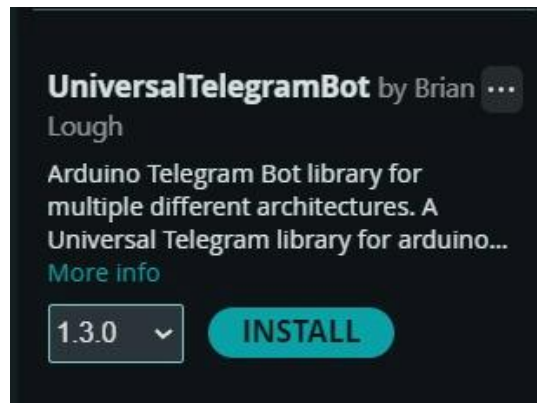


Gambar 2.34 Proses menjalankan perintah “/start” pada BotFather.

Selanjutnya, ketik perintah /newbot pada chat BotFather. BotFather akan meminta nama dan *username* bot, kemudian menghasilkan token bot Telegram yang berfungsi sebagai identitas bot dan akses komunikasi antara ESP32 dengan Telegram Bot API. Token ini perlu disimpan karena akan digunakan pada program di Arduino IDE. Proses pembuatan bot dan token ditunjukkan pada Gambar 2.35.



Gambar 2.35 Proses menjalankan perintah “/newbot” dan tampilan token bot yang diberikan oleh BotFather.



Gambar 2.36 Proses instalasi library UniversalTelegramBot pada Arduino IDE

```
#include <Wifi.h>
#include <WifiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>

// Wifi network station credentials
#define WIFI_SSID "Aira"
#define WIFI_PASSWORD "AiraHotSpot"
// Telegram BOT Token (Get from Botfather)
#define BOT_TOKEN "8837735590:AAFqubkMus8ObLynoxvrVD1r3xx0k3zs_T6I1"

const unsigned long BOT_MTBS = 1000; // mean time between scan messages

WifiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);
unsigned long bot_lasttime; // last time messages' scan has been done
bool Start = false;

void handleNewMessages(int numNewMessages)
{
  Serial.println("handleNewMessages");
  Serial.println(String(numNewMessages));

  for (int i = 0; i < numNewMessages; i++)
  {
    String chat_id = bot.messages[i].chat_id;
    String text = bot.messages[i].text;

    String from_name = bot.messages[i].from_name;
    if (from_name == "")
      from_name = "Guest";

    if (text == "/send_test_action")
    {
      bot.sendChatAction(chat_id, "typing");
      delay(4000);
      bot.sendMessage(chat_id, "Did you see the action message?");
    }
  }
}
```

Gambar 2.37 Penulisan token bot Telegram pada kode program Arduino IDE.

2.2.12 Google Spreadsheet

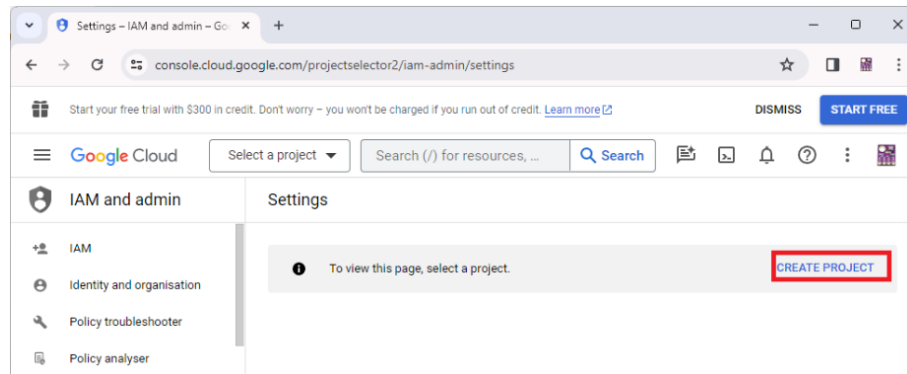
Google Spreadsheet merupakan aplikasi pengolah data berbasis cloud yang dikembangkan oleh Google dan dapat digunakan untuk menyimpan, mengelola, serta memantau data secara online melalui koneksi internet. Google Spreadsheet dapat diakses melalui browser maupun perangkat mobile tanpa memerlukan instalasi software tambahan sehingga memudahkan pengguna dalam memantau data dari mana saja [18].



Google Sheets

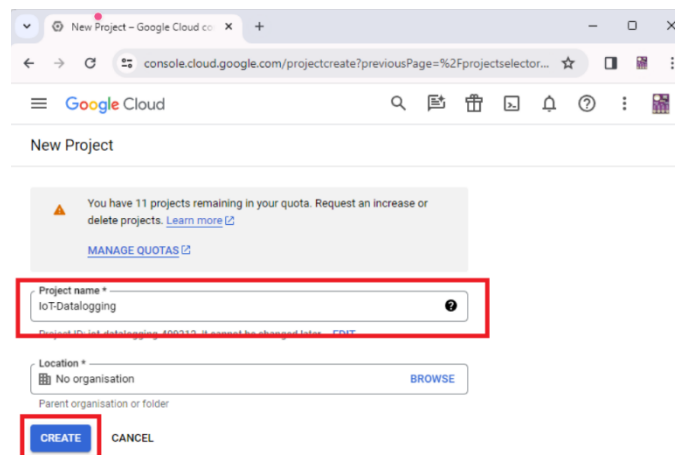
Gambar 2.38 *Google Spreadsheets*

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 [18].

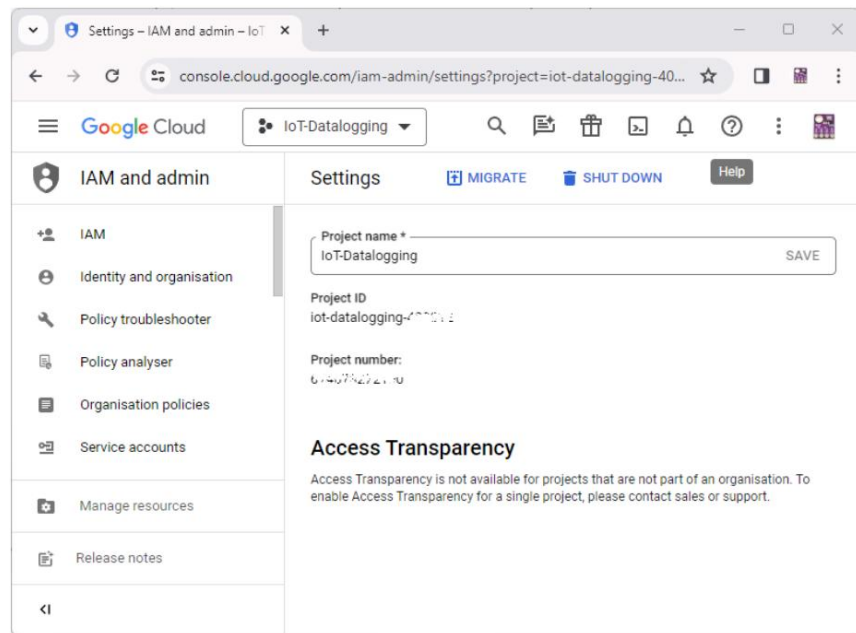


Gambar 2.399 Proses pembuatan project baru pada Google Cloud Console.

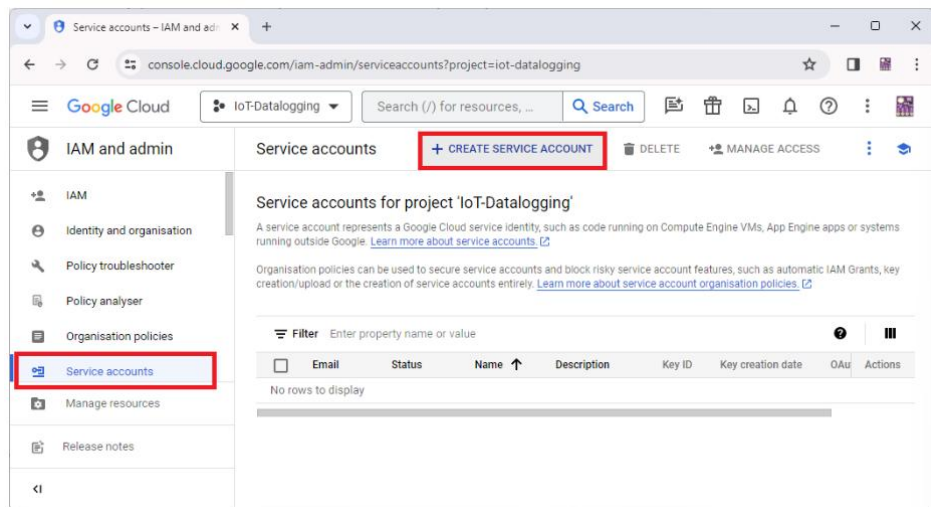
Selanjutnya pengguna mengisi “nama project” sesuai kebutuhan pada kolom yang tersedia, kemudian memilih tombol “Create” untuk membuat project baru. Setelah proses selesai, project akan berhasil dibuat dan siap digunakan untuk konfigurasi berikutnya. Proses pengisian nama project ditunjukkan pada Gambar 2.40, sedangkan tampilan notifikasi bahwa project berhasil dibuat ditunjukkan pada Gambar 2.41.



Gambar 2.40 Proses pengisian nama project pada Google Cloud Consol



Gambar 2.41 Tampilan project berhasil dibuat pada Google Cloud Console



Gambar 2.42 Proses membuka menu Service Account pada Google Cloud Console

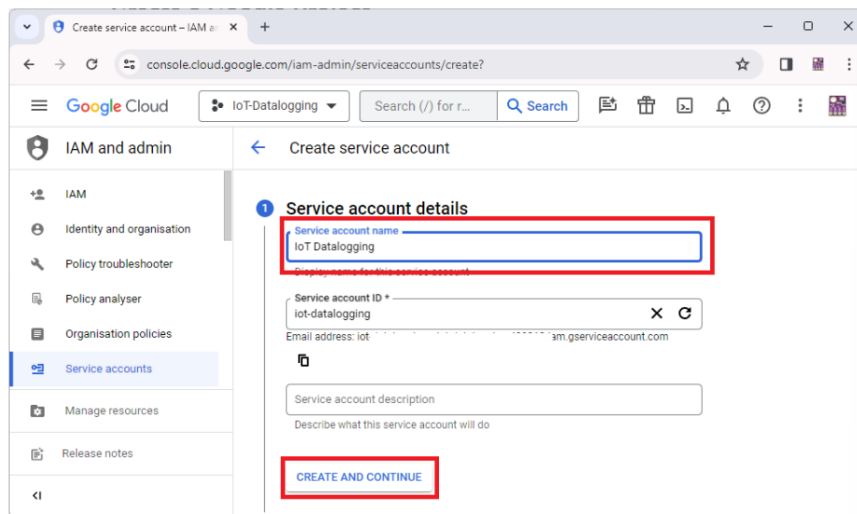
Selanjutnya, isi nama *Service Account* sesuai kebutuhan, lalu pilih tombol Create and Continue. Setelah berhasil dibuat, sistem akan menghasilkan file JSON yang berisi data autentikasi, seperti *Project ID*, *Client Email*, dan *Private Key*, untuk menghubungkan ESP32 dengan layanan Google Spreadsheet. Proses pengisian nama *Service Account* ditunjukkan pada Gambar 2.43.

```

sketch_may20a.ino
1  #include <Arduino.h>
2  #include <WiFi.h>
3  #include <Adafruit_INA219.h>
4  #include <WiFiClientSecure.h>
5  #include <UniversalTelegramBot.h>
6  #include <ArduinoJson.h>
7  #include <ESP_Google_Sheet_Client.h>
8

```

Gambar 2.44 Menambahkan library ESP_Google_Sheet_Client.h pada Arduino IDE



Gambar 2.43 Proses pengisian nama *Service Account*

```

18 //Google Spreadsheet
19 #define PROJECT_ID "spread-sheet-data-logger"
20 #define CLIENT_EMAIL "datalogging@spread-sheet-data-logger.iam.gserviceaccount.com"
21 #define USER_EMAIL "oddo789@gmail.com"
22 const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE KEY-----\nMIIEvQIBADANBgkqhkiG9w0BAQEFAASCBKcwggSJAQEAoIBAQCo6t/yv9X5k9Af\nnozKA78s17V5Rd9rkY9KYU2Hb9vh8\nconst char spreadsheetId[] = "1hoBtkdM1eJ0Xmsu42vp1vr__u8kxIXz0THFeBd5HnY";
23
24
25

```

Gambar 2.45 Proses memasukkan Project ID, Client Email, dan Private Key pada Arduino IDE