

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan dibahas beberapa kajian pustaka dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengembangan sistem pembersih panel surya otomatis berbasis mikrokontroler ESP32. Tinjauan pustaka disusun untuk memperkuat penggunaan teoritis serta memahami posisi dan urgensi penelitian yang dilakukan. Selain itu, pembahasan ini juga memberikan gambaran mengenai teknologi yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya, serta potensi inovasi dan pengembangan yang dapat diterapkan pada alat yang dirancang.

Beberapa aspek utama yang dibahas meliputi teknologi panel surya, pengaruh akumulasi debu terhadap efisiensi panel, prinsip kerja sensor debu PM2.5, sistem penjadwalan berbasis RTC, kontrol aktuator seperti motor dan pompa, serta integrasi data logger berbasis Internet of Things (IoT). Dengan mengkaji literatur yang relevan, penelitian ini dapat diarahkan secara lebih terstruktur dan berdasarkan pendekatan ilmiah yang tepat.

- 1) Penelitian dalam [1] mengembangkan sistem pembersih panel surya otomatis menggunakan wiper yang digerakkan oleh motor servo, serta dilengkapi sensor debu GP2Y1010AU0F dan modul RTC DS3231 sebagai pengatur waktu. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno dan bekerja berdasarkan dua parameter, yaitu waktu terjadwal (pukul 06.00 dan 18.00 WIB) serta konsentrasi debu dengan ambang batas 0,04 mg/m³. Alat tersebut telah terbukti mampu meningkatkan tegangan output panel surya setelah dilakukan pembersihan, baik berdasarkan jadwal maupun kadar debu.

Penelitian penulis memiliki kesamaan konsep dengan alat yang penulis kembangkan, yaitu sama-sama menggunakan prinsip otomatisasi berbasis sensor debu dan waktu, serta memanfaatkan wiper sebagai pembersih utama. Selain itu, kedua sistem sama-sama menggunakan sensor GP2Y1010AU0F dan RTC DS3231 dalam mendeteksi kondisi lingkungan dan mengatur waktu operasional alat. Hubungan antara kedua penelitian penulis terletak pada permasalahan yang diangkat, yaitu bagaimana mengatasi penurunan efisiensi panel surya akibat akumulasi debu secara otomatis, tanpa intervensi manual yang berisiko atau tidak efisien.

Namun, terdapat beberapa perbedaan signifikan yang menjadi keunggulan dari penelitian penulis dibanding penelitian sebelumnya. Alat yang dikembangkan dalam penelitian penulis menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, yang memiliki kelebihan dari sisi performa dan konektivitas karena dilengkapi WiFi untuk mendukung fitur data logger berbasis cloud. Selain itu, sistem ini tidak hanya menggunakan servo untuk pembersih wiper, tetapi juga mengintegrasikan pompa air dan sistem penyemprot kabut untuk meningkatkan efektivitas pembersihan. Nilai ambang batas kebersihan pada alat ini juga mengacu pada standar nasional yang lebih relevan, yakni $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sesuai PP No. 22 Tahun 2021) untuk parameter PM_{2.5}, dibandingkan dengan ambang batas $0,04 \text{ mg}/\text{m}^3$ yang digunakan dalam penelitian sebelumnya tanpa dasar baku mutu nasional.

Dengan demikian, sistem yang dirancang dalam penelitian penulis dapat dikatakan lebih unggul dan modern, karena tidak hanya bekerja berdasarkan sensor dan waktu, tetapi juga mendukung pemantauan jarak jauh melalui cloud, memiliki akurasi pengambilan keputusan yang lebih tepat, dan sesuai dengan regulasi baku mutu lingkungan yang berlaku.

- 2) Penelitian dalam [2] mengusung sistem pembersih otomatis panel surya menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang dikombinasikan dengan modul RTC dan sensor hujan sebagai pemicu pembersihan. Mekanisme alat melibatkan motor DC untuk menggerakkan wiper dan pompa air untuk membasahi permukaan panel, serta dilengkapi dengan pengaturan waktu pembersihan secara reguler dan berdasarkan kondisi hujan. Sistem ini dirancang untuk mengurangi akumulasi debu dan kotoran yang dapat menurunkan efisiensi penyerapan cahaya matahari oleh panel surya.

Penelitian penulis memiliki kesamaan dengan alat yang penulis kembangkan, terutama pada konsep dasar sistem pembersihan otomatis, penggunaan motor DC, dan pemanfaatan mikrokontroler sebagai pusat kendali. Hubungan antara kedua penelitian terletak pada upaya menciptakan alat yang mampu menjaga efisiensi panel surya tanpa campur tangan manual, yang sangat berguna untuk area yang sulit dijangkau atau memiliki intensitas debu tinggi.

Namun, terdapat perbedaan signifikan yang menunjukkan keunggulan dari sistem yang penulis kembangkan. Alat ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, yang memiliki konektivitas WiFi bawaan, sehingga memungkinkan integrasi dengan sistem cloud-based data logger untuk pemantauan data real-time. Selain itu, alat penulis menggunakan parameter kebersihan berbasis PM2.5 yang diukur dengan sensor debu GP2Y1010AU0F, dan dibandingkan dengan stPengguna nasional (PP No. 22 Tahun 2021) sebagai dasar keputusan otomatis, bukan hanya waktu atau hujan. Proses pembersihan juga diatur lebih cermat menggunakan limit switch untuk mengontrol batas gerak, serta fitur penjadwalan otomatis pada pukul 04.00 dan 19.00 WIB.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan oleh penulis dinilai lebih unggul dari sisi kecerdasan, efisiensi operasional, dan kemampuan pemantauan jarak jauh, menjadikannya lebih adaptif

untuk digunakan dalam skala luas dan lingkungan dengan tingkat debu yang bervariasi.

- 3) Penelitian dalam [3] menyajikan kajian mendalam terhadap perkembangan riset dan produk komersial dalam sistem pembersih panel surya, baik dari aspek teknis maupun penerapan global. Artikel tersebut membedakan metode pembersihan menjadi dua kategori utama, yaitu manual dan otomatis. Pembersihan otomatis umumnya dilakukan oleh robot portabel atau sistem yang terpasang permanen di panel, menggunakan sikat, wiper, atau penyemprot air yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Studi ini juga menampilkan berbagai alat komersial seperti robot pembersih ekskavator, sistem vacuum, dan alat pembersih dengan kuas otomatis yang tersedia di pasar internasional, menggunakan kemajuan signifikan dalam teknologi pembersih panel surya.

Penelitian ini memiliki kesamaan dan keterkaitan erat dengan alat yang penulis kembangkan, yaitu sama-sama bertujuan untuk menjaga kebersihan panel surya secara otomatis guna mengoptimalkan produksi energi. Konsep penggunaan motor penggerak dan sistem penyemprotan air juga ditemukan dalam kedua pendekatan. Namun, alat yang dikembangkan oleh penulis menghadirkan inovasi lebih lanjut melalui integrasi sensor PM2.5 sebagai parameter kebersihan berdasarkan data kualitas mikro, serta sistem penjadwalan otomatis berbasis RTC. Selain itu, perangkat ini didukung oleh mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas WiFi, yang memungkinkan integrasi cloud-based data logger untuk pemantauan dan pencatatan data dari jarak jauh.

Berbeda dengan fokus jurnal tersebut yang lebih banyak menyoroti bentuk fisik dan varian alat dari sisi komersial dan mekanikal, sistem yang dirancang oleh penulis lebih menekankan pengambilan keputusan cerdas berbasis parameter lingkungan (PM2.5) dan waktu (RTC). Hal ini menjadikan alat penulis lebih unggul dalam aspek

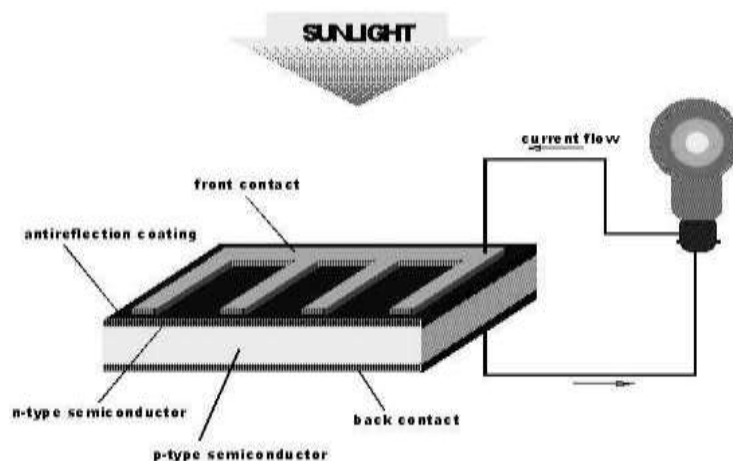
efisiensi logika kerja, penghematan sumber daya, serta kesiapan untuk pengembangan skala luas dan pemantauan terintegrasi berbasis IoT. Dengan demikian, alat ini tidak hanya sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai langkah inovatif menuju sistem PLTS yang adaptif terhadap kondisi lingkungan secara real-time.

2.2 Dasar Teori

Dalam merancang sistem pembersih panel surya otomatis berbasis ESP32 dengan deteksi partikulat debu PM2.5 dan penjadwalan rutin, diperlukan pemahaman mendalam mengenai integrasi teknologi mikrokontroler, sensor lingkungan, serta penerapan standar mutu debu sesuai PP No. 22 Tahun 2021. Penggabungan konsep-konsep tersebut menjadi implementasi utama dalam pengembangan sistem yang tidak hanya mampu bekerja secara otomatis dan efisien, tetapi juga responsif terhadap kondisi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, penjelasan mengenai dasar teori yang mendasari setiap komponen sistem sangat penting untuk memastikan bahwa rancangan yang dihasilkan dapat memenuhi standar kinerja dan regulasi yang berlaku.

2.2.1 Panel Surya (*Photovoltaic*)

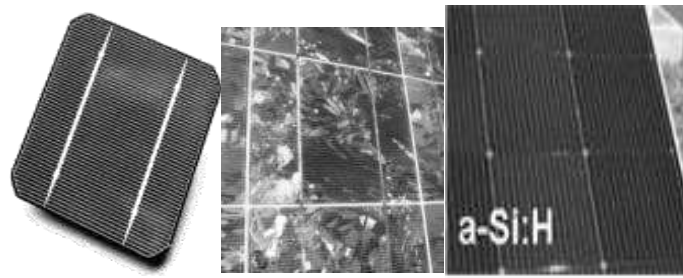
Sel surya, unit dasar dari teknologi fotovoltaik, pada dasarnya adalah dioda foto berukuran besar yang mampu menghasilkan energi listrik. Material fotovoltaik tersusun dari dua jenis bahan yang berbeda, yang terhubung melalui sambungan (junction). Ketika cahaya mengenai permukaan sambungan ini, energi cahaya dikonversi menjadi arus listrik searah (DC). Untuk menghasilkan daya yang lebih besar, beberapa sel surya dirangkai bersama dalam sebuah wadah yang disebut modul surya atau panel surya. Ilustrasi penampang melintang sel surya sebagai pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1. [4]



Gambar 2. 1 Sistem Kerja Panel Surya [4]

Terdapat dua kategori utama modul surya yang umum digunakan, yaitu silikon kristalin dan lapisan tipis (thin film). Modul silikon kristalin dibuat dari bahan silikon, sedangkan modul lapisan tipis umumnya menggunakan material kimia. Modul silikon kristalin sendiri terbagi menjadi dua tipe: monokristalin dan polikristalin. Setiap tipe menawarkan tingkat efisiensi yang berbeda; monokristalin berkisar antara 14-16%, sementara polikristalin memiliki efisiensi 13-15%. Modul surya lapisan tipis hadir dalam berbagai varian yang penamaannya didasarkan pada material penyusunnya, seperti A-Si:H, CdTe, dan CIGs (ditampilkan pada Gambar 2.4). Efisiensi rata-rata untuk modul lapisan tipis berada pada rentang 6,5-8%. Akibat perbedaan efisiensi ini, modul dengan kapasitas yang sama akan memiliki ukuran fisik yang berbeda, yang pada akhirnya memengaruhi kebutuhan lahan untuk pemasangan.

Kapasitas modul surya, yang diukur dalam satuan Watt peak (Wp), tersedia dalam berbagai ukuran. Dalam aplikasi pembangkit listrik, ukuran modul yang umum digunakan berkisar antara 80 hingga 300 Wp per modul. Untuk meningkatkan tegangan, modul-modul tersebut dirangkai secara seri, sedangkan untuk meningkatkan arus, modul-modul tersebut disusun secara paralel.



Gambar 2. 2 Monokristalin, polikristalin, A-Si:H[4]

Kapasitas panel surya yang dibutuhkan (dinyatakan dalam kWp atau kilowatt peak) ditentukan oleh jumlah energi (kWh atau kilowatt-hour) yang dikonsumsi beban dalam periode waktu tertentu dan intensitas radiasi matahari di lokasi pemasangan polikristalin

Efisiensi panel surya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu, kualitas koneksi kabel, efisiensi inverter, kondisi baterai (jika ada), dan lain-lain.

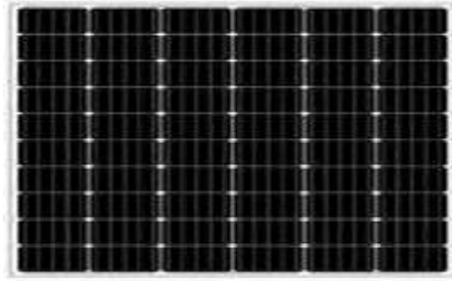
Oleh karena itu, perhitungan kapasitas ideal seringkali disesuaikan dengan faktor *derating* (penurunan kinerja) yang umumnya bernilai sekitar 0,67 atau 67%. Faktor *derating* ini mengkompensasi potensi kehilangan daya akibat faktor-faktor yang disebutkan di atas

Jumlah energi yang ingin diproduksi (E_o , kWh) bergantung pada radiasi matahari di lokasi (H , kWh/m²/hari), iradiasi standar ($I_o = 1$ kW/m²), efisiensi modul (η , %), faktor koreksi suhu (C_f , 1,1 – 1,5), jam puncak matahari (PSH) minimum dalam periode waktu tertentu, dan efisiensi total sistem (η_{sm} , 0,67 – 0,75). Modul surya dirangkai secara seri (membentuk string) untuk memperoleh tegangan yang sesuai, dan beberapa string dirangkai paralel untuk meningkatkan daya atau arus. Tegangan string kemudian dicocokkan dengan kebutuhan tegangan input inverter.

Pemilihan jenis panel surya yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap efisiensi, biaya, dan aplikasi penggunaannya, baik untuk kebutuhan rumah tangga, komersial, maupun industri. Berikut penjelasan mengenai berbagai jenis panel surya yang tersedia di pasaran saat ini:

1. Monokristalin

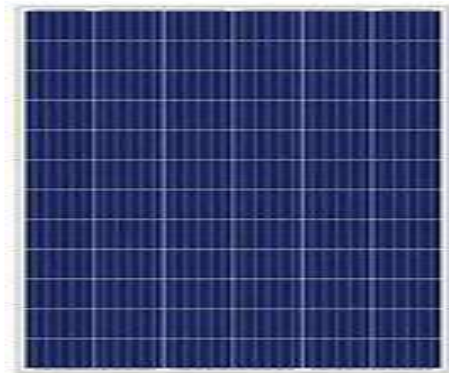
Tipe panel surya monokristalin merupakan jenis yang paling populer dan banyak digunakan saat ini, dikenal karena tingkat efisiensinya yang berkisar antara 12 hingga 14%, Panel Surya Monokristalin ditunjukkan pada gambar 2.3 [5]



Gambar 2. 3 Panel surya Monokristalin[5]

2. Polikristalin

Panel surya polikristalin, juga dikenal sebagai multi kristalin, dibuat dari Kristal silikon dan memiliki tingkat efisiensi antara 10 hingga 12%, Panel Surya Polikristalin ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Panel Surya Polikristalin

3. Thin Film

Sel Surya *thin-film* (TFPV), sel surya generasi kedua yang ringan dan fleksibel, menggunakan lapisan tipis silikon mikrokristalin dan amorf. Efisiensi modulnya mencapai 8,5%, sehingga membutuhkan area permukaan lebih besar per watt dibandingkan sel kristalin. Konversi energi tetap melalui efek fotovoltaiik. [5]



Gambar 2. 5 Sel Surya thin-film (TFPV)

Gambar 2.5 merupakan Panel Surya *thin-film*, Ada beberapa jenis sel surya Thin Film yang masing- masing terbuat dari bahan yang berbeda dan mempengaruhi keseluruhan biaya dan efisiensi panel. Namun, semua sel surya Thin Film mengandung bahan fotovoltaik, lembaran konduktif, dan lapisan pelindung.

2.2.2 Alat Pembersih Panel Surya

Alat pembersih panel surya menjadi solusi penting untuk mempertahankan kebersihan panel melalui pembersihan rutin. Pengembangan alat ini, baik melalui penelitian maupun produk komersial yang inovatif, krusial untuk mendukung kemajuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di masa depan. Hal ini didukung oleh proyeksi peningkatan signifikan jumlah pembangunan PLTS akibat target pemerintah dalam mendorong energi bersih, meningkatnya kesadaran masyarakat akan manfaat PLTS, dan penurunan biaya instalasi PLTS.

Terdapat Teknik-teknik dalam pembersihan panel surya menjadi dua kategori utama: manual dan otomatis. Metode manual yang sering digunakan melibatkan penyemprotan air bertekanan tinggi melalui selang. Selain itu, beberapa metode manual lainnya menggunakan alat bantu seperti penyemprot cairan, squeegee, dan wiper lembut untuk membantu proses pembersihan. teknik pembersihan panel surya otomatis telah dikembangkan dalam beberapa jenis. Salah satunya adalah robot bergerak yang dilengkapi

dengan wiper yang bergerak secara vertikal dan horizontal, serta sistem penyemprotan air menggunakan pompa dan selang. Jenis robot otomatis lainnya menggunakan sikat berputar yang bergerak mengikuti arah alat, juga dengan dukungan penyemprotan air. Selain itu, ada juga robot pembersih otomatis yang memanfaatkan kain flanel bergerak untuk menggosok permukaan panel, yang juga dilengkapi dengan sistem penyemprotan air.

Selain robot bergerak, terdapat juga sistem pembersih panel surya otomatis yang dirancang untuk terpasang secara permanen pada rangka panel surya. Teknologi canggih ini mencakup beberapa varian, di antaranya adalah robot yang dilengkapi dengan wiper yang bergerak vertikal dan horizontal, serta pompa air untuk menyemprotkan air melalui selang ke panel. Varian lain menggunakan wiper yang bergerak vertikal pada kerangka penyangga yang dapat bergerak horizontal, juga dengan sistem penyemprotan air. Ada pula robot permanen yang menggunakan sikat yang bergerak baik secara vertikal maupun horizontal, dilengkapi dengan pompa air. Bahkan, terdapat sistem yang hanya menggunakan pompa air untuk menyemprotkan air ke panel, serta robot yang menggunakan kemoceng yang bergerak horizontal untuk membersihkan permukaan.[3]

1. **Telescopic Pole dengan Sikat dan Water Pump**

Alat pembersih panel surya jenis ini merupakan perangkat manual yang terdiri dari sebuah tongkat teleskopik panjang yang dilengkapi dengan sikat pembersih dan pompa air. Pengguna dapat mengoperasikan alat ini secara langsung untuk membersihkan permukaan panel surya yang sulit dijangkau, terutama pada instalasi yang berada di ketinggian atau area luas. Pompa air berfungsi untuk membantu menghilangkan kotoran yang menempel dengan cara menyemprotkan air secara merata ke permukaan, Alat pembersih panel surya sapu *telescopic extentool* ditunjukkan pada Gambar 2.6.[3]



Gambar 2. 6 Sapu Manual dengan Air dan Sikat[3]

2. **Robot Tetap (*Fixed*) dengan Metode Dry Clean dan Water Clean**

Robot pembersih panel surya yang dipasang secara permanen ini menawarkan solusi otomatis yang efisien untuk instalasi panel berskala besar. Dengan mekanisme wiper atau sikat yang dapat melakukan pembersihan kering maupun basah, robot ini mampu membersihkan panel secara berkala tanpa memerlukan intervensi manusia. Sistem penyemprotan air terintegrasi mendukung pembersihan yang lebih menyeluruh, sehingga panel selalu dalam kondisi optimal untuk menyerap energi matahari. Penggunaan robot tetap ini sangat cocok untuk fasilitas pembangkit listrik tenaga surya komersial yang membutuhkan pemeliharaan kontinu dan minim tenaga kerja, Alat pembersih panel surya Robot Tetap (*Fixed*) ditunjukkan pada Gambar 2.7. [3]



Gambar 2. 7 Robot Tetap (*Fixed*)[3]

3. Robot Portabel dengan Sikat Rol Panjang

Robot portabel ini menawarkan fleksibilitas tinggi dalam pemeliharaan panel surya yang tersebar di berbagai lokasi. Dilengkapi dengan sikat rol panjang, robot ini mampu membersihkan permukaan panel secara efektif dan efisien. Keunggulan utama dari robot ini adalah kemampuannya untuk dipindahkan dan digunakan pada berbagai instalasi tanpa pemasangan permanen. Hal ini sangat menguntungkan untuk pemilik instalasi panel surya berskala menengah hingga besar yang membutuhkan solusi pembersihan yang cepat dan mudah dioperasikan. Robot Portabel dengan Sikat Rol Panjang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Robot Ekskavator dengan Sikat Rol Panjang

2.2.2.1 Peraturan Pemerintah RI Nomor 22 Tahun 2021

Dalam upaya menjaga efisiensi kerja panel surya, penting untuk memperhatikan faktor lingkungan yang memengaruhi kinerjanya, salah satunya adalah tingkat polusi debu. Salah satu parameter pencemar debu yang sangat relevan terhadap penurunan efisiensi panel surya adalah partikel partikulat berukuran kecil, khususnya PM_{2.5} (*particulate matter* berukuran $\leq 2,5$ mikron).[6]

2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		8 jam	4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		24 jam	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 tahun	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
4.	Oksidan fotokimia (O ₃) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		8 jam	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual*
		1 tahun	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu**
5.	Hidrokarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu***
6.	Partikulat debu < 100 μm (TSP)	24 jam	230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual
	Partikulat debu < 10 μm (PM ₁₀)	24 jam	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 tahun	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual
	Partikulat debu < 2,5 μm (PM _{2.5})	24 jam	55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		1 tahun	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual
7.	Timbal (Pb)	1 tahun	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif kontinu
		24 jam	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aktif manual

Gambar 2. 9 PP Republik Indonesia

Nomor 22 Tahun 2021[6]

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, telah ditetapkan baku mutu debu ambien nasional, termasuk ambang batas harian konsentrasi PM_{2.5}, yaitu 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. [6]

Debu yang terkandung dalam PM_{2.5} dapat mengendap pada permukaan panel surya, sehingga menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi listrik. Penumpukan debu ini menghambat penetrasi cahaya matahari ke modul fotovoltaik, yang secara langsung mempengaruhi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Oleh karena itu, pengendalian pencemaran, khususnya debu halus, menjadi sangat penting untuk mendukung optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan.

Dalam konteks ini, Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 berperan sebagai dasar regulasi yang mendorong pengendalian sumber pencemaran debu di lingkungan sekitar instalasi panel surya. Selain itu, peraturan ini juga menjadi landasan bagi penerapan langkah-langkah mitigasi, seperti pembersihan panel surya secara berkala untuk mengurangi dampak penumpukan debu dan menjaga efisiensi sistem PLTS.

Selaras dengan hal tersebut, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap menegaskan pentingnya pemeliharaan dan pengoperasian panel surya yang optimal, termasuk kegiatan pembersihan panel sebagai bagian

dari prosedur operasional stPeggungnar. Dengan demikian, pengaturan kualitas dalam PP No. 22 Tahun 2021 mendukung keberlanjutan dan efektivitas pemanfaatan energi surya melalui pengurangan pencemaran debu dan penerapan pembersihan panel surya yang tepat.

2.2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer mini yang dikemas dalam satu chip tunggal (*Integrated Circuit/IC*) yang berisi inti prosesor (CPU), memori (RAM, ROM/Flash), dan perangkat input/output (I/O) yang memungkinkan mikrokontroler untuk melakukan pengolahan data dan pengendalian perangkat secara otomatis berdasarkan program yang telah dimasukkan. Mikrokontroler sering disebut sebagai "komputer dalam chip" karena mampu menjalankan fungsi komputer namun dalam ukuran yang sangat kecil dan efisien dari segi biaya dan konsumsi daya[7] [8]

Setelah memahami pengertian dan fungsi dasar mikrokontroler sebagai otak pengendali perangkat elektronik, Perkembangan teknologi mikrokontroler yang semakin canggih. Salah satu contohnya adalah ESP32, yang tidak hanya memiliki kemampuan pemrosesan yang baik, tetapi juga dilengkapi fitur konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Hal ini menjadikan ESP32 sangat populer untuk berbagai aplikasi Internet of Things (IoT) dan pengembangan sistem pintar masa kini.

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus dari mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler ini sudah dilengkapi dengan modul WiFi yang terintegrasi dalam satu chip, sehingga sangat mendukung pembuatan aplikasi Internet of Things (IoT).

Modul ESP32-WROOM-32 dilengkapi dengan mikroprosesor Xtensa dual-core 32-bit LX6 yang mampu beroperasi hingga frekuensi 240 MHz. Modul ini memiliki memori SRAM sebesar 520 kB dan flash memori berkapasitas 4 MB. Untuk konektivitas nirkabel, modul ini mendukung stPeggungnar WiFi 802.11 b/g/n serta Bluetooth versi 4.2 dengan kemampuan Bluetooth Low Energy (BLE). Modul ini menyediakan 48 pin

GPIO yang dapat digunakan sebagai input atau output, termasuk 15 kanal ADC (*Analog to Digital Converter*), 25 kanal PWM (*Pulse Width Modulation*), dan 2 kanal DAC (*Digital to Analog Converter*) untuk berbagai aplikasi pengendalian perangkat elektronik.[7]



Gambar 2. 10 ESP32 DEV KIT 1[7]

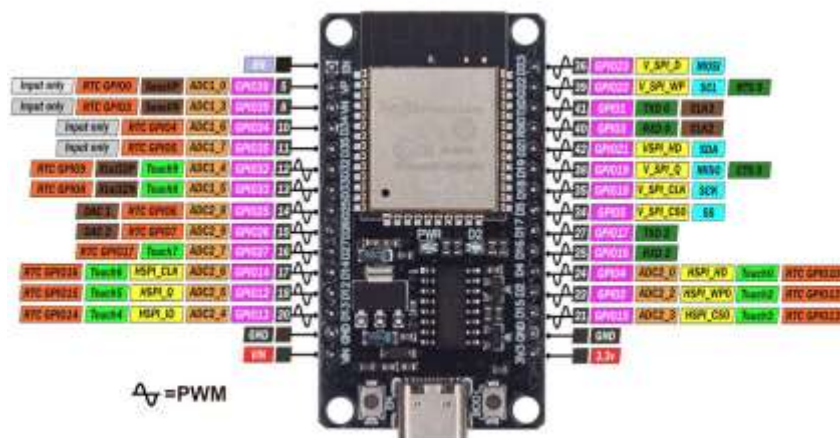
Pada Gambar 2.9 merupakan ESP32 DEV KIT 1, ESP32 DevKit V1 merupakan papan pengembangan yang mengintegrasikan modul ESP32-WROOM-32 dengan komponen pendukung seperti regulator tegangan, konektor USB, dan pin header yang memudahkan akses ke berbagai fungsi mikrokontroler, Pada Tabel merupakan spesifikasi utama ESP32 DevKit V1 yang merangkum fitur-fitur penting dari board ini.

Tabel 2. 1 SPESIFIKASI ESP32 DEV KIT 1[7]

SPESIFIKASI ESP32 DEV KIT V1	
Mikrokontroler	Tensilica 32-bit Single- /Dual-core CPU Xtensa LX6
Memory	520 KiB SRAM
Digital input-output (DIO) pins	25
Analog Input (ADC) pins	6

Analog Output (DAC)	2
Pins	
UARTs	3
SPIs	2
I2Cs: 3	3
Flash Memory	4 MB
Clock Speed	240 Mhz
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n/e/
Dimensions	51.5x29x5mm

Setelah memahami spesifikasi ESP32 DevKit V1 yang menjelaskan fitur utama dan kemampuan hardware, perlu dilakukan pembahasan mengenai pinout board tersebut. Pinout memberikan informasi detail tentang fungsi dan posisi setiap pin pada board, sehingga memudahkan dalam pengkabelan dan pemrograman perangkat eksternal. Dengan demikian, pemahaman pinout menjadi langkah penting untuk mengoptimalkan penggunaan ESP32 sesuai dengan spesifikasi yang telah dijelaskan.



Gambar 2. 11 Pinout ESP32 DEV KIT 1[7]

Gambar 2.11 merupakan pinout ESP32 DevKit V1 yang memperlihatkan tata letak fisik dan posisi pin pada board, langkah

berikutnya adalah menguraikan tabel pinout secara rinci. Tabel ini memuat informasi fungsi setiap pin, seperti GPIO, power, ground, dan antarmuka komunikasi, sehingga memudahkan dalam identifikasi dan pemanfaatan pin sesuai kebutuhan aplikasi. Dengan adanya tabel pinout, pemahaman terhadap konfigurasi pin menjadi lebih sistematis dan terstruktur, table pin out dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Pinout ESP32 DEV KIT 1[8]

Jenis Pin	Fungsi Utama	Kegunaan	Keterangan
GPIO General Purpose Input Output)	Input/Output Digital	Membaca sinyal digital dari sensor, mengendalikan aktuator seperti LED, relay, dll.	Dapat dikonfigurasi sebagai input atau output
ADC Analog to Digital Converter)	Konversi sinyal analog ke digital	Membaca nilai sensor analog seperti sensor suhu, cahaya, potensiometer	ESP32 memiliki 12-bit ADC, beberapa pin mendukung ADC
DAC Digital to Analog Converter)	Konversi sinyal digital ke analog	Menghasilkan sinyal analog seperti output audio atau kontrol motor	Tersedia pada beberapa pin tertentu
PWM Pulse Width Modulation)	Menghasilkan sinyal PWM	Mengontrol kecepatan motor, intensitas LED, dan perangkat yang memerlukan sinyal PWM	Pin GPIO dapat digunakan untuk PWM
UART	Komunikasi	Menghubungkan	Biasanya

Universal Asynchronous Receiver Transmitter)	serial	ESP32 dengan perangkat serial seperti modul GPS, Bluetooth, atau komputer	menggunakan pin khusus RX dan TX
I2C Inter-Integrated Circuit)	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 Serial Peripheral Interface)	Komunikasi serial cepat	Menghubungkan perangkat dengan kecepatan tinggi seperti memori eksternal, display TFT	Pin khusus MOSI, MISO, SCK
Strapping Pins	Menentukan mode booting ESP32	Mengatur mode booting seperti flash mode atau download mode	Harus diperhatikan saat desain hardware

2.2.4.1 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengunggah, dan memantau kode program (sketch) yang akan dijalankan oleh mikrokontroler berbasis Arduino. Lingkungan pengembangan ini dirancang untuk memudahkan pengguna dari berbagai latar belakang, baik pemula maupun profesional, dalam membangun berbagai proyek elektronika dan IoT (*Internet of Things*).[9]



Gambar 2. 12 Tampilan Arduino IDE[9]

Gambar 2.12 merupakan tampilan dari *software* Arduino IDE, Tampilan Arduino IDE terdiri dari menu bar untuk pengelolaan file dan pengaturan, toolbar dengan tombol kompilasi dan upload, serta editor kode untuk penulisan program. Konsol log menampilkan hasil kompilasi dan pesan error, sementara serial monitor berfungsi sebagai antarmuka komunikasi data antara komputer dan board. Status bar memberikan informasi tentang board dan port yang digunakan. Keseluruhan fitur ini memudahkan proses pengembangan dan debugging program secara efektif

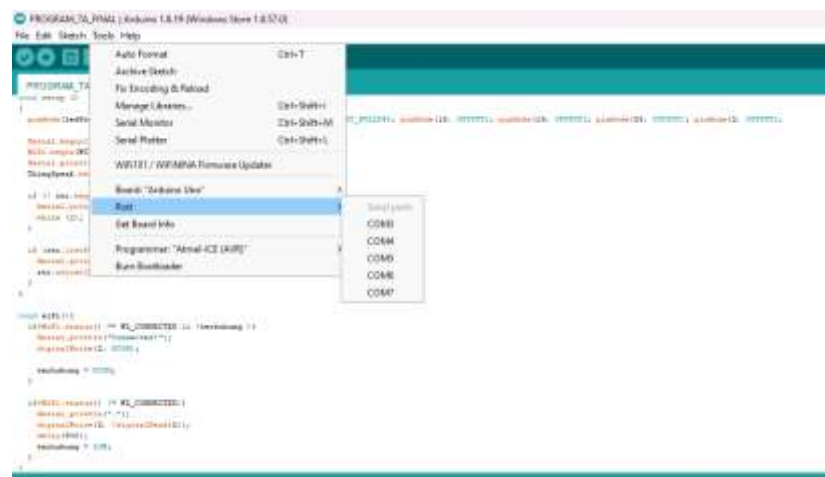
Arduino IDE mendukung berbagai jenis papan (*board*) Arduino, seperti Arduino Uno, Mega, Nano, dan lainnya. IDE ini menggunakan bahasa pemrograman yang berdasarkan bahasa C/C++, namun telah disederhanakan agar lebih mudah dipahami.

Setelah memahami antarmuka dan fitur utama pada Arduino IDE, tahap berikutnya adalah mempelajari prosedur penggunaan perangkat lunak ini secara praktis. Proses penggunaan dimulai dengan menghubungkan board mikrokontroler ke komputer menggunakan kabel USB, seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2. 13 Mikrokontroler ke port USB

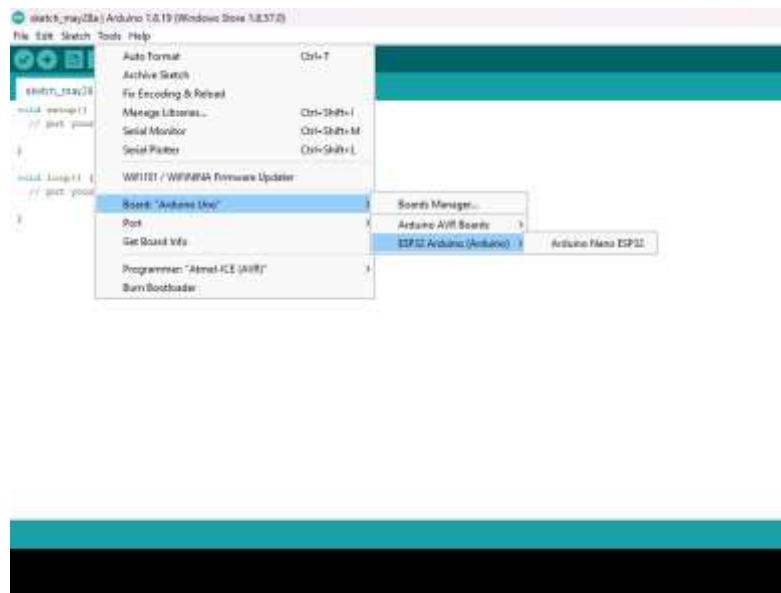
Untuk memastikan mikrokontroler sudah terdeteksi komputer, buka menu **Tools > Port** di Arduino IDE. Jika terhubung dengan benar, akan muncul port seperti **COM42** pada gambar 2.13. (nomor port bisa berbeda tiap komputer). Biasanya, driver sudah terinstal otomatis saat memasang Arduino IDE. Jika port tidak muncul, cek kabel USB atau instalasi driver.



Gambar 2. 14 Port mikrokontroler

Langkah selanjutnya adalah memilih jenis board atau mikrokontroler yang akan digunakan pada Arduino IDE. Hal ini penting karena Arduino IDE

mendukung berbagai jenis mikrokontroler, sehingga pemilihan board yang sesuai dengan perangkat yang akan diprogram diperlukan agar proses kompilasi dan pengunggahan berjalan dengan benar. Untuk mikrokontroler ESP32, pengguna dapat memilihnya melalui menu **Tools > Board > ESP32 Arduino Boards**. Dengan melakukan pengaturan ini, Arduino IDE akan menyesuaikan konfigurasi dan pustaka yang diperlukan untuk pemrograman ESP32 secara optimal, Seperti gambar 2.14.



Gambar 2. 15 Pemilihan Mikrokontroler

Setelah melakukan pengaturan board dan port, langkah berikutnya adalah menulis kode program pada editor di Arduino IDE. Sebelum mulai menulis kode di Arduino IDE, pastikan library yang dibutuhkan sudah terpasang. Library ini berisi fungsi-fungsi tambahan yang memudahkan pemrograman perangkat seperti ESP32. Kamu bisa menambahkan library melalui menu **Sketch > Include Library > Manage Libraries**, lalu cari dan pasang library yang sesuai dengan kebutuhan proyek.

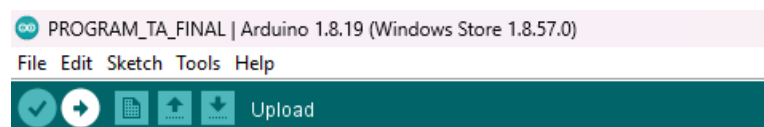
Pada tahap ini, pengguna membuat instruksi sesuai dengan fungsi yang diinginkan, mulai dari pengaturan awal di fungsi `Setup()` hingga logika utama di fungsi `loop()`. Penulisan kode harus dilakukan dengan cermat agar tidak terjadi kesalahan saat kompilasi dan pengunggahan. Dengan menulis kode secara terstruktur, mikrokontroler ESP32 dapat menjalankan berbagai

aplikasi sesuai kebutuhan proyek, penulisan kode di Arduino IDE seperti padan Gambar 2.15.



Gambar 2. 16 Penulisan Program di Arduino IDE

Setelah menulis program selesai, langkah berikutnya adalah mengunggah kode ke board ESP32 dengan cara mengklik tombol **Upload** pada toolbar Arduino IDE, yang ditPenggunai dengan ikon panah ke kanan (posisi kedua dari kiri) seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 17 Upload program di Arduino IDE

Setelah tombol ditekan, tunggu hingga proses upload selesai. Pada beberapa board ESP32, saat muncul pesan "*Connecting...*" di bagian bawah, pengguna perlu menekan dan menahan tombol **BOOT** pada board hingga proses upload berjalan dan muncul pesan "*Done uploading*". Proses ini memastikan program berhasil ditransfer dan siap dijalankan pada mikrokontroler, seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2. 18 Program berhasil di upload Arduino IDE

2.2.5 RTC (*Real Time Clock*)

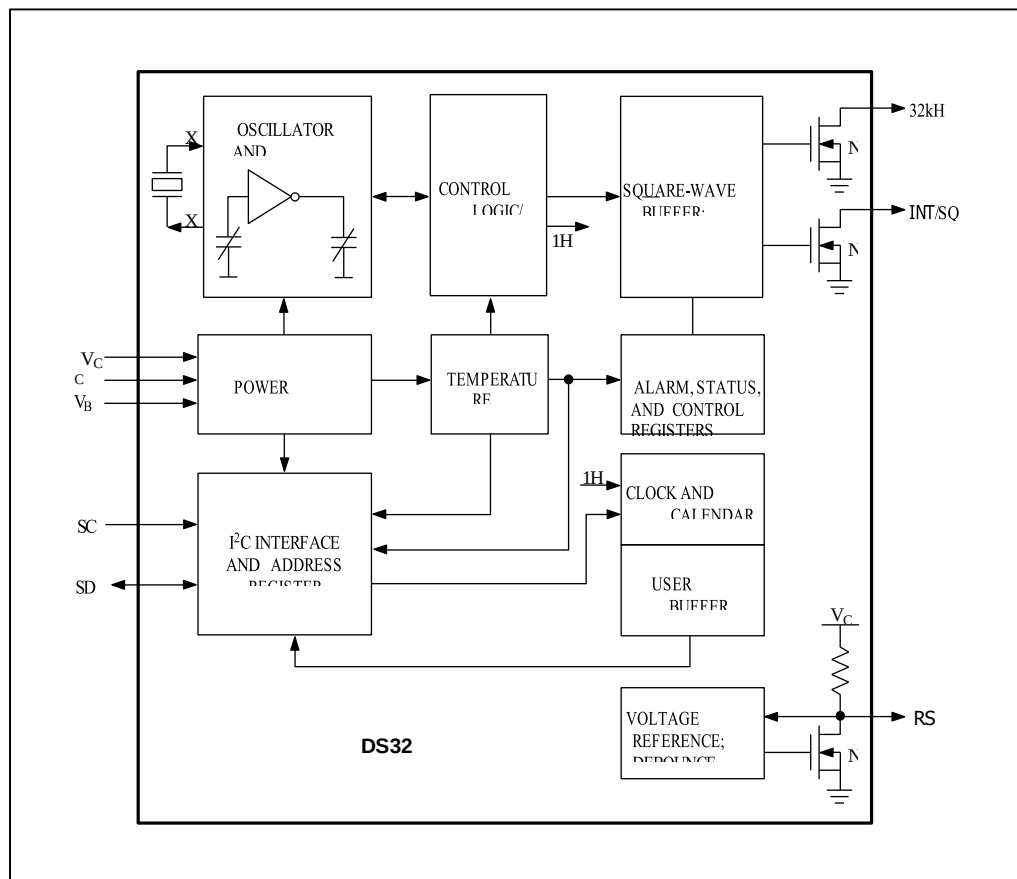
Real-Time Clock (RTC) adalah komponen penting dalam sistem embedded yang memerlukan pencatatan waktu secara akurat dan berkelanjutan. RTC DS3231 adalah IC (*Integrated Circuit*) RTC yang terintegrasi dengan osilator kristal yang dikompensasi suhu (TCXO) untuk memberikan akurasi tinggi. Komponen ini sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan ketepatan waktu dalam jangka panjang, bahkan saat sumber daya utama terputus, Gambar 2.19 menunjukkan modul RTC. [10]



Gambar 2. 19 Real Time Clock (RTC)[10]

Dalam sistem otomatis seperti alat pembersih panel surya berbasis mikrokontroler, RTC berperan penting dalam:

- A. Membantu sistem melakukan pengecekan kondisi debu secara rutin pada waktu-waktu tertentu (pukul 04.00 dan 19.00), sehingga alat dapat menentukan apakah perlu melakukan pembersihan atau tetap standby berdasarkan nilai PM2.5 saat itu.
- B. Memungkinkan sistem berjalan secara mandiri tanpa campur tangan manusia secara langsung.



Gambar 2. 20 Blok Diagram RTC (*Real time Clock*)

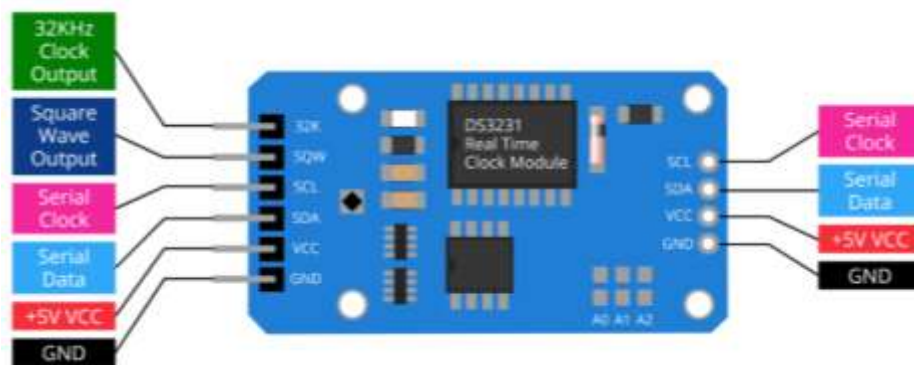
Pada Gambar 2.20 Blok diagram yang menggambarkan rangkaian Real Time Clock (RTC) yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu IC RTC sebagai inti pengatur waktu, kristal osilator TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) berfrekuensi 32 kHz yang berfungsi menjaga akurasi waktu, serta dilengkapi dengan berbagai sensor dan sumber daya berupa baterai. IC RTC berperan sebagai pencatat waktu secara real-time, sedangkan kristal TCXO memberikan kestabilan frekuensi sehingga penghitungan waktu tetap presisi meskipun terjadi perubahan suhu lingkungan. Selain itu, baterai digunakan untuk memastikan RTC tetap aktif dan dapat menyimpan data waktu meskipun catu daya utama terputus. Sensor-sensor yang terhubung berfungsi sebagai input tambahan yang dapat digunakan sesuai kebutuhan sistem, misalnya untuk monitoring atau pengendalian otomatis.

Spesifikasi sensor RTC dapat dilihat pada Tabel 2.3, yang merupakan penjelasan lebih rinci dari blok diagram sebelumnya. Tabel tersebut memuat detail teknis sensor RTC, seperti jenis sensor, protokol komunikasi, dan fitur utama yang mendukung fungsi pengukuran waktu secara akurat dalam sistem. Dengan merujuk pada tabel ini, pembaca dapat memahami karakteristik sensor secara lengkap sebagai dasar untuk implementasi dalam rangkaian yang telah dijelaskan pada blok diagram.

Tabel 2. 3 Spesifikasi RTC DS3231[10]

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama Chip	DS3231
2	Protokol Komunikasi	I2C (Inter-Integrated Circuit)
3	Tegangan Operasi	3.3V – 5.5V
4	Akurasi Waktu	± 2 ppm (sekitar ± 1 menit per tahun)
5	Format Waktu	24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM
6	Fitur Alarm	Dua alarm independen dengan output interrupt
7	Kompensasi Suhu	Ya, internal (temperature-compensated crystal oscillator)
8	Output Tambahan	Square-Wave Output (pin SQW)
9	Baterai Cadangan	CR2032 Lithium Coin Cell (untuk menjaga waktu saat daya utama mati)
10	Suhu Operasional	-40°C hingga +85°C
11	Dimensi Modul (umum)	Sekitar 38 mm $\times$ 22 mm (bisa berbeda tergantung produsen modul)
12	Memori Tambahan (opsional)	EEPROM AT24C32 (32 KB) pada beberapa versi modul RTC

Setelah menjelaskan spesifikasi sensor RTC pada tabel sebelumnya, selanjutnya perlu dipahami pinout modul DS3231.



Gambar 2. 21 Pinout RTC DS3231[10]

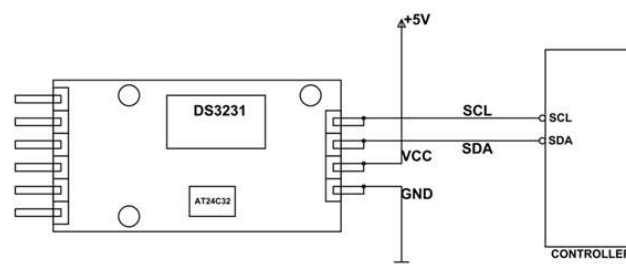
Pada Gambar 2.21 Pinout RTC DS3231 menunjukkan fungsi dan posisi tiap pin pada modul, seperti VCC dan GND untuk catu daya, serta SDA dan SCL untuk komunikasi I2C dengan mikrokontroler ESP32. Selain itu, terdapat pin SQW sebagai output gelombang persegi dan pin 32K untuk output oscillator 32 kHz. Memahami pinout ini penting agar pengkabelan dan integrasi modul RTC dengan ESP32 dapat dilakukan dengan tepat sesuai spesifikasi yang telah dijelaskan, penjelasan lebih lanjut mengenai Pinout RTC DS3231 dilampirkan pada table 2.4.

Tabel 2. 4 Pinout RTC DS323[10]

Nama Pin	Fungsi
VCC	Sumber tegangan utama untuk mengoperasikan modul. Biasanya 3.3V atau 5V.
GND	Ground, terhubung ke ground sistem.
SDA	Serial Data, jalur data untuk komunikasi I2C dengan mikrokontroler.
SCL	Serial Clock, jalur clock untuk komunikasi I2C.

SQW /INT	Output gelombang kotak (square wave) yang dapat diprogram frekuensinya, atau sebagai output interrupt alarm.
32K	Output oscillator 32.768 kHz, dapat digunakan sebagai sumber clock eksternal (optional).
VBAT	Input tegangan baterai cadangan untuk menjaga fungsi RTC saat VCC mati.
RST	Pin reset, berfungsi sebagai input pushbutton reset eksternal dan indikator power-fail.

Setelah memahami fungsi dari masing-masing pin pada modul RTC DS3231, dapat diketahui bahwa setiap pin memiliki peran penting dalam mendukung operasi modul secara keseluruhan. Konfigurasi pin yang tepat memastikan modul dapat terhubung dengan baik ke mikrokontroler dan sumber daya, sehingga proses komunikasi dan pengambilan data waktu dapat berjalan secara optimal. Dengan menggunakan tersebut, berikut akan dijelaskan bagaimana cara kerja RTC DS3231 dalam menjaga dan mengelola data waktu secara akurat pada sistem yang terintegrasi.



Gambar 2. 22 Diagram Koneksi

Modul RTC DS3231 dengan Mikrokontroler[10]

Pada Gambar 2.10 Modul DS3231 dihubungkan ke sumber tegangan +5V sesuai dengan diagram rangkaian. Modul ini dirancang untuk beroperasi pada tegangan +5V yang sudah terregulasi, dan penggunaan tegangan yang lebih tinggi dari itu dapat merusak modul. Antarmuka komunikasi I2C antara modul dan mikrokontroler dilakukan dengan

menghubungkan pin SDA modul ke pin SDA mikrokontroler, serta pin SCL modul ke pin SCL mikrokontroler.

Proses komunikasi antara mikrokontroler dan modul RTC DS3231 cukup kompleks, karena data dikirim dan diterima secara byte per byte. Oleh karena itu, pemanfaatan library khusus yang telah dibuat untuk modul DS3231 sangat dianjurkan. Library ini memudahkan proses komunikasi, sehingga pengguna hanya perlu mengunduh dan mengintegrasikan library tersebut ke dalam program. Setelah header file library dimasukkan, mikrokontroler dapat secara otomatis melakukan komunikasi dengan modul dan menyediakan data waktu serta tanggal secara akurat. Selain itu, pengaturan alarm pada modul juga dapat dilakukan dengan mudah melalui library tersebut[10]

Ketika terjadi pemadaman listrik, modul RTC secara otomatis mengambil sumber daya dari baterai cadangan yang terhubung, sehingga waktu tetap terjaga dengan akurat. Saat sistem kembali menyala, mikrokontroler dapat memperoleh data waktu nyata dari modul tanpa mengalami kesalahan atau kehilangan data waktu.

2.2.6 Sensor Debu GP2Y1010AU0F

SHARP GP2Y1010AU0F merupakan modul sensor yang mampu mengukur konsentrasi partikel debu, bahkan dapat membedakan antara debu dan asap. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi partikel yang melintasi LED dan photodiode di dalam modul. Perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh photodiode digunakan untuk menunjukkan tingkat kepadatan debu, Gambar menunjukkan fisik Sensor Debu GP2Y1010AU0F.[11]



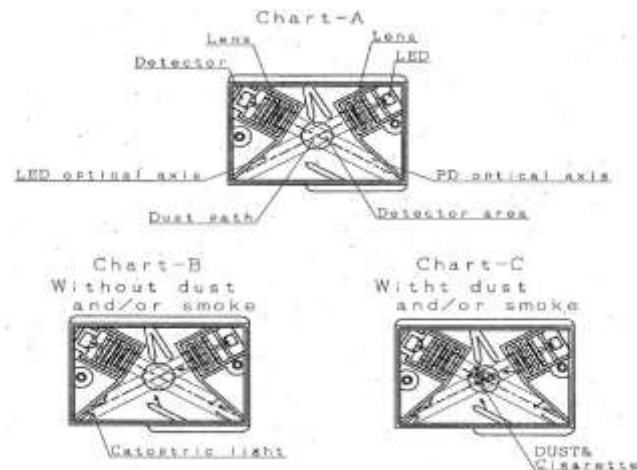
Gambar 2. 23 Sensor Debu GP2Y1010AU0F

Sensor GP2Y1010AU0F memiliki beberapa fitur utama[11]:

1. Dimensi kompak dan tipis (46 x 30 x 17.6 mm)
2. Menggunakan sistem output pulsa, memungkinkan deteksi partikel debu berukuran kecil

3. Dapat membedakan antara partikel debu rumah dan asap rokok
Sensor ini bekerja dengan prinsip deteksi pantulan cahaya. Di dalam sensor terdapat LED (Light Emitting Diode) sebagai pemancar cahaya dan fotodioda sebagai penerima cahaya. Keduanya dilengkapi dengan lensa dan celah (slit) yang berfungsi untuk memfokuskan cahaya dan meminimalkan gangguan dari cahaya luar. Area deteksi utama adalah titik di mana sumbu optik dari LED dan fotodioda bertemu.

Ketika tidak ada partikel debu, cahaya dari LED akan sedikit dipantulkan oleh bagian dalam casing sensor dan sebagian kecil diterima oleh fotodioda, menghasilkan tegangan output dasar yang dikenal sebagai Voc (Voltage Output Clean Air). Sebaliknya, ketika terdapat partikel debu atau asap, cahaya dari LED akan dipantulkan oleh partikel tersebut dan diterima oleh fotodioda dalam jumlah yang lebih besar. Arus yang dihasilkan oleh fotodioda akan diperkuat oleh rangkaian amplifier dan dikonversi menjadi tegangan analog berbentuk pulsa.



Gambar 2. 24 Prinsip Kerja Sensor GP2Y1010AU0F[11]

Sensor debu bekerja dengan mengukur perubahan tegangan yang dipengaruhi oleh kepadatan partikel debu di debu. Output sensor ini merupakan gabungan dari tegangan dasar (V_{oc}) dan tegangan tambahan (ΔV) yang sebanding dengan jumlah debu yang terdeteksi. Secara matematis, tegangan tambahan dihitung dengan rumus:

$$\Delta V = V_o - V_{oc}$$

Setelah memahami prinsip kerja sensor debu yang mengubah pantulan cahaya dari partikel debu menjadi sinyal tegangan, selanjutnya penting untuk melihat spesifikasi teknis sensor tersebut. Spesifikasi ini menjelaskan sensitivitas sensor, rentang pengukuran, tegangan operasi, dan karakteristik lainnya yang menentukan seberapa akurat dan responsif sensor dalam mendeteksi kadar debu di debu. Dengan mengetahui spesifikasi secara lengkap, pengguna dapat memastikan sensor yang digunakan sesuai dengan kebutuhan sistem dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler secara optimal.

Dimana V_o adalah tegangan yang terukur saat ada debu, dan V_{oc} adalah tegangan dasar saat kondisi debu bersih tanpa debu.

Seiring waktu, nilai tegangan ini bisa berubah karena penumpukan debu di dalam sensor, sehingga penting untuk menyimpan nilai tegangan dasar (V_{oc}) di memori mikrokontroler dan memperbaruinya secara berkala.

Dengan cara ini, sistem dapat menyesuaikan pembacaan sensor agar tetap akurat meskipun kondisi sensor berubah.

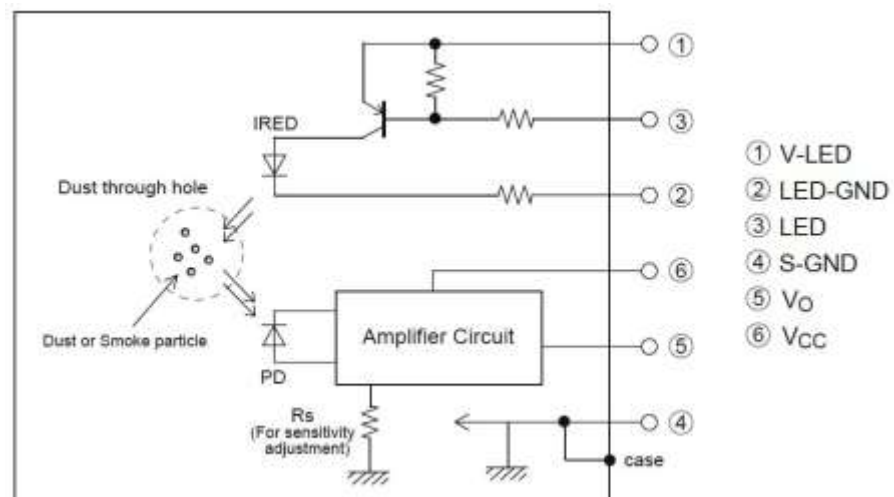
Setelah memahami prinsip kerja sensor debu yang mengubah pantulan cahaya dari partikel debu menjadi sinyal tegangan, selanjutnya penting untuk melihat spesifikasi teknis sensor tersebut. Spesifikasi ini menjelaskan sensitivitas sensor, rentang pengukuran, tegangan operasi, dan karakteristik lainnya yang menentukan seberapa akurat dan responsif sensor dalam mendeteksi kadar debu di debu. Dengan mengetahui spesifikasi secara lengkap, pengguna dapat memastikan sensor yang digunakan sesuai dengan kebutuhan sistem dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler secara optimal, spesifikasi sensor dapat dilihat pada table 2.5.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor debu GP2Y1010AU0F[11]

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama Sensor	GP2Y1010AU0F
2	Jenis Sensor	Optical Dust Sensor
3	Tegangan Operasi	5V DC
4	Tegangan Output	0 – 3.6V (analog)
5	Konsumsi Arus	20 mA (pengoperasian)
6	Partikel yang Terdeteksi	Debu dan asap rokok
7	Waktu Respons	kurang dari 1 detik
8	Suhu Operasional	-10°C hingga +65°C
9	Dimensi	46.0 × 30.0 × 17.6 mm
10	Komunikasi	Output analog dan input LED kontrol
11	Sudut Deteksi	120 derajat
12	Fitur Tambahan	Menggunakan LED infrared dan phototransistor

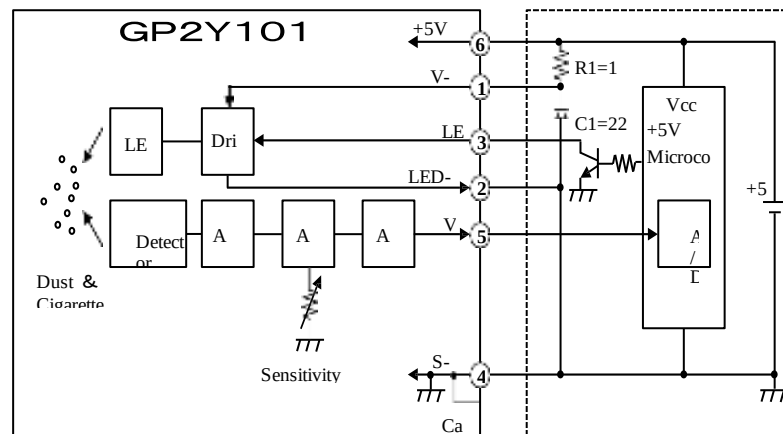
Setelah membahas spesifikasi sensor debu GP2Y1010AU0F, sekarang saatnya memahami pinout sensor tersebut. Mengetahui fungsi dan

posisi setiap pin sangat penting agar kita bisa menghubungkan sensor dengan mikrokontroler secara tepat. Dengan koneksi yang benar, sensor dapat bekerja optimal dan memberikan data yang akurat untuk sistem monitoring debu yang kita buat



Gambar 2. 25 Pinout Sensor debu GP2Y1010AU0F

Pada Gambar 2.25 merupakan pinout dari Sensor GP2Y1010AU0F, sensor ini memiliki beberapa pin yang perlu dipahami agar dapat terhubung dengan benar. Pin V-LED berfungsi sebagai sumber tegangan untuk LED inframerah (IRED) yang digunakan sebagai sumber cahaya, mirip seperti memberikan daya pada senter kecil. Pin LED-GND adalah ground untuk LED tersebut, seperti jalur negatif pada baterai. Pin LED terhubung ke LED dan dapat digunakan untuk mengatur intensitas cahaya yang dipancarkan, seperti mengatur tingkat kecerahan senter. S-GND adalah ground untuk rangkaian penguat (amplifier circuit) yang memperkuat sinyal dari sensor, mirip dengan ground pada amplifier audio. Pin V_o adalah output dari sensor, yang menghasilkan tegangan yang sebanding dengan kepadatan debu, seperti memberikan informasi tentang seberapa banyak debu yang ada di debu. Terakhir, pin Vcc digunakan untuk memberikan tegangan catu daya ke rangkaian penguat di dalam sensor, seperti memberikan daya utama ke seluruh sensor.



Gambar 2. 26 Diagram Koneksi Sensor
GP2Y1010AU0F[11]

Sensor ini memerlukan resistor 150Ω dan kapasitor $220\mu F$ untuk mendukung pengoperasian pulsa LED. Tegangan output akan terbaca paling akurat pada waktu 0.28 ms setelah LED dinyalakan.

Untuk memastikan kinerja optimal sensor, beberapa panduan pemasangan harus diperhatikan[11]:

1. Hindari masuknya cahaya luar langsung ke area deteksi
2. Pasang sensor dengan konektor menghadap ke bawah untuk mencegah penumpukan debu
3. Gunakan filter kasar di depan lubang debu untuk menyaring partikel besar

Karakteristik Tambahan yang terdapat pada Sensor GP2Y1010AU0F adalah:

1. Waktu inisialisasi kurang dari 1 detik
2. Sensor sensitif terhadap getaran dan kondensasi internal
3. Kalibrasi sensitivitas sudah diatur dari pabrik dan tidak disarankan untuk diubah
4. Sensor dapat terpengaruh oleh gangguan elektromagnetik dari perangkat lain

2.2.7 Motor DC

Motor DC adalah jenis motor listrik yang memerlukan tegangan arus searah untuk menghasilkan gerakan mekanik. Bagian yang menghasilkan medan magnet disebut stator (bagian yang diam), sedangkan bagian yang berputar disebut rotor (kumparan jangkar).

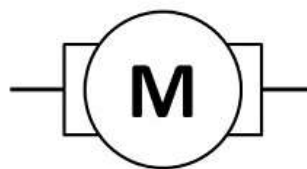


Gambar 2. 27 Motor Dc

Gearbox Planetary 12V 110Rpm Aa991

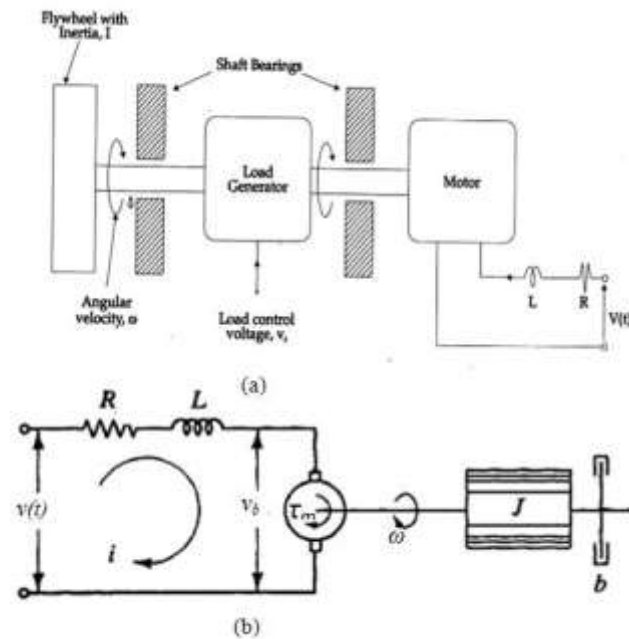
Pada Gambar 2.27 merupakan motor DC jenis Motor Dc Gearbox Planetary 12V 110Rpm Aa991 Perangkat elektronik ini mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran.

Simbol Motor DC



Gambar 2. 28 Simbol Motor DC

Simbol yang ditampilkan pada gambar 2.28 merupakan simbol standar untuk motor DC (Direct Current Motor) dalam rangkaian listrik dan elektronik. Simbol ini terdiri dari huruf "M" yang menandakan "motor"



Gambar 2. 29 Skematik Diagram Motor DC

Pada Gambar 2.29 rangkaian skematik motor DC, sumber tegangan $V(t)$ dihubungkan ke rangkaian armatur yang terdiri dari resistansi R dan induktansi L . Arus yang mengalir melalui rangkaian ini akan menghasilkan torsi elektromagnetik (τ_m) yang memutar poros motor. Saat poros berputar, kecepatan sudut (ω) yang dihasilkan akan memunculkan tegangan lawan (back EMF) yang bekerja melawan tegangan input. Sistem mekanik pada motor DC juga melibatkan inersia (J) dan redaman (b), yang mempengaruhi respons dinamis motor terhadap perubahan beban atau tegangan masukan. Secara keseluruhan, skematik ini menggambarkan hubungan antara aspek kelistrikan dan mekanik pada motor DC, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis performa motor dalam berbagai kondisi operasi, seperti perubahan kecepatan, torsi, maupun beban yang diterima.

Di dalam motor DC, terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan yang terhubung ke komutator (cincin belah) yang berfungsi sebagai saklar kutub. Pengguna berkat adanya insulator. Prinsip kerja motor DC didasarkan pada gaya Lorentz, di mana konduktor berarus dalam medan magnet akan menghasilkan gaya yang tegak lurus terhadap arah medan magnet dan arus. Motor DC (Direct Current) merupakan salah satu jenis

motor listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi.

$$N = \frac{V_{TM} - I_A R_A}{K\phi}$$

Keterangan:

V_{TM} : Tegangan terminal

I_A : Arus jangkar motor

R_A : Hambatan jangkar motor

K : Konstanta motor

ϕ : Fluk magnet yang terbentuk pada motor.

Gambar 2. 30 Gaya lorentz

pada gambar 2.28 merupakan Prinsip kerja motor DC didasarkan pada hukum Lorentz, yaitu ketika arus listrik dialirkan ke dalam kumparan yang berada di antara medan magnet, akan timbul gaya Lorentz yang menyebabkan kumparan tersebut berputar. Motor DC terdiri dari beberapa komponen utama, seperti stator (bagian diam yang menghasilkan medan magnet), rotor atau armature (bagian berputar yang terdiri dari lilitan kawat), komutator (cincin belah yang berfungsi membalik arah arus), dan sikat (brush) yang menghubungkan arus listrik dari sumber ke kumparan melalui komutator. Ketika arus listrik mengalir melalui sikat menuju kumparan armature, interaksi antara arus listrik dan medan magnet menghasilkan gaya Lorentz yang mendorong armature untuk berputar. Komutator berperan penting dalam membalik arah arus setiap setengah putaran sehingga torsi yang dihasilkan tetap searah dan rotor dapat berputar secara kontinu. Dengan demikian, selama arus listrik mengalir ke motor, proses konversi energi listrik menjadi energi mekanik akan terus berlangsung dan motor akan tetap berputar.

Adapun dalam alat pembersih panel surya otomatis ini menggunakan motor DC motor DC 25-ga-370 rs-370 dengan spesifikasi pada table 2.6.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Motor DC Gearbox Planetary AA991

Spesifikasi	Keterangan
Nama Produk	Motor DC Gearbox Planetary AA991
Tegangan Operasional	12 Volt DC
Kecepatan Tanpa Beban	± 110 RPM
Jenis Gearbox	Planetary Gearbox
Rasio Gearbox	$\pm 1:30 - 1:50$ (tergantung varian)
Torsi Maksimal	$\pm 20 - 25$ kg.cm
Diameter Poros Output	± 8 mm
Panjang Poros	± 20 mm
Diameter Motor	± 36 mm
Panjang Total Motor	$\pm 90 - 100$ mm
Arus Tanpa Beban	$\pm 0.4 - 0.7$ A

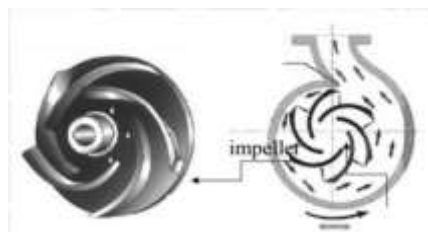
2.2.8 Pompa

Pompa adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi mekanis menjadi energi hidrolis. Secara umum, pompa digunakan untuk memindahkan cairan dari satu lokasi ke lokasi lain dengan cara meningkatkan tekanan cairan tersebut serta memberikan energi kepada fluida yang dipompa, pompa ditunjukkan pada gambar 2.29.[12]

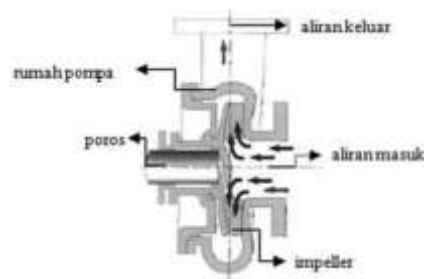


Gambar 2. 31 Pompa Dispenser Miyako

Pompa bekerja berdasarkan prinsip menciptakan tekanan rendah di bagian isap (suction) sehingga cairan dapat tersedot masuk, kemudian mengeluarkannya pada sisi tekan (discharge) dengan tekanan yang lebih tinggi.



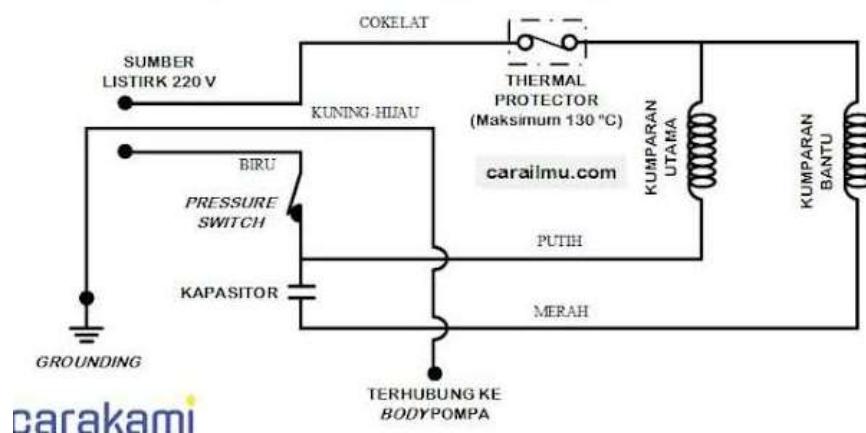
Gambar 2. 32 Penampang Impeller dan perubahan energi pompa[12]



Gambar 2. 33 Proses Pemompaan

Pada pompa terdapat bilah-bilah impeller yang berfungsi mengangkut cairan dari posisi yang lebih rendah ke posisi yang lebih tinggi. Impeller dipasang pada poros pompa yang terhubung dengan motor penggerak, biasanya berupa motor bakar atau motor listrik. Ketika motor penggerak berputar, poros pompa akan ikut berputar dan memutar impeller. Gerakan putar impeller menyebabkan cairan di dalamnya ikut berputar, sehingga tekanan dan kecepatan cairan meningkat. Cairan kemudian terdorong dari pusat pompa menuju saluran berbentuk volute atau spiral, lalu keluar melalui nosel.

Dengan demikian, fungsi impeller pada pompa adalah mengubah energi mekanik dari putaran impeller menjadi energi fluida pada cairan. Cairan yang masuk ke dalam pompa akan memperoleh tambahan energi, yang menyebabkan peningkatan head tekan, head kecepatan, dan head potensial. Ketiga jenis head ini jika dijumlahkan disebut sebagai head total. Head total pompa juga dapat diartikan sebagai selisih energi per satuan berat cairan antara sisi hisap dan sisi tekan pompa.



Gambar 2. 34 Skematik Diagram Pompa Air

Diagram kelistrikan pompa air pada Gambar 2.34 menggambarkan susunan komponen utama yang digunakan untuk mengoperasikan pompa air listrik satu fasa pada tegangan 220V. Sumber listrik dihubungkan ke sistem melalui kabel cokelat dan biru, dengan kabel biru melewati pressure switch yang berfungsi sebagai saklar otomatis berdasarkan tekanan air. Setelah

pressure switch, arus listrik dialirkan ke kapasitor yang berfungsi membantu proses starting motor dengan memberikan torsi awal pada kumparan bantu.

Pada jalur kabel coklat, terdapat thermal protector yang akan memutus arus jika suhu motor melebihi batas maksimum 130°C, sehingga melindungi motor dari kerusakan akibat overheating. Dari thermal protector, arus masuk ke kumparan utama motor, sementara jalur lain melalui kapasitor menuju kumparan bantu. Kedua kumparan ini bekerja sama untuk menghasilkan medan magnet yang memutar rotor motor pompa air.

Diagram ini juga menunjukkan adanya sistem grounding yang terhubung ke body pompa guna mencegah bahaya listrik akibat kebocoran arus. Dengan konfigurasi ini, pompa air dapat bekerja secara otomatis dan aman, serta terlindungi dari risiko panas berlebih dan gangguan kelistrikan lainnya.

Untuk mendukung proses penyemprotan air pada permukaan panel surya, dibutuhkan pompa yang praktis, bertenaga cukup, dan mudah dikendalikan. Oleh karena itu, digunakan pompa Dinamo Dispenser Miyako WDP-200/WDP-300 12V DC. Adapun spesifikasi pompa tersebut terdapat pada tabel 2.7.

Tabel 2. 7 pompa Dinamo Dispenser Miyako WDP-200/WDP-300 12V DC[12]

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Pompa	Pompa air mini DC untuk dispenser galon bawah
Tegangan Kerja	12V DC
Debit Air	± 2 liter/menit
Fitur keamanan	Smart Safety Pump, Smart Indicator
Kapasitas Tangki	1,9 liter (cadangan air tetap tersedia saat listrik mati)
Material	Food grade, sesuai standar Pengguna SNI

Aplikasi	Menyedot air dari galon bawah ke tangki dispenser
Daya Listrik (Total Unit)	350–420 watt (termasuk pemanas & pendingin)
Tipe Instalasi	Terintegrasi di dalam unit dispenser

2.2.9 Wiper pembersih

Wiper adalah perangkat yang digunakan untuk membersihkan atau menghapus air, kotoran, dan debu dari permukaan kaca. Wiper umumnya digunakan pada kendaraan bermobil untuk memastikan visibilitas yang baik saat mengemudi, terutama dalam kondisi cuaca buruk seperti hujan, salju atau embun beku.[2]



Gambar 2. 35 Wiper

Wiper bekerja dengan gerakan berulang-ulang melintasi permukaan kaca untuk membersihkan kotoran, Jenis-jenis karet Wiper meliputi:

a. Silicon Squeegee StPenggunar (*Single Blade*)

Wiper Jenis ini merupakan squeegee paling sederhana, terdiri dari satu bilah karet atau silikon yang digunakan untuk menghapus air dan kotoran dari permukaan kaca. Squeegee stPenggunar biasanya memiliki gagang pendek dan mudah digunakan untuk membersihkan kaca jendela, cermin, atau permukaan datar lainnya di rumah.

b. Squeegee Multifungsi (2 in 1 atau Multifungsi)

Wiper ini menggabungkan dua atau lebih fungsi dalam satu alat, misalnya satu sisi berupa bilah karet untuk menyeka air dan sisi lainnya berupa spons atau kain microfiber untuk mengangkat kotoran. Beberapa tipe juga dilengkapi gagang yang bisa dipanjangkan (*extendable handle*) atau semprotan cairan pembersih (*built-in spray*). Jenis ini cocok untuk membersihkan kaca di area yang sulit dijangkau atau untuk membersihkan permukaan lain seperti lantai dan keramik.

c. Squeegee Magnetik

wiper terdiri dari dua bagian yang saling menempel melalui kaca dengan bantuan magnet. Alat ini memungkinkan pembersihan kedua sisi kaca secara bersamaan, sangat efektif untuk jendela yang sulit dijangkau dari luar, seperti pada gedung bertingkat atau apartemen. Squeegee magnetik biasanya digunakan untuk kaca dengan ketebalan tertentu agar magnet dapat bekerja optimal.

Wiper squeegee stPenggunar dipilih karena ringan, sederhana, dan cukup efektif menyapu debu pada permukaan panel surya berukuran kecil. Jenis single blade mempermudah gerakan bolak-balik menggunakan motor DC dan tidak membebani rangka. Selain itu, bentuknya cocok dengan sistem rel dan posisi semprotan air, sehingga pembersihan lebih merata tanpa komponen tambahan yang kompleks.

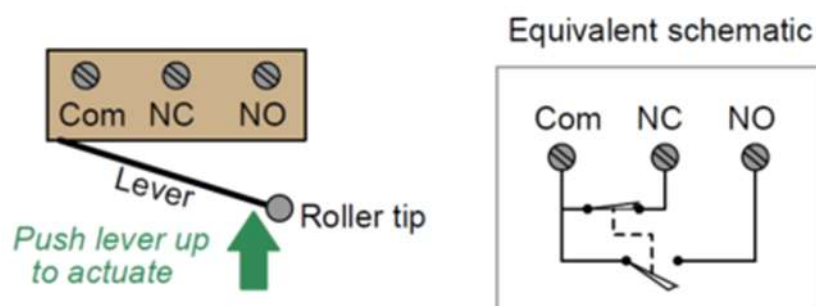
2.2.10 Limit Switch

Limit switch merupakan salah satu jenis sensor mekanis yang berfungsi untuk mendeteksi posisi atau batas gerakan suatu objek dalam sistem otomasi. [1]



Gambar 2. 36 Limit Switch

Prinsip kerja limit switch didasarkan pada kontak fisik antara aktuator (seperti tuas, *roller*, atau *plunger*) dengan objek yang bergerak. Ketika objek menyentuh aktuator, terjadi perubahan posisi pada kontak internal di dalam limit switch, sehingga menghasilkan perubahan status sinyal listrik pada terminal *Normally Open* (NO) atau *Normally Closed* (NC). Sinyal ini kemudian dapat digunakan oleh sistem kontrol, seperti mikrokontroler atau PLC, untuk memberikan perintah tertentu, misalnya menghentikan mesin, mengubah arah gerak, atau sebagai sistem pengaman.



Gambar 2. 37 Prinsip kerja limit Switch

Gambar 2.37 menunjukkan prinsip kerja limit switch dengan tipe tuas dan roller. Pada bagian kiri gambar, terlihat ada tiga terminal utama, yaitu COM (common), NC (*normally closed*), dan NO (*normally open*). Di bawah terminal, terdapat tuas (*lever*) yang ujungnya dilengkapi dengan

roller tip. Ketika tuas ini ditekan ke atas oleh suatu objek, mekanisme di dalam limit switch akan berubah. Dalam keadaan normal (tuas tidak ditekan), terminal COM terhubung dengan NC sehingga arus listrik dapat mengalir melalui jalur ini. Namun, saat tuas ditekan ke atas, koneksi berpindah dari NC ke NO, sehingga arus listrik sekarang mengalir dari COM ke NO. Gambar di sebelah kanan memperlihatkan skema rangkaian yang setara, di mana posisi kontak akan berubah tergantung apakah tuas ditekan atau tidak. Dengan cara kerja seperti ini, limit switch dapat digunakan untuk mendeteksi posisi atau batas akhir gerakan suatu mesin secara otomatis dan memberikan sinyal ke sistem kontrol.

Pada sistem alat pembersih panel surya otomatis ini digunakan komponen limit switch sebagai sensor pendeteksi posisi mekanis. Limit switch ini berfungsi untuk memberikan sinyal ketika wiper mencapai batas ujung lintasannya. Pemilihan komponen ini didasarkan pada kemampuannya yang Penggunal dalam kondisi lingkungan yang bervariasi serta kemudahan integrasi dengan rangkaian mikrokontroler. Adapun detail spesifikasi teknis dari limit switch yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Spesifikasi Limit Switch

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Dimensi Bodi	28 mm x 16 mm x 10 mm
2	Panjang Gagang	27 mm
3	Tegangan & Arus	5A/250V, 16A/125V
4	Rating	15A 250VAC / 0.6A 125VDC / 0.3A 250VDC
5	Bentuk Kontak	SPDT (Single Pole Double Throw)
6	Tipe Kontak	Momentary, material kontak: Silver, tuas: Stainless Steel
7	Jenis Aktuator	Tuas Engsel dan Roda
8	Jenis Terminal	Quick Connect

9	Jumlah Terminal	3 (NC, NO, dan COM)
10	Gaya Operasi Maksimum	1.23 N
11	Suhu Kerja	-25°C hingga 80°C
12	Dimensi Keseluruhan	37 mm x 30 mm x 10 mm

2.2.11 ThingSpeak Server

ThingSpeak adalah sebuah platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang digunakan untuk menyimpan dan memantau data sensor secara real-time melalui jaringan internet. [13]



Gambar 2. 38 ThingSpeak

Pada Gambar 2.38 merupakan Platform ThingSpeak, platform ThingSpeak ini memudahkan pengguna dalam mengirimkan data dari perangkat mikrokontroler seperti ESP32 ke server online, kemudian menampilkannya dalam bentuk grafik yang mudah dipahami. ThingSpeak juga mendukung analisis data langsung di dalam platform menggunakan MATLAB, sehingga proses pemantauan dan evaluasi bisa dilakukan secara praktis dan efisien.

Di dalam ThingSpeak terdapat beberapa komponen penting, seperti channel sebagai tempat penyimpanan data, field untuk setiap jenis data sensor, serta API key yang berfungsi sebagai akses pengiriman dan pengambilan data. Selain itu, pengguna juga disediakan dashboard untuk memvisualisasikan data dalam bentuk grafik waktu nyata, yang bisa diakses dari perangkat mana pun selama terhubung ke internet.

Dalam merancang dan membangun alat pembersih panel surya otomatis ini, pemilihan platform ThingSpeak didasarkan pada kebutuhan

sistem untuk dapat melakukan pemantauan data secara real-time dan berbasis internet. ThingSpeak memungkinkan data dari alat seperti jam operasional, intensitas debu PM2.5, status pembersihan, hingga jumlah siklus kerja untuk dikirim dan ditampilkan secara langsung dalam bentuk grafik yang mudah dipahami.

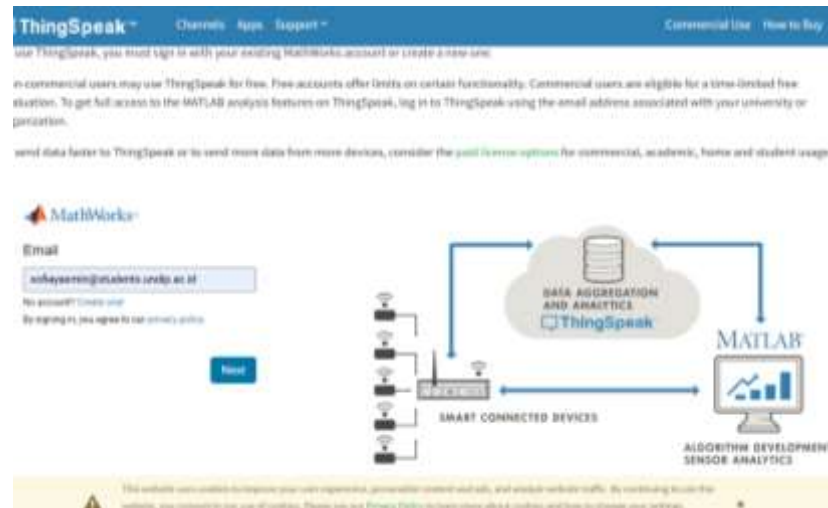
Platform ini dipilih karena mampu berkomunikasi langsung dengan ESP32 melalui koneksi WiFi, serta menyediakan dokumentasi API yang sederhana, sehingga proses integrasi tidak memerlukan konfigurasi kompleks. ThingSpeak juga memiliki kelebihan dalam menyimpan data historis, sehingga pengguna atau peneliti dapat meninjau dan mengevaluasi performa alat secara berkala.[12]

Selain itu, ThingSpeak mendukung visualisasi interaktif yang membuat data tidak hanya ditampilkan sebagai angka, tetapi juga dalam bentuk grafik yang dinamis dan informatif. Hal ini sangat membantu dalam melakukan analisis sederhana terhadap kondisi lingkungan dan efektivitas kerja alat.

Setelah memahami penjelasan umum tentang ThingSpeak sebagai platform cloud untuk Internet of Things (IoT), langkah berikutnya adalah mempelajari cara penggunaannya secara praktis. ThingSpeak menyediakan kemudahan bagi pengguna untuk mengirim, menyimpan, dan memantau data sensor secara real-time melalui internet. Dengan fitur seperti visualisasi data dalam bentuk grafik, akses cloud dari mana saja, serta integrasi dengan perangkat, platform ini sangat cocok digunakan baik untuk pemula maupun pengembang proyek IoT yang lebih kompleks.

Sebagai langkah awal dalam menggunakan ThingSpeak, pengguna perlu membuat akun terlebih dahulu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.35. Jika sudah memiliki akun, pengguna bisa langsung melakukan login. Namun, bagi yang belum memiliki akun, harus membuatnya terlebih dahulu dengan mendaftarkan email yang bersifat akun resmi. Proses pendaftaran ini meliputi pengisian data seperti nama, alamat email, lokasi, dan verifikasi melalui email yang dikirimkan oleh ThingSpeak. Setelah email terverifikasi

dan pembuatan password selesai, akun siap digunakan untuk mengakses platform ThingSpeak dan melanjutkan ke tahap berikutnya.



Gambar 2. 39 Pembuatan Akun ThinkSpeak

. Setiap channel dapat diatur sesuai kebutuhan, mulai dari pemberian nama, penambahan field untuk data sensor, hingga pengaturan privasi data. Setelah channel dibuat, ThingSpeak akan memberikan API Key yang berfungsi sebagai kunci agar perangkat IoT dapat mengirimkan data ke platform ini. Selanjutnya, pengguna dapat mulai menghubungkan perangkat seperti Arduino atau ESP32 ke ThingSpeak dengan memasukkan API Key dan konfigurasi jaringan ke dalam kode program. Dengan demikian, data sensor yang diperoleh dari perangkat akan secara otomatis tampil dan dapat dipantau melalui dashboard ThingSpeak

Setelah berhasil login ke akun ThingSpeak, langkah berikutnya adalah mengakses menu “*Channels*” yang terletak di bagian atas halaman utama seperti pada gambar 2.39. Dari menu tersebut, pilih opsi “*My Channels*” untuk melihat daftar channel yang sudah dibuat atau untuk memulai pembuatan channel baru. Untuk membuat channel baru, klik tombol “*New Channel*” yang akan membawa Pengguna halaman pembuatan channel, di mana Pengguna dapat mengatur nama channel, deskripsi, serta menambahkan field untuk data sensor yang akan dikirimkan. Proses ini

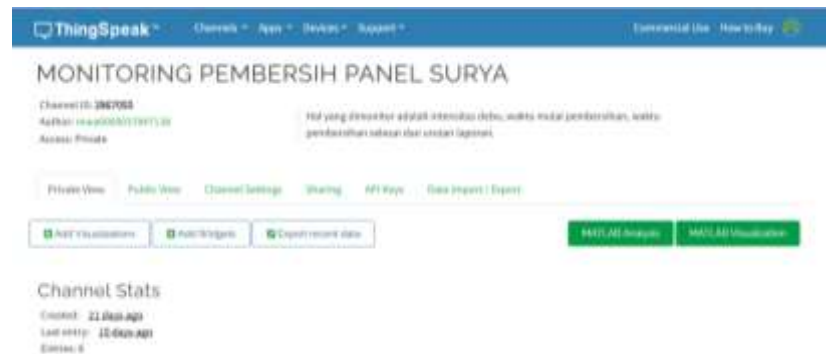
merupakan tahap awal yang penting agar data dari perangkat IoT dapat tersimpan dan dipantau secara terstruktur di platform ThingSpeak.



Gambar 2. 40 Pembuatan Channel ThingSpeak

Pada Gambar 2.40, saat membuat channel baru di ThingSpeak, pengguna perlu mengisi beberapa informasi penting agar channel tersebut dapat berfungsi dengan baik dan data yang dikirimkan dari sensor dapat tersimpan secara terstruktur. Pertama, berikan nama channel yang jelas dan deskriptif, misalnya “MONITORING PEMBERSIH PANEL SURYA,” agar mudah dikenali dan sesuai dengan fungsi channel tersebut. Selanjutnya, isi deskripsi singkat yang menjelaskan tujuan pembuatan channel, seperti “Hal yang dimonitor adalah intensitas debu, waktu mulai pembersihan, waktu pembersihan selesai, dan urutan laporan.” Selain itu, pengguna juga harus menentukan nama-nama field yang mewakili data yang akan dikumpulkan, misalnya “Jadwal” untuk penjadwalan rutin dan “pm2.5” untuk tingkat debu. ThingSpeak menyediakan hingga delapan field dalam satu channel, sehingga pengguna dapat menyesuaikan nama field sesuai dengan jenis data sensor yang digunakan. Setelah semua informasi terisi dengan lengkap, channel siap digunakan untuk menerima dan menyimpan data dari perangkat IoT, sehingga memudahkan pemantauan data secara real-time melalui platform ThingSpeak. Dengan pengaturan ini, proses

monitoring sistem pembersih panel surya dapat berjalan lebih efektif dan terorganisir.



Gambar 2. 41 Channel baru di ThingSpeak

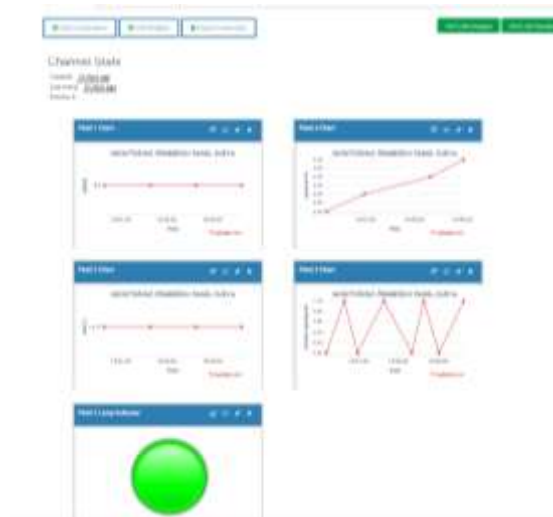
Untuk memulai penggunaan ESP32 di Arduino IDE, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengatur board ESP32 pada Arduino IDE. Caranya, buka Arduino IDE lalu masuk ke menu File > Preferences, kemudian pada kolom “Additional Board Manager URLs” tambahkan alamat https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json.

Setelah itu, buka Tools > Board > Boards Manager, cari “ESP32”, dan klik Install pada versi terbaru yang tersedia. Setelah proses instalasi selesai, pilih board ESP32 yang sesuai “ESP32 Dev Module”, lalu hubungkan board ke komputer menggunakan kabel USB.

Selanjutnya, Pengguna perlu menginstal library yang dibutuhkan untuk ESP32 dan ThingSpeak agar dapat digunakan dalam pemrograman. Caranya dengan membuka menu Sketch > Include Library > Manage Libraries di Arduino IDE, kemudian cari dan instal library “ESP32” dan “ThingSpeak”.

Setelah semua pengaturan dan instalasi library selesai, langkah berikutnya adalah mengembangkan sketch Arduino untuk ESP32. seperti pada gambar 2.41, Pengguna perlu mengimpor library yang diperlukan seperti WiFi.h untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan Wi-Fi dan ThingSpeak.h untuk mengirim data ke platform ThingSpeak. Jangan lupa untuk memasukkan kredensial Wi-Fi Pengguna, yaitu nama jaringan (SSID) dan password, agar ESP32 dapat terhubung ke internet dengan lancar.

Jika ingin membuat visualisasi yang lebih sesuai dengan kebutuhan atau tampilan yang lebih personal, pengguna dapat kembali ke tab “Apps” dan menjelajahi berbagai pilihan visualisasi yang tersedia di ThingSpeak. Dengan fitur ini, proses pemantauan data menjadi lebih mudah dan informatif,



Gambar 2. 44 Visualisasi thingSpeak