

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Rancangan dan pengembangan prototipe sistem pemantauan kelembaban tanah berbasis ESP32 dengan penggunaan teknologi IoT dan sumber energi panel surya merupakan langkah inovatif untuk meningkatkan efisiensi dalam pemantauan kondisi kelembaban tanah di sektor pertanian ataupun perkebunan. Sistem ini memanfaatkan teknologi *Internet of Things (IoT)* guna memberikan informasi secara *Real-time* tentang kelembaban tanah, yang sangat krusial bagi pertumbuhan tanaman. Tinjauan pustaka ini tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi kekurangan dalam pengetahuan yang ada, tetapi juga dalam menentukan arah yang seharusnya diambil oleh penelitian ini, terutama dalam penerapan teknologi panel surya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1. Penelitian pertama dilakukan oleh Wulantika Sintia, Dedy Hamdani, dan Eko Risdianto pada Jurnal Kumparan Fisika dengan judul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kelembaban Tanah dan Suhu Udara Berbasis GSM SIM900A dan Arduino Uno” dijelaskan bahwa sistem ini dirancang untuk memantau kelembaban tanah dan suhu udara pada tanaman dengan menggunakan teknologi GSM dan Arduino. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, termasuk sensor DHT11 untuk mengukur suhu, sensor kelembaban tanah, dan modul GSM SIM900A untuk mengirimkan informasi kepada pemilik tanaman melalui SMS. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang efisien dalam pemeliharaan tanaman, terutama bagi petani yang memiliki kesibukan tinggi. Penggunaan teknologi GSM memungkinkan pemantauan jarak jauh tanpa memerlukan

koneksi internet, sehingga lebih praktis bagi petani, terutama di daerah terpencil. Namun, terdapat beberapa kekurangan dalam penelitian ini. Pertama, ketergantungan pada sinyal GSM dapat menjadi masalah di daerah dengan jangkauan sinyal yang buruk, yang dapat menghambat pengiriman informasi. [2]

2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Irwan Agus Saputro, Jatmiko Endro Suseno, dan Catur Edi Widodo pada *Youngster Physics Journal* dengan judul “Rancang bangun sistem pengaturan kelembaban tanah secara real time menggunakan mikrokontroler dan diakses di web” Jurnal ini menjelaskan pengembangan sistem *Monitoring* kelembaban tanah dan suhu udara yang menggunakan mikrokontroler ATmega328 dan dapat diakses melalui web. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi tanah pada lahan pertanian dengan menggunakan sensor kelembaban tanah dan sensor suhu udara DS18B20. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirim ke server database melalui jaringan GSM, dan sistem akan melakukan penyiraman otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah standar yang ditentukan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan pengukuran kelembaban tanah dan suhu udara secara akurat. Dalam pengujian, sistem berhasil meningkatkan kelembaban tanah hingga 99% pada dua medium dan 97% pada medium ketiga setelah dilakukan penyiraman otomatis. Data yang dikumpulkan dapat diakses secara *Real-time* melalui antarmuka web, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanah dari jarak jauh. [3]
3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rani Deliana, Devie Ryana Suchendra, dan Periyadi pada Jurnal *e-Proceeding of Applied Science* dengan judul “Sistem *Monitoring* Pengukur pH dan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Strawberry dengan Sensor DHT22 serta Penyiram Otomatis Berbasis IoT,” dijelaskan bahwa sistem ini dirancang untuk memantau kelembaban tanah dan pH pada tanaman strawberry menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini memanfaatkan

sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor kelembaban tanah dan pH untuk memberikan data yang akurat mengenai kondisi tanah. Data yang diperoleh akan dikirimkan ke aplikasi berbasis web dan Telegram, sehingga petani dapat memantau kondisi tanaman secara *Real-time* dan melakukan penyiraman otomatis jika diperlukan. [4]

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah merujuk pada jumlah air yang mengisi pori-pori tanah di atas permukaan air tanah (water table). Kondisi ini sangat dinamis karena dipengaruhi oleh proses penguapan melalui permukaan tanah dan perkolasi air ke lapisan yang lebih dalam. Pemantauan kelembaban tanah secara akurat dan tepat waktu penting dalam manajemen sumber daya air, penjadwalan irigasi, serta peringatan dini terhadap bencana seperti kekeringan dan banjir. [5]

Pemantauan kelembaban tanah dalam sektor pertanian sangatlah krusial untuk memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat, mendukung pertumbuhan dan produktivitas yang optimal. Kelembaban tanah yang rendah dapat menyebabkan tanaman mengalami stres akibat kekeringan, yang berdampak pada proses fotosintesis dan mengurangi hasil panen. Di sisi lain, kelembaban yang berlebihan berpotensi memicu pembusukan akar serta meningkatkan risiko serangan penyakit yang disebabkan oleh jamur dan bakteri. Oleh sebab itu, dengan melakukan pemantauan kelembaban tanah secara rutin, petani dapat menyesuaikan jadwal irigasi dengan lebih efisien, menghemat penggunaan air, dan sekaligus meningkatkan hasil pertanian.

Pengairan adalah memberikan sejumlah air sesuai dengan kebutuhan tanaman di sekitar perakaran pada waktu yang tepat. Tujuan pengairan adalah untuk menjaga ketersediaan air bagi tanaman, karena tanaman cabai rentan terhadap kekeringan, namun juga tidak tahan terhadap genangan yang lama. Pengairan juga berperan untuk menggantikan air yang hilang akibat penguapan dan hilang, sehingga pertumbuhan tanaman dapat berjalan optimal. Kelembaban

tanah yang ideal bagi tanaman adalah 60-80% kapasitas lapang [6]. Lebih jauh lagi, pemantauan kelembaban tanah turut berkontribusi dalam konservasi sumber daya air dan keberlanjutan lingkungan. Dengan menerapkan sistem pemantauan berbasis sensor dan teknologi *Internet of Things (IoT)*, petani dapat mengakses data *Real-time* tentang kondisi kelembaban tanah, sehingga mereka dapat membuat keputusan yang lebih tepat. Hal ini tidak hanya membantu dalam mengoptimalkan penggunaan air, tetapi juga mengurangi pemborosan serta mencegah degradasi tanah akibat praktik irigasi yang tidak tepat. Untuk lebih lanjutnya, kita bisa melihat konsentrasi kelembaban tanah yang dibutuhkan pada Tanaman Cabai [7]. Pada Tabel 2-1 di bawah ini.

Tabel 2- 1 konsentrasi kelembaban tanah yang dibutuhkan pada Tanaman Cabai

Fase Pertumbuhan	Kelembaban Tanah yang Direkomendasikan (%)	Deskripsi
Bibit	70 - 80%	Kelembaban tinggi dibutuhkan untuk perkecambahan optimal.
Vegetatif (1-2 bulan)	60 - 80%	Pertumbuhan akar dan daun membutuhkan kelembaban sedang.
Pembuahan/Pembungaan	60-70%	Kelembaban cukup untuk pembentukan dan pertumbuhan buah.
Menjelang Panen	55 - 65%	Kelembaban dikurangi untuk meningkatkan kualitas buah.

Pemupukan merupakan salah satu aspek krusial dalam budidaya tanaman cabai (*Capsicum* sp.) karena secara langsung memengaruhi pertumbuhan vegetatif, pembungaan, dan produksi buah. Ketersediaan nutrisi yang tidak memadai atau tidak tepat waktu dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, daun menguning, serta menurunnya kualitas dan kuantitas buah. Dalam sistem *smart greenhouse*, proses pemupukan yang terintegrasi dengan otomatisasi sangat penting untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan asupan nutrisi secara efisien, sesuai kebutuhan, dan pada waktu yang tepat. Hal ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga mengurangi risiko pemborosan pupuk dan dampak negatif terhadap lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pupuk organik cair urin kambing memiliki hasil paling baik pada parameter tinggi tanaman, jumlah buah dan berat buah per tanaman cabe rawit (*Capsicum frutescens*), diikuti dengan jenis pupuk organik cair NASA. Interval waktu pemberian pupuk yang paling efektif dan memberikan hasil yang paling tinggi yaitu 6 hari sekali. [8]

Penyemprotan insektisida dengan frekuensi berbeda di kalangan petani untuk mengendalikan hama lalat buah karena kebiasaan petani yang sudah membuat jadwal, berdasarkan pengalaman, berdasarkan musim dan melihat tingkat serangan hama sehingga petani bisa menentukan frekuensi penyemprotan yang menurutnya efektif. Hasil penelitian Syahidah (2019) mengatakan frekuensi penyemprotan pestisida pada tanaman cabai, rata-rata akan meningkat ketika musim hujan dibandingkan dengan musim kemarau, petani lebih sering melakukan penyemprotan 1 kali/minggu. Frekuensi penyemprotan insektisida merupakan jumlah atau tingkat keseringan penyemprotan insektisida pada tanaman untuk mengendalikan hama. [9]

2.2.2 Sensor Kelembaban Tanah Resistif

Sensor kelembaban tanah resistif adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam tanah berdasarkan perubahan resistansi (hambatan listrik) antara dua probe logam yang ditanam ke dalam

tanah. Saat tanah dalam kondisi basah, air sebagai konduktor akan menurunkan hambatan listrik di antara dua elektroda, sehingga arus listrik dapat mengalir lebih mudah. Sebaliknya, ketika tanah kering, resistansi meningkat karena tanah menjadi kurang konduktif. Sensor ini umumnya memiliki dua pin probe yang terbuat dari logam dan terhubung ke mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 untuk membaca nilai kelembaban secara analog.

Keunggulan utama sensor resistif dibandingkan dengan sensor kapasitif adalah harganya yang jauh lebih murah dan kemudahan penggunaannya untuk pemula. Sensor resistif banyak digunakan dalam proyek edukasi, prototipe sederhana, dan aplikasi hobi karena biayanya rendah serta mudah diintegrasikan ke berbagai mikrokontroler tanpa memerlukan kalibrasi kompleks. Selain itu, sensor resistif lebih mudah dipahami dari segi prinsip kerja karena hanya mengandalkan nilai resistansi sebagai pembacaan langsung terhadap kondisi basah atau kering pada tanah.

Namun, meskipun sensor kapasitif lebih tahan lama terhadap korosi karena tidak menggunakan logam terbuka yang bersentuhan langsung dengan tanah, sensor resistif tetap memiliki keunggulan dalam deteksi cepat dan sensitif terhadap perubahan kelembaban dalam jangka pendek. Sensor ini bisa menjadi pilihan tepat untuk *monitoring* tanaman jangka pendek atau penggunaan dalam ruangan di mana faktor korosi dan umur pakai bukan menjadi kendala utama. Dengan perawatan dan penggunaan yang hati-hati, sensor resistif tetap bisa berfungsi secara efektif untuk keperluan pertanian kecil atau percobaan ilmiah sederhana. Untuk spesifikasi dari sensor kelembaban tanah resistif dapat dilihat pada Tabel 2-2.

Tabel 2- 2 Spesifikasi Sensor Kelembaban Tanah Resistif [10].

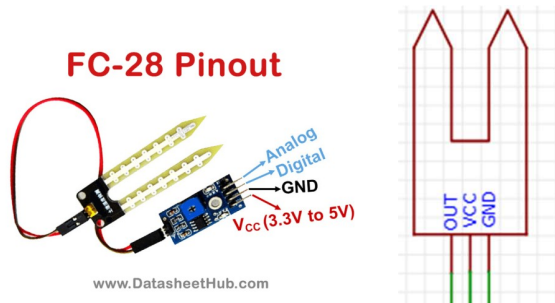
Parameter	Spesifikasi
Tegangan operasi (VCC)	3.3 V hingga 5 V

Arus Operasi	15mA
Output Voltage analog	0 – 4.2V
Pcb size	3.2cm x 1.4cm
Dimensi probe	Sekitar 60mm x 20mm
Rentang kelembaban tanah	0% – 100% (tanpa satuan mutlak, bersifat relatif)
Suhu operasional	10°C – 30°C (optimal)
Output	Analog (A0) dan Digital (D0 via comparator)

Sensor kelembaban tanah resistif umumnya terdiri dari dua bagian utama, yaitu probe logam (YL-69) dan modul pengolah sinyal (FC-28). Modul ini memiliki empat pin utama: VCC, GND, A0 (Analog Output), dan D0 (Digital Output). Pin VCC digunakan untuk menyuplai tegangan kerja ke modul, biasanya sebesar 3.3V atau 5V DC. Pin GND berfungsi sebagai ground atau referensi arus sistem. Pin A0 merupakan keluaran analog yang menghasilkan sinyal tegangan proporsional terhadap kelembaban tanah—semakin basah tanah, semakin rendah resistansi antara elektroda, dan tegangan analog yang terbaca akan menurun. Sementara itu, pin D0 adalah keluaran digital yang akan bernilai HIGH atau LOW tergantung dari ambang batas kelembaban yang telah disesuaikan melalui potensiometer di atas modul. Sinyal digital ini berguna untuk kontrol otomatis seperti mengaktifkan pompa.

Dua kabel dari probe logam dihubungkan ke konektor khusus di modul FC-28 dan berperan sebagai sensor utama yang mendeteksi perubahan resistansi pada media tanah. Sensor resistif ini secara prinsip memanfaatkan konduktivitas tanah yang dipengaruhi oleh kandungan air. Sensor kelembaban resistif bekerja dengan cara mengukur nilai hambatan antara dua elektroda logam yang ditanam ke dalam tanah, dan sinyal analog dari sensor ini cukup akurat untuk *monitoring* kelembaban tanah skala kecil dan sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Pada Gambar 2.1 terlihat gambar

sensor kelembaban tanah resistif dan Tabel 2-3 adalah spesifikasi dari Sensor kelembaban tanah.



Gambar 2. 1 Sensor Kelembaban Tanah Resistif [10]

Tabel 2- 3 Pin Out Sensor Kelembaban Tanah Resistif

Nama Pin	Fungsi	Deskripsi
VCC	Tegangan Input	Dihubungkan ke 3.3V atau 5V sesuai mikrokontroler
GND	Ground	Pin ini digunakan sebagai jalur ground (negatif) yang terhubung ke sistem mikrokontroler.
A0	Output analog yang merepresentasikan kelembaban tanah	Output sinyal analog dari pembacaan kelembaban tanah (rentang 0 – 1023).
D0	Output digital	Output sinyal digital berdasarkan ambang batas kelembaban (HIGH atau LOW).
2 Pin Probe	Analog Input	Ujung elektroda yang mendeteksi kelembaban tanah berdasarkan resistansi.

2.2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah perangkat elektronik kecil yang berfungsi sebagai otak dalam suatu sistem atau perangkat elektronik. Mikrokontroler mengintegrasikan banyak komponen seperti prosesor, memori, dan input/output (I/O) dalam satu chip tunggal. Fungsi utama mikrokontroler adalah untuk menjalankan instruksi yang telah diprogramkan untuk mengendalikan berbagai perangkat atau aplikasi, seperti robot, alat rumah tangga, atau bahkan sistem otomotif. Mikrokontroler beroperasi berdasarkan bahasa pemrograman tertentu, yang umumnya adalah bahasa tingkat tinggi seperti C atau C++, yang dikompilasi menjadi kode mesin yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler tersebut.

Hubungan antara mikrokontroler dan ESP32 terletak pada kenyataan bahwa ESP32 merupakan jenis mikrokontroler dengan kemampuan yang lebih tinggi dan fitur yang lebih lengkap, terutama dalam hal konektivitas. Dalam sebuah proyek elektronik berbasis IoT, mikrokontroler seperti ESP32 berfungsi untuk menghubungkan berbagai perangkat dan mengatur interaksi antar perangkat tersebut. Misalnya, ESP32 dapat digunakan untuk mengendalikan sensor suhu, mengirimkan data ke server melalui *Wi-Fi*, dan menerima perintah untuk mengaktifkan perangkat lain via *Bluetooth*. Dengan kemampuan nirkabel yang terintegrasi, ESP32 memudahkan pengembang untuk membangun sistem yang dapat berkomunikasi jarak jauh tanpa perlu perangkat tambahan seperti modul *Wi-Fi* atau *Bluetooth* eksternal.

ESP32 adalah salah satu jenis mikrokontroler yang sangat populer dan banyak digunakan dalam pengembangan perangkat IoT (*Internet of Things*). ESP32 memiliki kemampuan yang lebih canggih dibandingkan mikrokontroler pada umumnya, dengan mengintegrasikan dua inti prosesor, *Wi-Fi*, dan *Bluetooth* dalam satu chip. Keunggulan ini menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk aplikasi yang membutuhkan konektivitas nirkabel. ESP32 dilengkapi dengan berbagai fitur seperti kemampuan untuk menangani banyak sensor, mengontrol motor, serta berkomunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan

Wi-Fi atau *Bluetooth*, yang sangat cocok untuk sistem yang terhubung ke internet.

ESP32-WROOM dengan 30 pin adalah modul sistem-on-chip (SoC) dengan prosesor dual-core yang berfungsi pada arsitektur 32-bit. Modul ini dilengkapi dengan dua inti prosesor Xtensa LX6 yang berjalan pada kecepatan hingga 240 MHz. Dengan spesifikasi ini, ESP32-WROOM mampu menangani berbagai aplikasi yang memerlukan performa tinggi, seperti pengolahan data secara *Real-time*, komunikasi nirkabel, dan pengontrolan perangkat lainnya. Modul ini juga memiliki berbagai macam peripheral, seperti GPIO (General Purpose Input/Output), ADC (Analog to Digital Converter), DAC (Digital to Analog Converter), serta kemampuan untuk menghubungkan berbagai perangkat eksternal seperti sensor, motor, dan layar. [11]

Devkit ESP32-WROOM-32 dengan 30 pin adalah sebuah papan pengembangan berbasis modul ESP32 buatan Espressif Systems yang dirancang untuk memudahkan proses prototipe sistem berbasis Internet of Things (IoT). Modul ini dilengkapi dengan prosesor dual-core Tensilica LX6 yang berjalan hingga kecepatan 240 MHz, memori flash sebesar 4 MB, serta RAM internal sebesar 520 kB. Board ini memiliki 30 pin GPIO (General Purpose Input Output) yang telah dipetakan ke sisi papan, sehingga memudahkan pengguna untuk menghubungkan berbagai sensor, aktuator, dan perangkat eksternal lainnya.

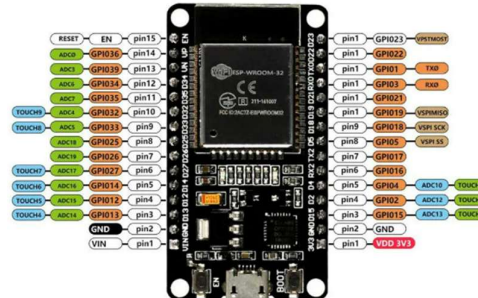
Dibandingkan dengan mikrokontroler lain seperti Arduino Uno atau ESP8266, Devkit ESP32-WROOM-32 memiliki banyak keunggulan baik dari segi performa, fitur, maupun fleksibilitas. Arduino Uno, misalnya, hanya memiliki satu core 16 MHz tanpa dukungan Wi-Fi atau Bluetooth, serta jumlah pin input/output yang lebih sedikit. ESP8266 memang memiliki fitur Wi-Fi, namun hanya single-core dan jumlah pin GPIO-nya sangat terbatas, sehingga kurang cocok untuk proyek yang membutuhkan banyak sensor atau kendali multi-output. Sementara itu, ESP32 mampu menangani berbagai tugas paralel berkat dual-core-nya, memiliki lebih banyak pin ADC (Analog to Digital Converter), serta mendukung antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I2C, dan PWM secara bersamaan.

Salah satu keunggulan utama ESP32 30 pin adalah kemudahannya dalam pemrograman dan integrasi dengan platform cloud seperti Blynk, Telegram, dan Google Spreadsheet. Hal ini memudahkan pengembangan alat yang membutuhkan pemantauan jarak jauh dan pengiriman data ke server secara berkala. Selain itu, board ini juga kompatibel dengan Arduino IDE, sehingga sangat ramah bagi pemula maupun pengguna lanjutan. Konsumsi dayanya yang rendah dan fitur deep sleep mode juga memungkinkan ESP32 digunakan pada sistem berbasis tenaga surya seperti sistem *monitoring* kelembaban tanah dan irigasi otomatis yang hemat energi.

Dengan segala kelebihanannya, Devkit ESP32-WROOM-32 30 pin menjadi pilihan yang sangat tepat untuk sistem berbasis sensor multi-input dan kontrol otomatis. Board ini tidak hanya menawarkan fleksibilitas tinggi, tetapi juga efisiensi kinerja dan kemudahan integrasi, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Oleh karena itu, dibandingkan mikrokontroler lain di kelasnya, ESP32 30 pin lebih unggul untuk berbagai aplikasi berbasis IoT dan kontrol sistem cerdas.

ESP32 merupakan penerus dari ESP8266 yang memberikan beberapa perbaikan. Tidak hanya memiliki dukungan konektivitas WiFi, namun juga *Bluetooth* Low Energy yang membuat ESP32 menjadi lebih serbaguna. CPU yang dimiliki ESP32 hampir mirip dengan yang dimiliki ESP8266 yaitu Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit, namun kelebihanannya pada ESP32 memiliki inti ganda. Tidak hanya itu, ESP32 memiliki ROM 128KB dan SRAM 416K, juga Flash Memory untuk Menyimpan program dan data) sebesar 64MB. [12] Tampilan ESP 32 dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang merupakan detail dari pin-pin ESP32 yang sudah ditetapkan secara default dan spesifikasi ESP 32 dapat dilihat pada Tabel 2-4.

ESP32 ESP32S 30P



Gambar 2. 2 ESP 32

Tabel 2- 4 Spesifikasi ESP32 dengan 30 Pin

Kategori	Spesifikasi
CPU	Tensilicia Xtensa LX6 32bit Dual-Core di 160/240 MHz
Memori	520 KB SRAM, hingga 16 MB Flash
Konektivitas	<i>Wi-Fi</i> : IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz)
	<i>Bluetooth</i> 4.2 (Classic & BLE)
GPIO	34 Pin
ADC	12-bit ADC, hingga 18 saluran
DAC	8-bit DAC (2 saluran)
Arus	Rata-rata 8mA
PWM	Hingga 16 saluran PWM
I2C, SPI, UART	Yes
Tegangan input	5V
Tegangan Kerja	3.3V (operasi stabil antara 2.2V hingga 3.6V)
Konsumsi Daya	Active Mode: ~160 mA, Modem Sleep: ~30 mA, Light Sleep: ~0.8 mA, Deep Sleep: <10 μ A
Ukuran Modul	18 x 25.5 mm

Kategori	Spesifikasi
Jumlah Pin	30 pin
WiFi Range	Hingga 200 meter (tergantung lingkungan)
<i>Bluetooth</i> Range	Hingga 100 meter untuk BLE (tergantung daya transmisi)
Lingkungan Kerja	Suhu: -40°C hingga +125°C, Kelembaban: 5% hingga 95% (non-kondensasi)
Sistem Operasi	Mendukung FreeRTOS, Arduino IDE, Espressif IDF, <i>PlatformIO</i>
<i>Platform</i> Pengembangan	Arduino IDE, Espressif IoT Development Framework (IDF), <i>PlatformIO</i>

ESP32 memiliki 34 GPIO pin yang dapat dikonfigurasi untuk berbagai fitur seperti [13].

1. Digital Input/Output: Untuk membaca dan mengontrol sinyal digital
2. PWM (Pulse Width Modulation): Untuk mengontrol perangkat seperti motor dan lampu LED dengan sinyal gelombang lebar pulsa.
3. ADC (Analog to Digital Converter): Membaca sinyal analog dari sensor, seperti sensor kelembaban, atau cahaya.
4. DAC (Digital to Analog Converter): Menghasilkan sinyal analog dari data digital.
5. I2C, SPI, dan UART: Untuk komunikasi serial dengan perangkat eksternal seperti sensor, display, atau modul komunikasi.

2.2.4 Sensor HC-SR04

Sensor HC-SR04 adalah tipe sensor ultrasonik yang dirancang untuk menentukan jarak antara sensor dan sebuah objek berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara. Sensor ini banyak dipakai dalam berbagai proyek elektronik dan otomasi karena biayanya yang rendah, akurasi yang cukup baik, dan kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, dan

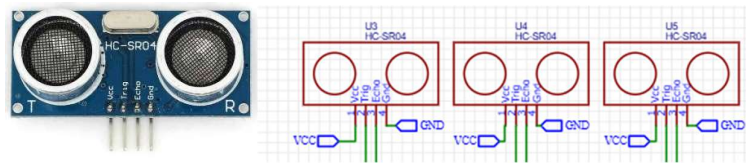
NodeMCU. Dalam sistem pengukuran kelembaban tanah, HC-SR04 biasanya digunakan untuk mengawasi tingkatan air pada tangki penyimpanan, yang berhubungan langsung dengan ketersediaan air untuk menyiram tanaman. Cara kerja sensor HC-SR04 mengandalkan gelombang ultrasonik yang dipancarkan dari modul pemancar menuju objek. Gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh permukaan objek dan diterima oleh modul penerima.

Sensor HC-SR04 memiliki empat pin utama, termasuk VCC, GND, Trigger (Trig), dan Echo. Pin VCC terhubung ke sumber daya 5V, pin GND ke ground, Trig berfungsi untuk memicu pengeluaran gelombang ultrasonik, sedangkan Echo menerima gelombang yang dipantulkan. Ketika pin Trigger diberikan pulsa selama 10 mikrodetik, sensor bakal mengeluarkan delapan sinyal ultrasonik. Saat gelombang pantulan kembali ke Echo, pin Echo akan mengeluarkan pulsa dengan durasi yang sesuai dengan waktu perjalanan gelombang tersebut. Durasi pulsa inilah yang dihitung oleh mikrokontroler untuk menentukan jarak. Secara fisik, HC-SR04 terdiri dari dua modul transduser ultrasonik (pemancar dan penerima), sebuah sirkuit pemrosesan sinyal, serta sistem pengatur waktu. Pemancar dan penerima berada berdampingan di bagian depan sensor, menyerupai dua mata. Sirkuit internal memiliki fungsi untuk mengubah sinyal input digital dari pin Trigger menjadi gelombang ultrasonik, serta mengubah sinyal pantulan yang diterima menjadi pulsa digital yang mudah dibaca oleh mikrokontroler. Modul ini memiliki rentang pengukuran yang efektif antara 2 cm hingga 400 cm, dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,3$ cm dalam kondisi optimal.

Dalam konteks sistem kelembaban tanah otomatis, sensor ini tidak mengukur kelembaban tanah secara langsung, melainkan berfungsi sebagai komponen yang mendukung untuk memastikan pasokan air dalam sistem irigasi tersedia. Contohnya, jika sistem mendeteksi kelembaban tanah sedang rendah dan membutuhkan penyiraman, tetapi HC-SR04 menunjukkan bahwa kadar air dalam tangki terlalu rendah, maka sistem akan menunda penyiraman atau memberikan peringatan. Dengan cara ini, HC-SR04 menjadi elemen penting

dalam proses pengambilan keputusan sistem otomasi pertanian yang berbasis IoT atau mikrokontroler.

Kelebihan dari HC-SR04 adalah mudah digunakan dan memiliki respon yang cepat, tetapi juga memiliki kekurangan seperti kepekaan terhadap bentuk, tekstur, dan sudut permukaan objek. Gelombang ultrasonik dapat menyebar atau tidak terpantul dengan baik ketika mengenai permukaan yang terlalu miring atau menyerap suara, seperti pada air yang berombak atau permukaan yang tidak rata. Untuk itu, saat mengukur ketinggian air, posisi sensor harus tegak lurus dan diletakkan di atas permukaan yang tenang agar pembacaan menjadi akurat. Kalibrasi posisi dan pengujian rutin diperlukan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dalam jangka panjang. Pada Gambar 2.3 bisa dilihat sensor HC-SR 04T dan spesifikasi dari Sensor HC-SR 04T terdapat pada Tabel 2-5. Untuk Pin Out yang ada pada Sensor HC-SR 04T ada pada Tabel 2-6.



Gambar 2. 3 Bentuk fisik dan Simbol Sensor HC-SR 04T

Tabel 2- 5 Spesifikasi HC-SR04 [14]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Operasi	5V DC
Arus Operasi	15 mA
Frekuensi ultrasonik	40 Hz
Jarak Pengukuran Minimum	2 cm
Jarak Pengukuran Maksimum	400 cm (4 meter)
Akurasi Pengukuran	$\pm 0,3$ cm
Sudut Deteksi	$\pm 15^\circ$
Waktu Respons	< 50 ms
Dimensi Sensor	45 mm x 20 mm x 15 mm

Spesifikasi	Keterangan
Jumlah Pin	4 (VCC, GND, Trigger, Echo)
Tipe Output	Pulse Width (PWM) dari pin Echo
Waktu Trigger	Pulsa $\geq 10 \mu s$

Tabel 2- 6 Pin Out HC-SR04

Nama Pin	Fungsi
VCC	Pin daya untuk sensor, dihubungkan ke sumber tegangan +5V DC.
GND	Ground (negatif) dari sistem, dihubungkan ke ground mikrokontroler.
Trig	Input digital dari mikrokontroler. Digunakan untuk mengirimkan sinyal trigger (pulsa minimal $10 \mu s$) agar sensor mulai bekerja.
Echo	Output digital ke mikrokontroler. Mengeluarkan pulsa dengan durasi tertentu yang mewakili waktu tempuh gelombang ultrasonik. Mikrokontroler menghitung durasi ini untuk menentukan jarak.

2.2.5 Sensor Hujan

Sensor hujan adalah alat elektronik yang dibuat untuk mendeteksi tetesan air dari hujan membantu sistem mengenali kondisi cuaca secara otomatis. Modul yang sering digunakan adalah "sensor tetesan hujan" atau "modul tetesan hujan", yang terdiri dari papan sirkuit dengan garis nikel untuk mendeteksi air. Ketika tidak ada tetesan hujan, resistansi pada papan cukup tinggi dan output analognya hampir mencapai 5 V; sebaliknya, apabila hujan terjadi, air akan menciptakan

jalur konduktor di antara garis-garis tersebut, meningkatkan kelembaban dan menurunkan resistansi, sehingga menghasilkan tegangan yang lebih rendah pada output analog dan sinyal digital.

Papan sensor hujan umumnya dilapisi nikel dalam bentuk pola grid, dan juga memiliki komparator yang dapat menghasilkan output digital jika nilai ambang tetesan terlampaui. Output analog (pin A0) memberikan tegangan dalam rentang 0–5 V, tergantung pada volume tetesan, sedangkan output digital (pin D0) memberikan sinyal HIGH atau LOW sebagai indikasi sederhana apakah hujan sedang turun atau tidak. [15] Dalam sistem otomatis untuk kelembaban tanah, sensor hujan memiliki peran penting dalam mengatur logika penyiraman.

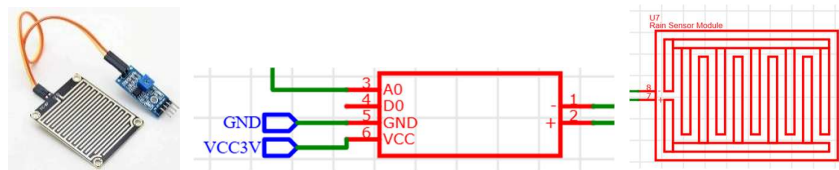
Teknologi sensor hujan ini menawarkan keuntungan seperti kemudahan penggunaan, biaya yang terjangkau, desain modular, serta respons yang cepat. Namun, ada juga kekurangan: permukaan sensor dapat dengan cepat kotor oleh debu atau kotoran; kinerjanya mungkin kurang stabil dalam mengukur intensitas hujan secara kuantitatif lebih tepat digunakan sebagai indikator untuk keberadaan hujan. Untuk spesifikasi dari sensor hujan, dapat dilihat pada Tabel 2-7.

Tabel 2- 7 Spesifikasi Sensor Hujan [16]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Operasi	3.3-5V DC
Arus Konsumsi	~10 mA; Digital DO hingga 100 mA beban
Output	AO (analog), DO (digital TTL)
Komparator	LM393 (driving >15 mA)
Pin Header	VCC, GND, DO, AO (4-pin, pitch 2.54 mm)

Di bawah disajikan Tabel 2-8 yang berisi pin out dari sensor hujan yang berisi nama pin, fungsi utama, serta keterangan tambahan yang dapat membantu

dalam memahami peran masing-masing pin saat dihubungkan ke mikrokontroler. Tabel ini bertujuan untuk memudahkan proses integrasi sensor hujan ke dalam sistem elektronik, khususnya pada proyek *monitoring* atau otomatisasi berbasis mikrokontroler seperti Arduino maupun ESP32. Dan Gambar 2.4 dapat terlihat tampilan dari sensor hujan.



Gambar 2. 4 Bentuk Fisik dan Simbol Sensor Hujan

Tabel 2- 8 Pin Out Sensor Hujan

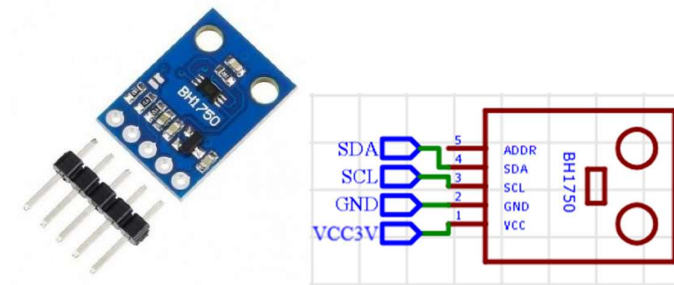
Nama Pin	Keterangan
VCC	Tegangan masukan untuk mengaktifkan sensor. Dioperasikan dengan tegangan 3,3 V hingga 5 V DC
GND	Disambungkan ke GND pada mikrokontroler
DO (Digital Out)	Output digital berbentuk sinyal HIGH/LOW
AO (Analog Out)	Digunakan untuk membaca tingkat kelembaban lebih presisi melalui pin ADC

2.2.6 Sensor BH 1750

Sensor BH1750 mengukur perubahan intensitas cahaya dalam satuan lux dan menggunakan protokol I2C untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler atau sistem minimum. Sensor intensitas cahaya BH1750 dapat mendeteksi intensitas modul dengan 16 bit AD converter (ADC) langsung dan memiliki

jangkauan deteksi antara 1 – 65535 lux. Sensor intensitas cahaya BH1750 memiliki kemampuan untuk mendeteksi intensitas modul sensor dan dilengkapi dengan konverter AD 16 bit (ADC). Ini memiliki kemampuan untuk mengeluarkan sinyal digital secara langsung tanpa membutuhkan pengaturan yang kompleks.

Dengan sinyal keluarannya yang berbentuk digital, sensor cahaya digital BH1750 memiliki kemampuan untuk melakukan pengukuran dengan keluaran lux (lx) tanpa perlu melakukan perhitungan terlebih dahulu. Selain itu, karena sinyalnya langsung dikeluarkan dalam satuan lux (Lx), penggunaan sensor ini menjadi lebih mudah karena tidak perlu melakukan perhitungan atau pengolahan tambahan (Suryana, 2021). [17] Gambar Sensor BH 1750 dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Fungsi pin modul sensor BH 1750 bisa dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 5 Bentuk Fisik dan Simbol Sensor BH 1750

Tabel 2- 9 Pin Out Sensor BH 1750

Nama Pin	Fungsi	Deskripsi
VCC	Tegangan Input	Pin ini digunakan untuk memberikan catu daya ke sensor. Tegangan kerja: 3.3V – 5V.
GND	Ground	Jalur ground (negatif) dari sistem, harus dihubungkan ke GND mikrokontroler.

Nama Pin	Fungsi	Deskripsi
SCL	Serial Clock Line	Jalur clock untuk komunikasi I ² C. Di ESP32 biasanya dihubungkan ke GPIO 22 (default).
SDA	Serial Data Line	Jalur data untuk komunikasi I ² C. Di ESP32 biasanya dihubungkan ke GPIO 21 (default).
ADDR	Alamat I ² C Opsional	Digunakan untuk mengubah alamat I ² C sensor. Jika tidak digunakan, biarkan tidak terhubung atau di-GND-kan.

Tabel 2- 10 Spesifikasi sensor BH 1750 [18]

Spesifikasi	Detail
Tegangan Operasi	2.4V – 3.6V
Arus Operasi	0.12 mA (mode pengukuran kontinu), 0.8 μ A (mode power down)
Rentang Pengukuran	1 - 65535 lux
Tipe Komunikasi	I ² C (Inter-Integrated Circuit)
Resolusi Pengukuran	16-bit
Suhu Operasional	-40°C hingga 85°C
Suhu Penyimpanan	-40°C hingga +100°C
Pin Utama	VCC, GND, SCL, SDA, ADDR

Setelah melihat penjelasan tentang Sensor BH1750, kita dapat melihat pin out dari Sensor BH 1750 pada Tabel 2-9 dan spesifikasi lengkap terkait sensor tersebut pada Tabel 2-10. Tabel diatas menunjukkan spesifikasi teknis dari sensor cahaya berbasis komunikasi I²C. Sensor ini beroperasi pada tegangan

antara 2.4V hingga 3.6V dengan konsumsi arus sangat rendah, yaitu 0.12 mA dalam mode pengukuran kontinu dan hanya 0.8 μ A saat dalam mode hemat daya (power down). Rentang pengukurannya sangat luas, dari 1 hingga 65535 lux, sehingga mampu mendeteksi intensitas cahaya dari kondisi gelap hingga sangat terang. Sensor ini menggunakan komunikasi digital I²C, dengan resolusi pengukuran sebesar 16-bit untuk akurasi yang tinggi. Dapat beroperasi dalam suhu ekstrem antara -40°C hingga 85°C, menjadikannya ideal untuk aplikasi luar ruangan. Pin utama yang digunakan meliputi VCC, GND, SCL, SDA, dan ADDR untuk konfigurasi alamat perangkat pada bus I²C.

2.2.7 Buck Converter

Buck converter adalah jenis konverter daya DC-DC yang digunakan untuk menurunkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. Prinsip kerja buck converter didasarkan pada teknik switching, di mana transistor saklar (biasanya MOSFET) secara cepat membuka dan menutup untuk mengatur arus melalui induktor dan kapasitor. Proses ini menghasilkan tegangan output yang stabil meskipun inputnya lebih tinggi, serta menghasilkan lebih sedikit panas dibandingkan regulator linier.

Dalam praktiknya, buck converter sangat penting dalam sistem elektronik yang menggunakan sumber daya seperti baterai atau adaptor, tetapi membutuhkan tegangan yang lebih rendah untuk komponen tertentu, seperti mikrokontroler, sensor, atau modul komunikasi. Misalnya, jika kita memiliki catu daya 12V, dan ingin menyalakan modul ESP32 yang hanya memerlukan 3.3V atau 5V, maka buck converter akan digunakan untuk menurunkan tegangan tersebut. Salah satu IC populer yang digunakan sebagai buck converter adalah LM2596.

LM2596 adalah sebuah IC monolitik yang dirancang untuk aplikasi regulator switching step-down (buck converter). Modul ini mampu menurunkan tegangan DC dari sumber yang lebih tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi. LM2596 dapat mengeluarkan arus hingga 3A dengan

rentang tegangan output yang dapat disesuaikan antara 1,5V hingga 35V, menjadikannya pilihan populer dalam berbagai aplikasi elektronik yang memerlukan catu daya stabil dan efisien. [19]

LM2596 beroperasi pada frekuensi switching sekitar 150 kHz, menggunakan teknik PWM (Pulse Width Modulation) untuk mengatur durasi saklar dalam keadaan aktif. Hal ini memungkinkan penggunaan komponen filter yang lebih kecil dibandingkan dengan regulator switching frekuensi rendah. Dengan efisiensi konversi mencapai hingga 92%, LM2596 mengurangi pemborosan energi dan menghasilkan lebih sedikit panas, yang penting untuk aplikasi dengan batasan ruang dan pendinginan .

Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengatur tegangan output dari 1,5V hingga 23V dan dilengkapi dengan proteksi terhadap arus beban lebih. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata selisih pembacaan tegangan catu daya dengan hasil pengukuran multimeter adalah 0,3V, menunjukkan akurasi yang baik dalam pengaturan tegangan .

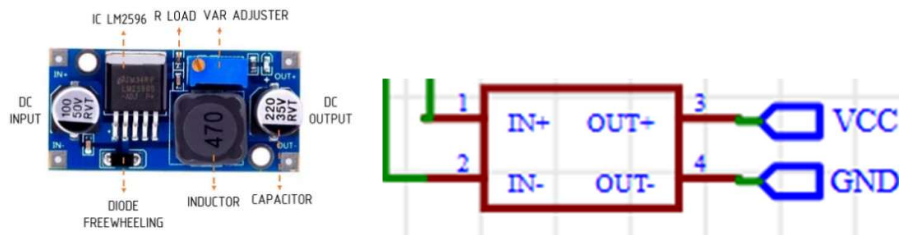
LM2596 menawarkan berbagai keunggulan, seperti efisiensi tinggi, ukuran kompak, dan kemudahan dalam pengaturan tegangan output. Namun, terdapat beberapa keterbatasan, seperti kebutuhan akan heatsink tambahan saat beroperasi pada arus tinggi dan sensitivitas terhadap variasi tegangan input yang dapat mempengaruhi kestabilan tegangan output. Oleh karena itu, pemilihan LM2596 harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi dan kondisi operasional.

LM2596 merupakan solusi yang efisien dan ekonomis untuk aplikasi yang memerlukan konversi tegangan DC-DC. Dengan kemampuannya untuk menurunkan tegangan dengan efisiensi tinggi dan fleksibilitas dalam pengaturan tegangan output, LM2596 banyak digunakan dalam berbagai sistem elektronik modern, termasuk sistem tenaga surya, robotika, dan perangkat berbasis mikrokontroler. Pemahaman mendalam tentang karakteristik dan aplikasi LM2596 penting dalam merancang sistem catu daya yang optimal dan handal

Tabel 2-11.

Tabel 2- 11 Spesifikasi Buck Converter [20]

Parameter	Spesifikasi
Tipe Regulator	Step Down (Buck Converter)
Tegangan Input	4.5 V hingga 40V
Tegangan Output	1.23V hingga 37V
Arus Output Maksimum	3A
Frekuensi Switching	150 kHz ($\pm 15\%$)
Efisiensi Konversi	75%-85%
Toleransi tegangan Output	$\pm 4\%$
Ripple Output	$< 30\text{ mV}$
Jenis Output	Adjustable (LM 2596-ADJ) / Fixed (3.3V, 5V, 12 V)
Proteksi Internal	Proteksi suhu berlebihan dan arus lebih



Gambar 2.6 Bentuk Fisik dan Simbol Buck Converter IC LM2596

Modul Buck Converter pada Gambar 2.6 berbasis IC LM2596, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari input ke output dengan efisien. Berikut penjelasan masing-masing komponen yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7 adalah sebagai berikut:

1. DC Input (IN + dan IN -) : Tempat masuknya tegangan DC dari sumber (misalnya baterai, adaptor, atau panel surya)

2. DC Output (OUT + dan OUT -) : Output tegangan DC yang telah diturunkan (regulasi) oleh buck converter. Jika input 12V, bisa diturunkan ke 5V, 3.3V, dll (tergantung setelan potensiometer).
3. IC LM2596 : Komponen utama pengatur tegangan. Ini adalah IC switching regulator yang mengatur siklus kerja (duty cycle) untuk menurunkan tegangan.
4. Diode Freewheeling : Diode ini menjaga agar arus tetap mengalir saat transistor dalam IC mati (off). Menghindari tegangan balik merusak komponen.
5. Inductor (Kumparan) : Menyimpan energi dalam bentuk medan magnet saat transistor aktif, lalu melepaskannya ke output saat transistor mati. Membantu meratakan tegangan dan mencegah lonjakan.
6. Kapasitor : Menyaring dan menstabilkan tegangan input dan output. memiliki peran mengurangi ripple (getaran kecil dalam tegangan), meningkatkan kualitas daya.
7. R Load Var Adjuster (Potensiometer) : Untuk menyetel tegangan output sesuai kebutuhan. cara kerjanya dengan memutar potensiometer akan mengubah resistansi feedback dan memengaruhi tegangan output.

Tabel 2- 12 Pin Out LM 2596

Nama Pin	Keterangan
VIN	Tegangan input masuk ke regulator; rentang 4.5 – 40 V DC
Output	Output tegangan step-down sesuai pengaturan (maks 3A)
GND	Ground
Feedback (FB)	Digunakan untuk mengatur tegangan output (pada versi adjustable) melalui resistor eksternal

Nama Pin	Keterangan
ON/OFF	Input TTL logika: LOW untuk aktif, HIGH untuk shutdown (bisa dihubungkan ke GND untuk menyala terus)

Tabel 2-12 menunjukkan penjelasan pin out dari modul LM2596, yang merupakan regulator step-down (buck converter) untuk menurunkan tegangan DC. Pin VIN berfungsi sebagai input tegangan ke regulator dengan rentang 4.5V hingga 40V DC. Pin Output akan menghasilkan tegangan output yang telah diturunkan sesuai dengan pengaturan, dengan arus maksimal sebesar 3A. Pin GND adalah terminal ground yang menjadi referensi tegangan negatif. Pin Feedback (FB) digunakan untuk mengatur tegangan output, terutama pada versi adjustable, melalui pembagi tegangan dengan resistor eksternal. Terakhir, pin ON/OFF adalah input logika TTL yang berfungsi untuk mengaktifkan atau mematikan regulator; kondisi LOW akan mengaktifkan modul, sedangkan kondisi HIGH akan membuat regulator masuk mode shutdown. Pin ini juga bisa dihubungkan langsung ke GND agar modul selalu dalam kondisi aktif.

2.2.8 Keypad 1x4

Keypad 1×4 adalah modul input yang sangat dasar, terdiri dari empat tombol membran yang diletakkan secara sejajar. Modul ini biasanya digunakan untuk memasukkan informasi seperti kode, menavigasi menu, atau mengendalikan fungsi tertentu. Banyak aplikasi mikrokontroler yang memanfaatkan modul ini karena ukurannya yang kecil, kemudahan integrasi, dan harganya yang relatif terjangkau.

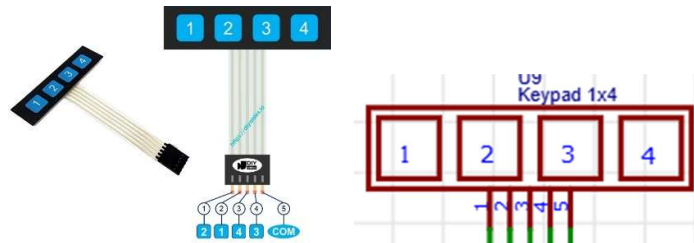
Cara kerja modul ini cukup mudah dipahami: setiap tombol memiliki jalur elektronik tersendiri, sehingga ketika tombol ditekan, rangkaian menjadi tertutup dan sinyal dikirim langsung ke pin input di mikrokontroler. Dengan kata lain,

tidak ada susunan matriks seperti pada keypad 3×4 atau 4×4 , melainkan setiap tombol terhubung ke jalur unik, ditambah satu jalur bersama (common).

Konstruksi fisik tombol terhubung ke lima pin pada modul tersebut: empat pin untuk setiap tombol dan satu pin common. Sebagai contoh, pin 5 umumnya dihubungkan sebagai common, sementara pin 1 hingga 4 terhubung ke tombol masing-masing (1 sampai 4). Komponen di dalamnya hanya terdiri dari switch membran dan kabel fleksibel, tanpa adanya rangkaian elektronik yang rumit.

Dalam aplikasinya dengan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, pin common biasanya dihubungkan ke ground, sedangkan pin untuk tombol dihubungkan ke input digital dengan pengaturan pull-up internal. Ketika tombol ditekan, pin akan mendeteksi sinyal LOW, sehingga mempermudah identifikasi penekanan tombol. Untuk pengoperasian yang optimal, teknik debouncing dibutuhkan, karena tombol membran dapat menimbulkan noise ketika ditekan, yang dapat menyebabkan pembacaan ganda. Berbagai pustaka seperti `ezButton` atau metode perangkat lunak lainnya digunakan untuk memperbaiki stabilitas sinyal input tombol. Implementasi yang tepat penting untuk memastikan proses input pada sistem pengendalian kelembaban tanah berfungsi dengan baik dan responsif.

Peran keypad 1×4 dalam sistem kelembaban tanah bisa bervariasi, seperti memasukkan nilai angka ambang kelembaban (setpoint), memilih mode penyiraman baik otomatis maupun manual, atau menghidupkan dan mematikan sistem kendali manual. Dengan menyediakan antarmuka langsung untuk pengguna tanpa layar rumit, keypad ini sangat efisien untuk mengelola sistem sederhana dengan biaya yang rendah. Pada Gambar 2.7 terlihat tampilan Keypad 1×4 . Adapun spesifikasi dan pin out dari keypad tersebut dapat dilihat pada Tabel 2-13 dan 2-14.



Gambar 2.7 Bentuk Fisik dan Simbol Keypad 1x4

Tabel 2- 13 Spesifikasi Keypad 1x4

Spesifikasi	Keterangan
Jumlah Baris x Kolom	1 Baris x 4 Kolom
Jenis Saklar	Push button tactile switch
Tegangan Kerja	3,3 V – 5V
Arus Maksimum	< 20 mA per tombol
Dimensi Fisik	±6 cm × 2 cm

Tabel 2- 14 Pin Out Keypad 1x4

Nama Pin	Keterangan
Kolom 1	Digunakan untuk deteksi tombol pertama
Kolom 2	Digunakan untuk deteksi tombol kedua
Kolom 3	Digunakan untuk deteksi tombol ketiga
Kolom 4	Digunakan untuk deteksi tombol keempat

2.2.9 Solar Panel 30Wp

Solar panel 30Wp (Watt-peak) adalah modul fotovoltaik yang memiliki kapasitas daya maksimal sebesar 30 Watt dalam kondisi pencahayaan optimal. Panel ini bekerja dengan mengubah energi matahari menjadi listrik searah (DC)

yang kemudian dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti sistem pencahayaan, irigasi otomatis, dan perangkat IoT yang beroperasi di area terpencil. Dengan ukurannya yang relatif kecil, panel surya 30Wp cocok untuk penggunaan skala kecil seperti pengisian baterai, sistem *monitoring* lingkungan, dan suplai daya untuk perangkat sensor. Dalam sistem kelembaban tanah otomatis berbasis ESP32, panel surya 30Wp digunakan sebagai sumber energi utama yang mengisi daya baterai melalui solar charge controller (SCC). SCC berperan dalam mengatur tegangan dan arus dari panel surya agar sesuai dengan karakteristik baterai, mencegah overcharging, serta mengoptimalkan efisiensi pengisian daya. Dengan penggunaan SCC yang kompatibel, seperti PWM 10A atau MPPT 10A, sistem dapat bekerja secara lebih efisien dan memperpanjang umur baterai yang digunakan [21]. Tampilan Panel Surya dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan spesifikasi Panel Surya dapat dilihat pada Tabel 2-15.



Gambar 2.8 Bentuk Fisik dan Simbol Solar Panel 30 Wp

Tabel 2- 15 Spesifikasi Solar Panel 30Wp

Spesifikasi	Detail
Daya Maksimum (P_{max})	30 Wp
Tegangan Maksimum (V_{mp})	18 V
Arus Maksimum (I_{mp})	1.67A
Tegangan Sirkuit Terbuka (V_{oc})	22V

Spesifikasi	Detail
Arus Hubung Singkat (Isc)	1.80A
Efisiensi Panel	15-18%
Tipe Sel Surya	Monocrystalline / Polycrystalline
Dimensi	$\pm 650 \times 350 \times 25$ mm
Berat	± 3 kg

2.2.10 Aki 12 V

Aki 12V 9Ah tipe deep cycle merupakan komponen penting dalam sistem penyimpanan energi pada instalasi panel surya, khususnya untuk aplikasi skala kecil hingga menengah seperti rumah tangga atau sistem off-grid. Baterai ini dirancang untuk memberikan daya yang stabil dan tahan lama, mampu menjalani siklus pengisian dan pengosongan secara berulang tanpa mengalami degradasi signifikan dalam jangka waktu pendek.

Dalam konteks penyimpanan energi dari panel surya, baterai deep cycle memiliki keunggulan dibandingkan dengan baterai konvensional karena dirancang untuk pengosongan yang lebih dalam (deep discharge) tanpa merusak struktur internalnya. Hal ini memungkinkan pemanfaatan kapasitas energi yang lebih besar sebelum perlu dilakukan pengisian ulang, meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

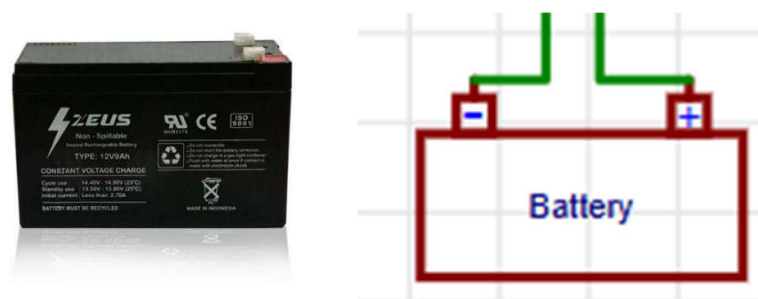
Baterai deep cycle tipe timbal-asam (lead-acid) sering digunakan dalam sistem panel surya karena biaya awal yang relatif rendah dan ketersediaannya yang luas. Namun, baterai ini rentan terhadap degradasi akibat korosi dan sulfatasi jika tidak dikelola dengan baik. [22] Efisiensi sistem penyimpanan energi juga dipengaruhi oleh strategi manajemen energi yang diterapkan. Pemilihan jenis baterai juga mempengaruhi konfigurasi optimal sistem PV-baterai, baik dari perspektif ekonomi maupun ketahanan terhadap pemadaman jaringan. Dalam aplikasi praktis, baterai deep cycle 12V 9Ah dapat digunakan dalam sistem panel surya untuk menyimpan energi selama siang hari dan menyediakan daya saat malam hari atau ketika sinar matahari tidak mencukupi.

Penggunaan baterai ini memungkinkan kemandirian energi, terutama di daerah terpencil atau dalam kondisi darurat.

Namun, penting untuk memastikan bahwa kapasitas baterai sesuai dengan kebutuhan energi harian. Jika kebutuhan energi melebihi kapasitas baterai, sistem mungkin tidak dapat menyediakan daya yang cukup, atau baterai akan mengalami pengosongan yang terlalu dalam, mempercepat degradasi. Oleh karena itu, perencanaan sistem harus mempertimbangkan profil konsumsi energi dan potensi produksi energi dari panel surya. [23]

Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu juga mempengaruhi kinerja dan umur baterai. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi dan mempercepat degradasi baterai. Oleh karena itu, instalasi baterai sebaiknya dilakukan di lokasi yang terlindung dari kondisi ekstrem dan dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik.

Secara keseluruhan, baterai deep cycle 12V 9Ah merupakan pilihan yang tepat untuk penyimpanan energi dalam sistem panel surya skala kecil, asalkan dikelola dengan baik melalui sistem manajemen baterai yang efektif dan perencanaan sistem yang matang. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti strategi pengisian, pemantauan kondisi baterai, dan lingkungan operasional, sistem dapat mencapai efisiensi tinggi dan umur panjang, memberikan manfaat maksimal bagi pengguna. Gambar 2.9 adalah foto fisik dari Baterai Deep Cycle 9Ah. Adapun spesifikasi dari Baterai dapat dilihat pada Tabel 2-16.



Gambar 2. 9 Bentuk Fisik dan Simbol Baterai Deep Cycle 9Ah

Tabel 2- 16 Spesifikasi Baterai Deep Cycle 9Ah [24]

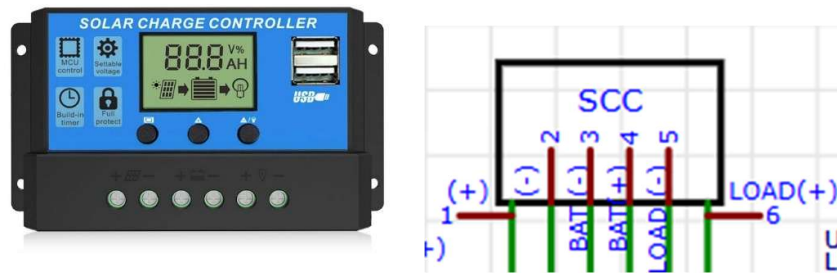
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Nominal	12 Volt (DC)
Kapasitas	9Ah (Ampere-hour)
Jenis Baterai	Deep Cycle VRLA (Valve Regulated Lead Acid)
Tegangan Pengisian Float	13.5 – 13.8 V (pada suhu 25°C)
Tegangan Pengisian Cycle	14.4 – 15.0 V (pada suhu 25°C)
Tegangan Cut Off (min)	±10.5 V (untuk menghindari over-discharge)
Arus Pengisian Maksimum	2.6 A (sekitar 30% dari kapasitas Ah)
Berat	±2.5 – 3 kg
Suhu Operasional	-15°C hingga 50°C (discharge), 0°C hingga 40°C (charge)

2.2.11 SCC

Solar Charge Controller adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik antara panel surya, baterai, dan beban listrik. Perangkat ini berperan penting dalam sistem tenaga surya karena dapat mencegah baterai dari overcharging (pengisian berlebih) dan over-discharging (pengosongan berlebih), yang dapat merusak baterai dan mengurangi masa pakainya. Solar charge controller bekerja dengan mengatur tegangan dan arus yang masuk dari panel surya ke baterai, memastikan bahwa baterai terisi dengan optimal sesuai dengan kapasitasnya. Selain itu, beberapa model juga dilengkapi dengan port USB untuk mengisi daya perangkat kecil seperti ponsel dan tablet.

Solar charge controller umumnya tersedia dalam dua jenis utama, yaitu PWM (Pulse Width Modulation) dan MPPT (Maximum Power Point Tracking). Controller jenis PWM bekerja dengan metode sederhana yang menurunkan tegangan dari panel surya agar sesuai dengan baterai, sedangkan MPPT lebih canggih karena dapat mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya dengan

menyesuaikan titik daya maksimum. MPPT memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan PWM, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah atau saat suhu panel berfluktuasi. Perangkat ini juga dilengkapi dengan fitur perlindungan seperti perlindungan korsleting, perlindungan arus balik, dan kontrol otomatis beban, yang memastikan keamanan dan keandalan sistem tenaga surya dalam jangka panjang. Tampilan Solar Charge Controller dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan spesifikasi Solar Charge Controller dapat dilihat pada Tabel 2-17.



Gambar 2.10 Bentuk Fisik dan Simbol Solar Charge Controller

Tabel 2- 17 Spesifikasi Solar Charge Controller

Spesifikasi	Detail
Tegangan Sistem	12V / 24V (Auto Switch)
Arus Maksimum	10A
Tegangan Input Panel Surya	12V-24V DC
Tegangan Pengisian Baterai	13.7V
Proteksi	Overcharge, over-discharge, korsleting, arus balik
Efisiensi Konversi	95%
Output USB	5V - 2A (untuk pengisian perangkat)
Temperature	-20 °C hingga +55 °C
Dimensi Berat	~142 × 79 × 32 mm; ~180 g

Spesifikasi	Detail
Over Charge Proteksi	15.8 V (12 V system)
Proteksi Elektrikal	Penyearahan koneksi terbalik, hubung singkat, kelebihan suhu, over-charge, over-discharge

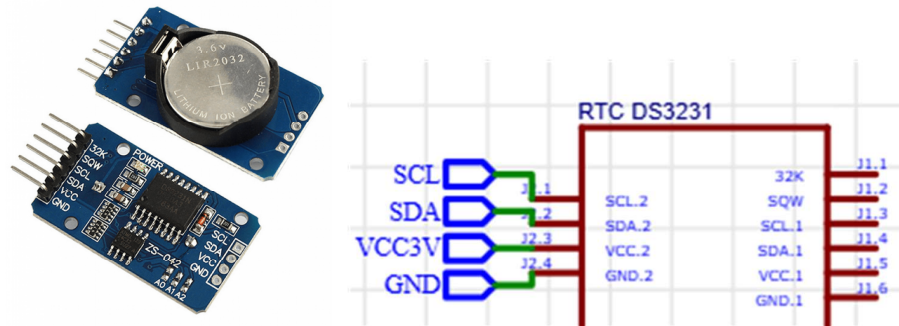
2.2.12 RTC DS3231

RTC (*Real-time Clock*) DS3231 adalah modul jam waktu nyata yang menawarkan presisi tinggi dan sering digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan mikrokontroler. Modul ini dilengkapi dengan osilator kristal internal dan kompensasi suhu, yang memungkinkan ketepatan waktu dengan penyimpangan hanya sekitar ± 2 ppm (parts per million), atau sekitar ± 1 menit per tahun. DS3231 dapat beroperasi pada tegangan antara 3.3V hingga 5V, sehingga kompatibel dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, dan ESP8266. [25]

Modul ini mampu menyimpan informasi waktu dalam format jam, menit, detik, hari, tanggal, bulan, dan tahun, serta mendukung perhitungan tahun kabisat secara otomatis. Selain itu, DS3231 juga dilengkapi dengan memori EEPROM tambahan dan dua alarm yang dapat diprogram untuk berbagai keperluan. Salah satu keunggulan utama dari RTC DS3231 adalah keberadaan baterai cadangan (biasanya tipe CR2032), yang memastikan modul tetap berfungsi meskipun sumber daya utama terputus, sehingga waktu yang tersimpan tidak hilang.

Untuk komunikasi antara DS3231 dan mikrokontroler, modul ini menggunakan protokol I²C (Inter-Integrated Circuit), yang hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yakni SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). Dengan akurasi yang tinggi dan fitur-fitur tambahan seperti deteksi kehilangan daya serta kemampuan pengukuran suhu internal, DS3231 menjadi pilihan yang populer dalam aplikasi yang memerlukan pencatatan waktu yang stabil, seperti sistem log data, otomatisasi rumah, dan sistem alarm. Untuk tampilan RTC

(*Real-time* Clock) DS3231 dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan spesifikasi RTC (*Real-time* Clock) DS3231 dapat dilihat pada Tabel 2-18. Setelah melihat spesifikasi yang terdapat pada RTC, maka dibuatlah tabel 2-19 untuk mengetahui Pin Out dari RTC.



Gambar 2.11 Bentuk Fisik dan Simbol RTC (*Real-time* Clock) DS3231

Tabel 2- 18 RTC (*Real-time* Clock) DS3231

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	2-3V – 5.5V
Arus Operasi	100 μ A (typical) pada 3.3V
Antarmuka Komunikasi	I ² C (Inter-Integrated Circuit)
Frekuensi Osilator	32.768 kHz (terintegrasi dan dikompensasi suhu)
Akurasi Waktu	± 2 ppm (± 1 menit per tahun) pada 0°C hingga 40°C
Kapasitas EEPROM	236 byte memori non-volatile
Pengukuran Suhu	Ya, dengan resolusi 0.25°C dan akurasi $\pm 3^\circ\text{C}$
Rentang Suhu Operasi	-40°C hingga +85°C

Tabel 2- 19 Pin Out RTC

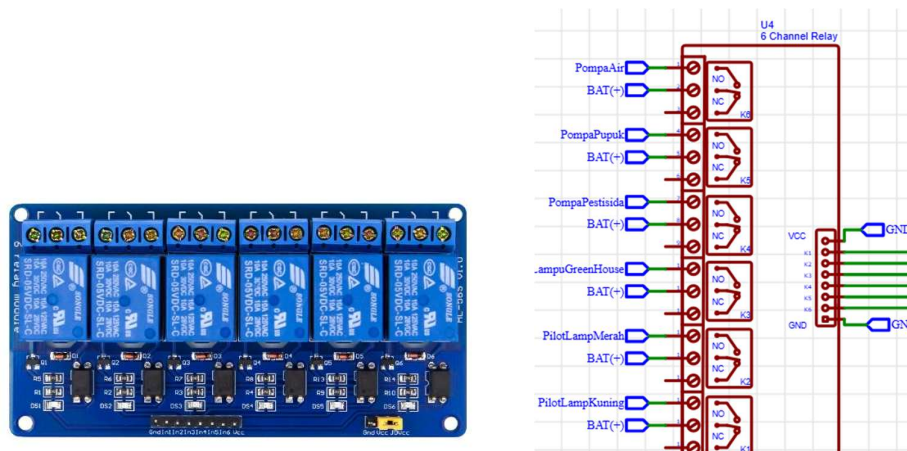
Nama Pin	Fungsi	Deskripsi
VCC	Tegangan Input	Catu daya untuk modul, dapat dihubungkan ke 3.3V atau 5V
GND	Ground	Ground atau jalur negatif yang harus dihubungkan ke GND mikrokontroler.
SCL	Serial Clock Line	Jalur clock untuk komunikasi I ² C
SDA	Serial Data Line	Jalur data untuk komunikasi I ² C

2.2.13 Relay 5V

Relay 5V adalah komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar yang dioperasikan secara elektrik, memungkinkan kontrol perangkat berdaya tinggi menggunakan sinyal berdaya rendah. Relay ini bekerja pada tegangan 5V DC untuk mengaktifkan koil internalnya, yang kemudian menggerakkan kontak saklar untuk menghubungkan atau memutuskan sirkuit listrik. Modul ini terdiri dari delapan relay elektromekanis, masing-masing mampu mengontrol perangkat AC atau DC dengan kapasitas tertentu. Setiap relay memiliki indikator LED untuk menunjukkan status operasi serta isolasi optocoupler untuk melindungi rangkaian kendali dari lonjakan tegangan. Modul ini banyak digunakan dalam sistem otomasi rumah, proyek IoT, dan sistem kendali industri untuk menyalakan atau mematikan perangkat listrik seperti lampu, motor, pompa, dan solenoid valve.

Relay merupakan saklar listrik yang bekerja dengan memanfaatkan medan elektromagnetik untuk memindahkan posisi saklar dari off ke on. Daya yang diperlukan relative kecil, namun relay dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat yang membutuhkan daya yang lebih besar. [26] Module relay dapat berfungsi sebagai saklar untuk mengoperasikan beberapa

perangkat elektronik seperti lampu, motor, serta perangkat elektronik lainnya. Kendali on atau off dari saklar (relay) sepenuhnya tergantung pada output sensor yang akan diproses oleh mikrokontroler. Setelah diproses, mikrokontroler akan memberikan perintah kepada relay untuk melakukan fungsi on atau off [15]. Untuk tampilan Relay 5V dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan spesifikasi Relay 5V dapat dilihat pada Tabel 2-20.



Gambar 2.12 Bentuk Fisik dan Simbol Relay 5V 6 Channel

Tabel 2- 20 Spesifikasi Relay 5V 6 Channel

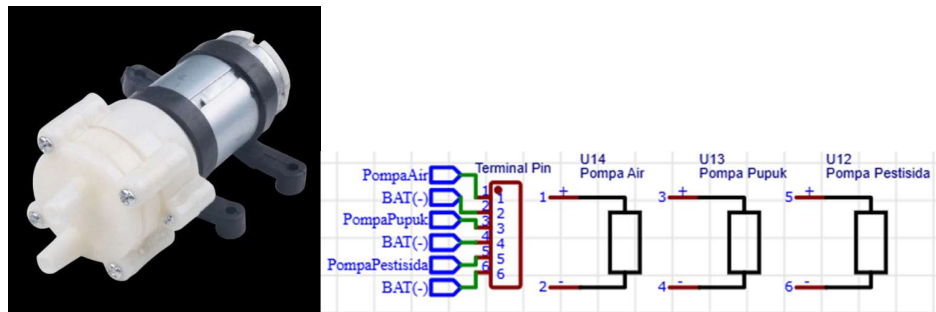
Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	5V DC
Jenis Relay	SONGLE SRD-05VDC-SL-C
Tegangan Kendali	3.3V - 5V DC (Kompatibel dengan ESP32, Arduino, Raspberry Pi)
Tegangan Maksimum Kontak	250V AC / 30V DC
Arus Maksimum Kontak	10A
Waktu Operasi	≤ 10 ms
Isolasi	Optocoupler untuk proteksi terhadap lonjakan tegangan

2.2.14 Pompa DC 12 V

Pompa DC 12V adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk memindahkan cairan dengan menggunakan sumber daya listrik searah bertegangan 12 volt. Pompa ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem irigasi pertanian, penyediaan air bersih di daerah terpencil, dan sistem hidroponik. Keunggulan utama dari pompa DC 12V adalah efisiensinya dalam konsumsi energi dan kemampuannya untuk dioperasikan menggunakan sumber energi terbarukan seperti panel surya, sehingga cocok untuk daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik konvensional.

Pompa DC 12V adalah perangkat yang menggunakan arus searah (Direct Current) dengan tegangan 12 volt untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain. Pompa ini sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan sumber daya portabel atau di lokasi tanpa akses listrik AC, seperti sistem irigasi pertanian, hidroponik, dan penyediaan air di daerah terpencil. Keunggulan utama pompa DC 12V meliputi efisiensi energi, ukuran yang kompak, dan kemudahan integrasi dengan sumber energi terbarukan seperti panel surya. Sebagai contoh, penelitian oleh Syaief dkk. (2023) menunjukkan bahwa pompa air tenaga surya yang menggunakan pompa DC 12V 180 watt mampu mengalirkan air secara efektif untuk irigasi lahan pertanian. Selain itu, penelitian lain oleh Fitriandi Saputra (2015) menganalisis kinerja pompa air DC berdasarkan intensitas tenaga surya, menekankan pentingnya pemilihan pompa yang sesuai untuk memastikan efisiensi sistem [27]. Dengan demikian, pemahaman tentang karakteristik dan kinerja pompa DC 12 V sangat penting dalam perancangan sistem pemompaan yang efisien dan berkelanjutan.

Pompa DC 12V adalah perangkat yang digunakan untuk memindahkan cairan dengan menggunakan energi listrik bertegangan 12V DC. Dalam sistem *monitoring* kelembaban tanah berbasis IoT, pompa ini berfungsi untuk menyuplai air secara otomatis ke tanah ketika sensor mendeteksi tingkat kelembaban berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Untuk tampilan Pompa DC 12 V dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan spesifikasi Pompa DC 12 V dapat dilihat pada Tabel 2-21.



Gambar 2.13 Bentuk Fisik dan Simbol Pompa DC 12 V

Tabel 2- 21 Spesifikasi pompa DC 12 V

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	3V – 12V DC
Arus Operasi	130 – 300 mA
Daya	0.5W – 5W (tergantung tegangan)
Kapasitas Aliran	80 – 200 L/jam (tergantung model)
Ketinggian Maksimal Aliran	0.5 – 1.5 meter
Bahan	Plastik tahan air
Suhu Operasional	0°C – 50°C

2.2.15 Lampu 12 V

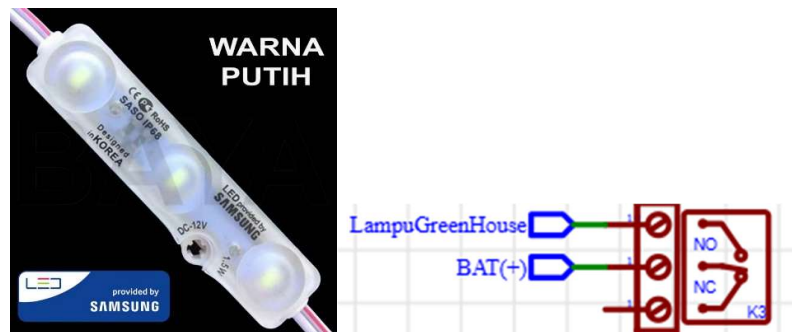
Lampu LED modul yang terlihat pada gambar 2.17 adalah lampu LED putih yang dirancang khusus untuk penggunaan pencahayaan yang hemat energi, ideal untuk signage, reklame, dan penerangan luar ruangan lainnya. Modul ini memiliki tiga LED yang dilindungi oleh casing transparan yang terbuat dari plastik tahan air dan menawarkan perlindungan dengan tingkat IP68, yang berarti lampu ini tahan debu dan dapat bertahan dalam air untuk jangka waktu tertentu. Hal ini membuat modul ini sangat sesuai untuk digunakan di luar ruangan, terutama dalam kondisi cuaca yang ekstrem.

Salah satu fitur unggulan dari modul ini adalah penggunaan LED yang disuplai oleh Samsung, yang sudah dikenal di seluruh dunia karena efisiensi dan

kualitas pencahayaannya yang tinggi. Teknologi LED dari Samsung menyediakan pencahayaan yang stabil serta memiliki umur panjang, dengan efisiensi lumen per watt yang sangat baik. Cahaya putih yang dihasilkan memiliki suhu warna yang netral hingga dingin, sehingga sangat efektif untuk menarik perhatian pada reklame atau papan nama bisnis saat malam hari.

Lampu ini berfungsi pada tegangan DC 12V dan memerlukan daya sekitar 1,5 Watt, menjadikannya pilihan yang sangat efisien dari segi konsumsi energi bila dibandingkan dengan lampu konvensional seperti neon atau pijar. Penggunaan lampu LED strip 12V semakin meningkat untuk berbagai aplikasi pencahayaan, baik untuk tujuan dekoratif maupun fungsional serta instalasi berbasis tenaga surya. Jika dibandingkan dengan lampu AC tradisional, LED strip 12V memiliki beberapa keunggulan penting. Pertama, dari aspek efisiensi energi, lampu LED strip mengkonsumsi daya jauh lebih sedikit namun tetap mampu memproduksi cahaya yang terang. Ini menjadikannya ideal untuk sistem yang bergantung pada baterai atau panel surya, karena mampu menghemat energi secara signifikan. Kedua, dengan sistem tegangan rendah 12V, lampu ini lebih aman untuk dipasang di area terbuka atau tempat-tempat yang sering disentuh, karena mengurangi risiko kejutan listrik yang umumnya lebih tinggi pada sistem AC 220V.

Selain itu, fleksibilitas bentuk lampu LED strip memungkinkan pemasangan pada berbagai permukaan dan bentuk, termasuk di sudut-sudut sempit, tepi plafon, atau di belakang ornamen. Lampu LED strip juga tersedia dalam berbagai warna dan tingkat kecerahan, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, baik untuk penggunaan di dalam maupun di luar ruangan. Umumnya, LED strip menawarkan umur pemakaian yang lebih lama daripada lampu AC dan menghasilkan panas yang jauh lebih rendah, sehingga tidak memerlukan sistem pendingin tambahan. Dengan kelebihan tersebut, lampu LED 12V yang terdapat pada Gambar 2.14 menjadi pilihan yang efisien dan aman untuk sistem pencahayaan modern.



Gambar 2. 14 Bentuk Fisik dan Simbol Lampu LED 12V

Tabel 2- 22 Spesifikasi Lampu LED 12V [28]

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	12V DC
Jenis Lampu	LED Modul 3 Mata
Warna cahaya	Putih
Daya Konsumsi	± 1.5 Watt
Tingkat Perlindungan	IP68 (Tahan air dan debu – cocok untuk outdoor)
Kecerahan	± 80 – 120 lumen per modul (estimasi LED Samsung)
Temperatur Warna (CCT)	6000K – 6500K (Cool White)

Tabel 2-22 menjelaskan spesifikasi teknis dari Lampu LED 12V jenis LED Modul 3 Mata yang digunakan dalam proyek *Smart Greenhouse*. Lampu ini menggunakan tegangan input sebesar 12V DC dengan konsumsi daya sekitar ± 1.5 Watt per modul. Warna cahaya yang dihasilkan adalah putih dengan tingkat kecerahan ± 80 – 120 lumen per modul, yang merupakan estimasi dari LED Samsung. Dari sisi perlindungan, lampu ini memiliki sertifikasi IP68, yang berarti tahan terhadap debu dan air, sehingga cocok untuk penggunaan di lingkungan luar ruangan (outdoor).

2.2.16 Arduino Ide

Arduino Integrated Development Environment (IDE) adalah perangkat lunak open-source yang dirancang untuk memprogram papan mikrokontroler Arduino. Dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif, Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke papan Arduino dengan mudah. Fitur-fitur seperti penyorotan sintaks, monitor serial, dan manajemen pustaka menjadikan Arduino IDE sebagai alat yang efektif dalam pengembangan proyek elektronika dan pembelajaran pemrograman.

Dalam konteks pendidikan, Arduino IDE telah banyak diimplementasikan sebagai alat bantu pembelajaran di berbagai jenjang, mulai dari sekolah menengah hingga perguruan tinggi. Sebagai contoh, penelitian oleh Kamal et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan Arduino IDE dalam mata kuliah Sistem Digital di Universitas Islam Makassar dapat meningkatkan hasil belajar mahasiswa secara signifikan. Dalam penelitian tersebut, kelas eksperimen yang menggunakan Arduino IDE menunjukkan peningkatan persentase kelulusan dari 44% menjadi 74%, dibandingkan dengan kelas kontrol yang hanya mencapai 56%. [29]

Implementasi Arduino IDE juga telah dilakukan dalam pelatihan-pelatihan untuk siswa di berbagai daerah. Misalnya, pelatihan yang diselenggarakan oleh Universitas Pamulang memperkenalkan siswa pada penggunaan Arduino IDE untuk mengontrol servo motor dan sensor ultrasonik dalam proyek palang pintu otomatis. Pelatihan ini tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis siswa, tetapi juga memperkenalkan mereka pada konsep *Internet of Things (IoT)* dan pemrograman berbasis mikrokontroler.

Arduino IDE juga digunakan dalam pengembangan alat bantu pembelajaran untuk mata pelajaran fisika. Penelitian oleh Hidayat et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan Arduino IDE dalam pengembangan media pembelajaran berbantuan Arduino untuk mendukung pembelajaran gerak jatuh bebas dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep tersebut. [30] Media pembelajaran ini memungkinkan siswa untuk mengamati dan

menganalisis data secara *Real-time*, sehingga memperkuat pemahaman mereka terhadap konsep fisika yang diajarkan.

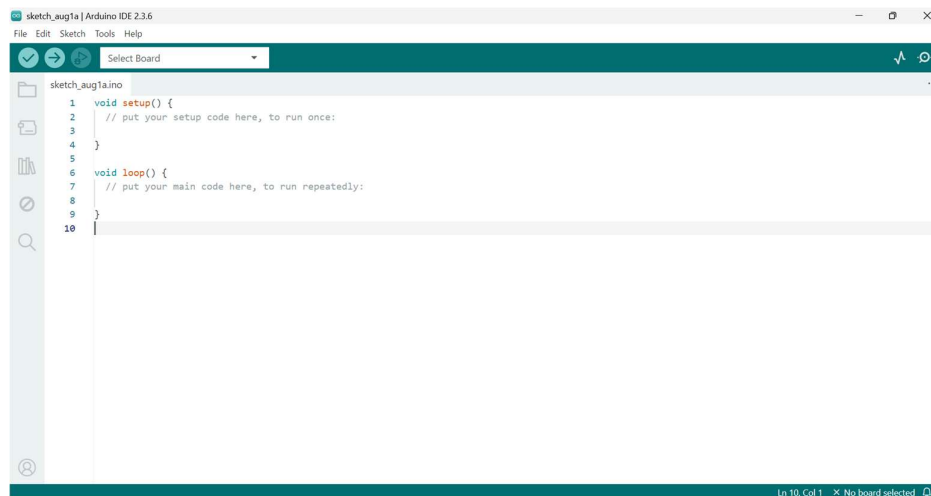
Secara keseluruhan, Arduino IDE telah terbukti sebagai alat yang efektif dalam pembelajaran dan pengembangan proyek berbasis mikrokontroler. Dengan antarmuka yang user-friendly dan dukungan komunitas yang luas, Arduino IDE memungkinkan pengguna dari berbagai latar belakang untuk belajar dan mengembangkan proyek-proyek inovatif. Implementasi Arduino IDE dalam pendidikan tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep teknis, tetapi juga membekali mereka dengan keterampilan praktis yang relevan dengan kebutuhan industri saat ini.

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengunggah, dan memantau kode program (sketsa) yang akan dijalankan oleh mikrokontroler Arduino. Lingkungan pengembangan ini dibuat untuk membantu pengguna dari berbagai latar belakang, baik mereka yang baru mulai maupun yang sudah berpengalaman, dalam menciptakan berbagai proyek elektronik dan IoT (*Internet of Things*). Arduino IDE mendukung berbagai tipe papan (board) Arduino, seperti Arduino Uno, Mega, Nano, dan lain-lain. IDE ini memakai bahasa pemrograman yang berbasis pada bahasa C/C++, tetapi sudah disederhanakan agar lebih mudah dimengerti. Beberapa fitur utama dari Arduino IDE meliputi:

1. Editor Program Adalah sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa Processing.
2. Compiler Adalah sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa Processing) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami bahasa Processing. Yang bisa dipahami oleh mikrokontroler adalah kode biner. Itulah sebabnya compiler diperlukan dalam hal ini.
3. Uploader Adalah sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memory didalam papan Arduino. Sebuah kode program Arduino umumnya disebut dengan istilah sketch. Kata “sketch” digunakan secara

bergantian dengan “kode program” dimana keduanya memiliki arti yang sama. [31]

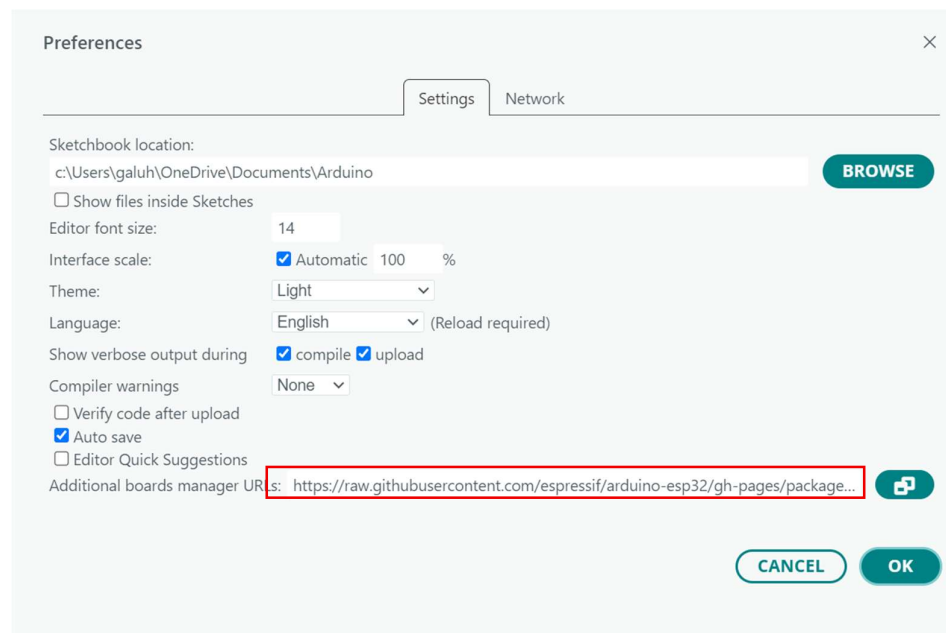
4. Berikut adalah langkah – langkah penggunaan Arduino Ide
Langkah – langkah dalam menggunakan Arduino IDE meliputi:
 1. Menginstal Arduino IDE: Dapat diunduh dari situs resmi Arduino (<https://www.arduino.cc>).
 2. Menghubungkan Arduino ke Komputer: Setelah Arduino IDE terpasang, langkah berikutnya adalah menghubungkan papan mikrokontroler Arduino dengan komputer. Koneksi ini menggunakan kabel USB, biasanya tipe USB A ke B untuk papan Arduino Uno. Kabel ini tidak hanya berfungsi sebagai media transfer data antara komputer dan Arduino, tetapi juga sebagai sumber daya listrik sementara selama proses pemrograman. Setelah kabel USB terpasang, sistem operasi komputer biasanya akan otomatis mendeteksi perangkat Arduino dan menginstal driver yang diperlukan. Keberhasilan koneksi dapat dilihat melalui indikator LED yang menyala pada papan Arduino dan terdeteksinya port baru di pengaturan Device Manager pada komputer. Koneksi yang berhasil sangat penting karena menjadi jembatan utama untuk mengunggah program dari Arduino IDE ke papan mikrokontroler.
 3. Membuka Perangkat Lunak Arduino IDE
Selanjutnya, jalankan perangkat lunak Arduino Integrated Development Environment (IDE) yang sudah diinstal di komputer. Maka akan muncul tampilan awal seperti Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Tampilan awal Arduino IDE

4. Mengakses Menu Preferences

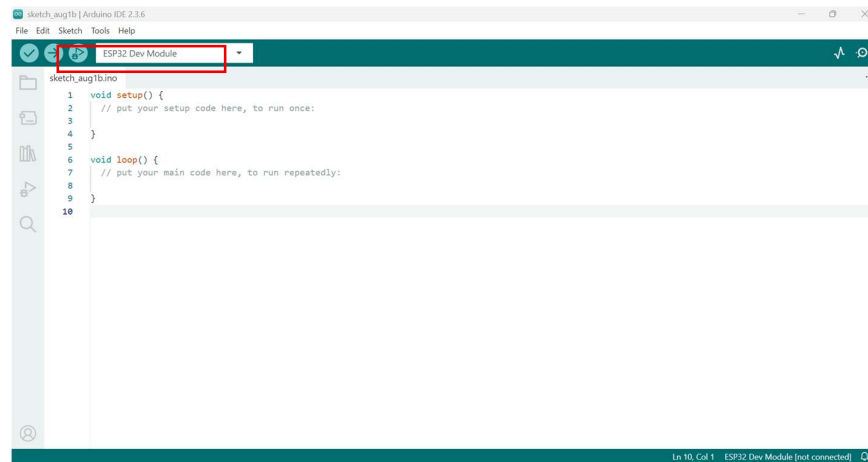
Setelah Arduino IDE terbuka, pengguna memilih menu File > Preferences. Menu ini berfungsi untuk mengatur preferensi pengguna, termasuk menambahkan tautan (URL) untuk mengakses papan tambahan yang tidak tersedia secara default dalam Arduino IDE. Langkah selanjutnya adalah menambahkan tautan board, hal ini diperlukan agar Arduino IDE bisa mengenali dan mengunduh paket board yang dimaksud melalui Board Manager. Pengguna dapat menambahkan board menggunakan tautan (URL) pada kolom yang ditandai dengan kotak berwarna merah seperti Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 menambahkan Board Menggunakan Tautan (URL)

5. Menginstal Board Melalui Board Manager

Setelah menambahkan URL, langkah berikutnya adalah membuka Tools > Board > Boards Manager. Di dalam Board Manager, pengguna mencari board yang sesuai, seperti ESP32 dari Espressif Systems, lalu menekan tombol Install untuk mengunduh dan menginstal board tersebut ke dalam Arduino IDE seperti Gambar 2.17.



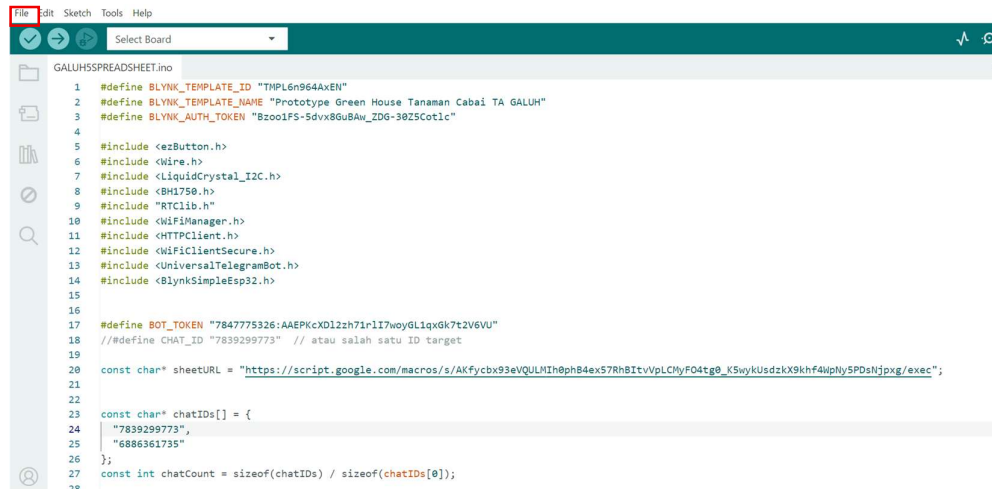
Gambar 2. 17 Install Board Melalui Board Manager

6. Menginstal pustaka yang dibutuhkan

Untuk mendukung fungsi tambahan dalam proyek, pengguna perlu menginstal pustaka tertentu. Instalasi pustaka dilakukan melalui Sketch > Include Library > Manage Libraries. Pengguna dapat mencari pustaka yang dibutuhkan, seperti LiquidCrystal_I2C, RTCLib, BlynksimpleEsp32, dll. Sebelum mengunggah program ke perangkat keras (mikrokontroler), pengguna perlu menentukan jenis board dan port komunikasi yang akan digunakan. Pengaturan ini dilakukan di menu Tools > Board untuk memilih jenis board (misalnya: ESP32 Dev Module) dan Tools > Port untuk memilih port komunikasi serial (COM) yang sesuai.

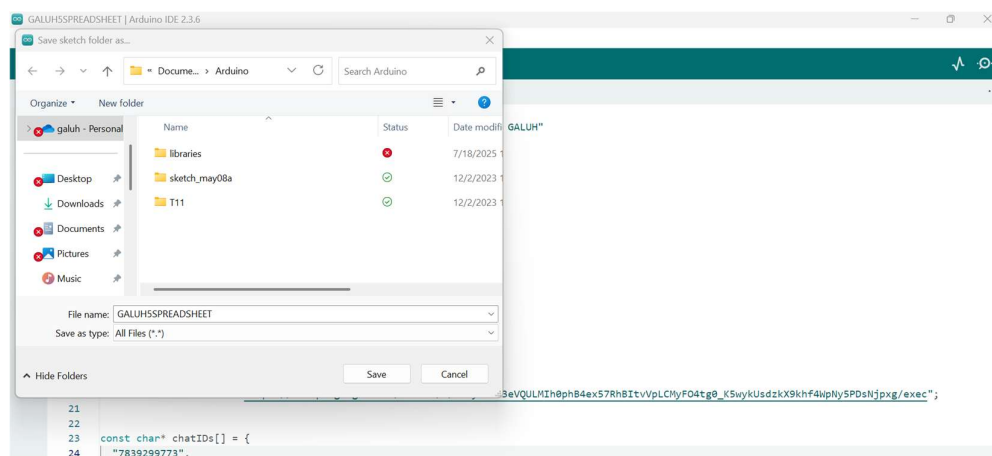
7. Mulai menulis program

Setelah semua pengaturan selesai, pengguna dapat mulai mengetik kode program (sketsa) seperti Gambar 2.18 di area editor Arduino IDE.



Gambar 2. 18 Pembuatan Program

Untuk menyimpan program, pengguna harus memilih menu File > Save As. Arduino IDE akan meminta pengguna untuk memberikan nama file, dan secara otomatis membuat folder proyek dengan nama yang sama. Selanjutnya, pengguna harus memilih direktori (tempat) di komputer untuk menyimpan folder proyek. Arduino IDE akan menyimpan file program dengan ekstensi .ino di dalam folder yang telah dibuat seperti Gambar 2.19



Gambar 2. 19 Folder Penyimpanan Program

Setelah proses penyimpanan selesai, program sekarang tersimpan dalam struktur direktori yang sesuai dengan standar Arduino. Proyek siap untuk

menjalani proses verifikasi (kompilasi) dan mengupload (mengunggah) ke perangkat mikrokontroler agar bisa dijalankan.

2.2.17 Blynk

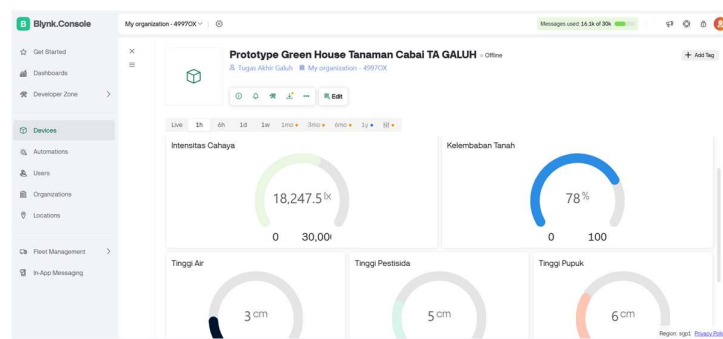
Blynk merupakan sebuah *Platform Internet of Things (IoT)* yang memberi kesempatan kepada penggunanya untuk memantau dan mengontrol perangkat elektronik dari jarak jauh dengan bantuan internet. Dengan antarmuka yang mudah dipahami, Blynk menawarkan aplikasi seluler serta dasbor web yang dapat digunakan dengan berbagai jenis mikrokontroler seperti ESP8266, ESP32, dan Arduino.

Fungsi utama Blynk dalam sistem adalah sebagai jembatan komunikasi antara perangkat keras, dalam hal ini ESP32, dengan aplikasi pemantauan berbasis ponsel pintar. Cara kerja Blynk diawali dengan pembuatan akun dan proyek pada *Dashboard* Blynk, yang kemudian menghasilkan *authentication* token sebagai kunci komunikasi antara aplikasi dan perangkat keras. Selanjutnya, *authentication token* tersebut disematkan pada kode program di ESP32. Saat ESP32 terhubung ke internet melalui koneksi WiFi, perangkat akan mengirimkan data ke server Blynk menggunakan protokol komunikasi *TCP/IP*. Server Blynk kemudian mengirimkan data tersebut ke aplikasi ponsel pengguna, yang ditampilkan sesuai dengan pengaturan antarmuka pada aplikasi. Proses ini berjalan secara terus-menerus selama perangkat terhubung dengan jaringan internet, sehingga data dari alat pendeteksi sambaran petir dapat dipantau secara *Real-time*. Dengan adanya Blynk, sistem *monitoring* pada penelitian ini menjadi lebih praktis, interaktif, dan mudah diakses dari berbagai lokasi.

Sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mengukur kadar air yang ada di dalam tanah, dan data yang diperoleh kemudian dikirim oleh mikrokontroler ke server Blynk menggunakan koneksi *Wi-Fi*. Setelah itu, data yang diterima oleh server Blynk akan ditampilkan dalam *Dashboard* Blynk, sehingga pengguna bisa memantau keadaan kelembaban tanah secara langsung melalui smartphone atau komputer.

Dalam penerapannya, Blynk juga memungkinkan pengguna untuk memilih mode operasi sistem, baik secara manual maupun otomatis. Dalam mode manual, pengguna bisa mengoperasikan pompa penyiraman melalui tombol virtual yang ada di *Dashboard* Blynk. Sementara dalam mode otomatis, sistem akan mengatur pompa berdasarkan data dari sensor dan logika yang sudah diprogram sebelumnya. Fleksibilitas ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengelola sistem irigasi sesuai dengan kebutuhan dan situasi lingkungan.

Secara keseluruhan, Blynk adalah pilihan yang tepat dan efisien untuk memantau serta mengendalikan kelembaban tanah menggunakan teknologi IoT. Dengan kemampuan integrasi yang mudah, tampilan yang ramah pengguna, dan berbagai fitur canggih, Blynk mendukung para petani dan pengelola lahan pertanian dalam memaksimalkan pemanfaatan air, meningkatkan hasil tanaman, dan mengurangi pekerjaan manual. Penggunaan Blynk dalam sistem pertanian cerdas di Indonesia memperlihatkan potensi besar untuk mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan dan modern. Tampilan Blynk untuk *monitoring* bisa dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2. 20 Tampilan Blynk

2.2.18 LCD

LCD 20x4 adalah jenis tampilan karakter yang menggunakan teknologi Liquid Crystal Display (LCD) dan mampu menampilkan 20 karakter dalam 4 baris, yang berarti total karakter yang bisa ditampilkan sekaligus adalah 80. LCD ini termasuk dalam kategori tampilan monokrom, di mana setiap karakter

disajikan dalam format matriks 5x8 piksel. Modul LCD 20x4 biasanya dipakai dalam berbagai perangkat mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, dan Raspberry Pi karena kemudahan integrasinya, serta kemampuannya untuk menunjukkan informasi teks dengan jelas dan efisien dalam penggunaan energi.

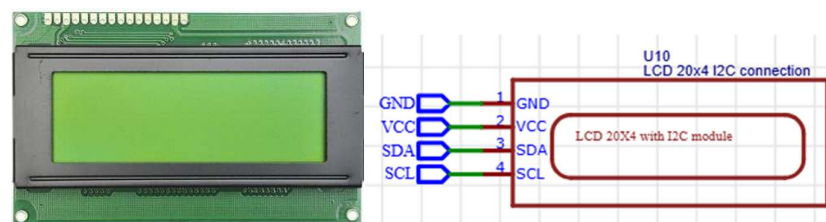
Secara teknis, LCD 20x4 beroperasi dengan memanfaatkan sifat optik dari kristal cair yang dapat menghalangi atau membiarkan cahaya lewat berdasarkan sinyal listrik yang diterima. Modul ini memiliki dua register, yaitu Instruction Register (IR) yang digunakan untuk kontrol instruksi seperti menghapus layar atau mengatur kursor, dan Data Register (DR) yang menyimpan data karakter yang akan ditampilkan. Modul ini dapat digunakan dalam mode 4-bit atau 8-bit, dan kini lebih sering digabungkan dengan modul I2C yang mengurangi jumlah pin digital dari 16 menjadi hanya 4 pin, sehingga lebih praktis untuk proyek-proyek yang memiliki keterbatasan jumlah pin pada mikrokontroler.

LCD 20x4 sering digunakan dalam sistem pemantauan, tampilan menu interaktif, dan antarmuka pengguna pada berbagai aplikasi seperti alat pengukur digital, sistem otomasi, hingga perangkat IoT. Penggunaan LCD ini tidak hanya membantu dalam menampilkan informasi secara *Real-time*, tetapi juga memperkuat interaksi antara manusia dan mesin dengan cara yang lebih intuitif.

Secara struktural, LCD 20x4 terdiri dari lapisan kristal cair yang ditempatkan di antara dua elektroda transparan. Ketika tegangan listrik diterapkan, orientasi molekul kristal cair berubah, memodulasi cahaya yang melewatinya dan membentuk karakter yang terlihat. Modul ini biasanya dilengkapi dengan backlight berwarna biru atau hijau untuk meningkatkan visibilitas dalam berbagai kondisi pencahayaan. Selain itu, pengaturan kontras dapat disesuaikan melalui potensiometer yang terintegrasi, memungkinkan pengguna mengoptimalkan tampilan sesuai kebutuhan.

Untuk mempermudah komunikasi dengan mikrokontroler seperti Arduino, LCD 20x4 sering dipasangkan dengan modul antarmuka I2C. Penggunaan I2C memungkinkan pengurangan jumlah pin yang diperlukan, dari 16 pin paralel menjadi hanya 4 pin: VCC, GND, SDA (Serial Data), dan SCL

(Serial Clock). Hal ini tidak hanya menyederhanakan koneksi perangkat keras, tetapi juga memudahkan pemrograman dan integrasi dalam sistem yang lebih kompleks. Dalam penelitian oleh Tim Jurnal Teknik Informatika, penggunaan modul I2C pada LCD 20x4 terbukti efektif dalam menghemat penggunaan pin mikrokontroler dan mempermudah akses programmer dalam mengendalikan tampilan. [32] Pada Gambar 2.21 terlihat bentuk fisik dari LCD 20x4. Tabel 2-23 adalah penjelasan dari pin out lcd 20x4, sedangkan spesifikasi dari Pin Out LCD dapat dilihat pada Tabel 2-24.



Gambar 2. 21 Bentuk Fisik dan Simbol LCD 20 x 4

Tabel 2- 23 Pin Out LCD 20x4

No	Nama Pin	Kepanjangan	Penjelasan Pin
1	VSS	Ground	Pin ground sistem. Disambungkan ke ground (GND) mikrokontroler atau power supply.
2	VDD	Voltage Drain	Pin tegangan positif. Biasanya dihubungkan ke +5V DC untuk menghidupkan LCD.
3	VO	Contrast Voltage	Pin pengatur kontras layar. Biasanya dihubungkan ke potensiometer (10k Ω) untuk mengatur gelap/terangnya tampilan karakter.

No	Nama Pin	Kepanjangan	Penjelasan Pin
4	RS	Register Select	Pin pemilih mode: RS = 0 untuk instruksi/command, RS = 1 untuk data/karakter.
5	RW	Read/Write	Pin mode baca/tulis: RW = 0 (tulis ke LCD), RW = 1 (baca dari LCD). Umumnya di-ground-kan (RW = 0) agar hanya menulis.
6	E	Enable	Pin untuk mengaktifkan LCD agar membaca data pada pin data. Naik-turun sinyal (pulse) pada pin ini men-trigger transfer data.
7	D0	Data 0	Jalur data bit ke-0. Digunakan hanya jika LCD bekerja dalam mode 8-bit.
8	D1	Data 1	Jalur data bit ke-1 (mode 8-bit).
9	D2	Data 2	Jalur data bit ke-2 (mode 8-bit).
10	D3	Data 3	Jalur data bit ke-3 (mode 8-bit).
11	D4	Data 4	Jalur data bit ke-4. Wajib digunakan pada mode 4-bit maupun 8-bit.
12	D5	Data 5	Jalur data bit ke-5. Digunakan pada mode 4-bit dan 8-bit.

No	Nama Pin	Kepanjangan	Penjelasan Pin
13	D6	Data 6	Jalur data bit ke-6. Digunakan pada mode 4-bit dan 8-bit.
14	D7	Data 7	Jalur data bit ke-7. Digunakan pada mode 4-bit dan 8-bit.
15	LED +	LED Anode	Pin positif LED backlight. Biasanya dihubungkan ke +5V melalui resistor ($\sim 220\Omega$).
16	LED -	LED Cathode	Pin negatif LED backlight. Di-ground-kan untuk menyalakan backlight.

Tabel 2- 24 Spesifikasi LCD 20x4

Spesifikasi	Keterangan
Jumlah Karakter	20 kolom $\times$ 4 baris (total 80 karakter)
Tegangan Operasional	4.7V – 5.3V (umumnya 5V)
Tegangan Logika	5V TTL (kompatibel dengan Arduino, ESP32 dengan konverter level)
Tipe Karakter	Dot Matrix 5 $\times$ 8
Arus Backlight	Sekitar 15–30 mA (tergantung resistor)
Kontroler	HD44780
Karakter per baris	20 Karakter
Mode Data	4-bit atau 8-bit

Spesifikasi	Keterangan
Suhu Operasional	-20°C hingga +70°C
Dimensi Fisik	±98 mm (Panjang) × 60 mm (Lebar) × 13.5 mm (Tebal)

Modul *I2C (Inter-Integrated Circuit)* adalah standar komunikasi data serial dua arah yang hanya menggunakan dua jalur, yaitu SCL (Serial Clock) dan SDA (Serial Data). Modul ini dirancang agar perangkat elektronik dapat saling bertukar data dengan cara yang sederhana dan efisien. Jalur SCL berfungsi untuk mengatur irama pengiriman data (clock), sedangkan jalur SDA digunakan untuk mengirim dan menerima data antar perangkat. Dalam sistem I2C, terdapat dua jenis perangkat, yaitu Master dan *Slave*. Perangkat Master bertugas mengontrol komunikasi dengan memulai proses pengiriman data dengan memberikan sinyal *Start*, mengakhiri dengan sinyal *Stop*, serta menghasilkan sinyal clock. Sedangkan perangkat Slave akan merespons perintah yang diberikan oleh Master.

Cara kerja I2C dimulai ketika perangkat Master mengirimkan sinyal *Start* untuk memulai komunikasi. Setelah itu, data dikirim melalui jalur SDA seiring dengan sinyal clock yang dihasilkan pada jalur SCL. Data yang dikirim biasanya berbentuk paket yang terdiri dari alamat perangkat Slave yang dituju, data yang dikirim, dan bit pengecekan (*acknowledge*). Setelah proses pengiriman selesai, Master akan mengirimkan sinyal *Stop* untuk menghentikan komunikasi. Keunggulan I2C adalah kemampuannya untuk menghubungkan banyak perangkat dengan hanya dua jalur kabel, sehingga sangat efisien untuk digunakan dalam sistem elektronik yang kompleks, seperti pada modul LCD I2C atau sensor-sensor berbasis I2C. Adapun Pin Out bisa dilihat pada Tabel 2-25. Spesifikasi pada I2C terdapat pada Tabel 2-26.

Tabel 2- 25 Pin Out I2C

Nama Pin	Fungsi	Keterangan
GND	Ground (Tanah)	Dihubungkan ke ground mikrokontroler.
VCC	Tegangan catu daya (+5V/3.3V)	Dihubungkan ke sumber daya, biasanya 5V atau 3.3V.
SDA	Serial Data	Jalur data untuk komunikasi I2C.
SCL	Serial Clock	Jalur clock untuk sinkronisasi pengiriman data.

Tabel 2- 26 Spesifikasi I2C

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Operasional	3.3V – 5V
Arus Operasional	Sekitar 1–10 mA (sangat kecil, tergantung perangkat)
Jumlah Jalur	2 (SDA dan SCL)
Kecepatan Maksimum	Hingga 400 kHz (Mode Fast I2C), 100 kHz (Mode Standard)
Mode Komunikasi	Master-Slave (bisa multi-master dan multi-slave)
Jarak Maksimal	Beberapa meter (tergantung kecepatan dan kualitas kabel)
Kelebihan Utama	Hemat jalur kabel, mendukung banyak perangkat pada satu bus

2.2.19 Pilot lamp

Pilot lamp atau lampu indikator adalah perangkat elektronik yang sederhana dan berfungsi untuk memberikan sinyal visual mengenai keadaan suatu peralatan atau sistem kelistrikan. Umumnya, pilot lamp dipasang pada panel kontrol atau alat listrik untuk menunjukkan apakah perangkat tersebut dalam keadaan hidup (ON), mati (OFF), atau dalam keadaan gangguan (fault). Warna lampu yang biasa digunakan termasuk merah untuk memberi sinyal bahaya atau aktif, hijau untuk menandakan siap beroperasi, dan kuning atau biru sebagai indikator kondisi tertentu seperti standby atau kesalahan sistem.

Pilot lamp beroperasi berdasarkan prinsip penerangan yang dipicu oleh arus listrik. Ketika arus listrik mengalir melalui sirkuit yang terhubung dengan pilot lamp, lampu akan menyala sebagai tanda visual. Biasanya, jenis lampu ini menggunakan teknologi LED atau lampu pijar mini yang memiliki konsumsi daya rendah, tetapi cukup terang untuk terlihat dengan baik dalam berbagai pencahayaan. Saat ini, teknologi LED lebih banyak digunakan karena lebih efisien dalam penggunaan energi, lebih tahan lama, dan tidak mudah panas.

Di dalam sistem kelistrikan pada industri, pilot lamp memiliki fungsi yang sangat penting sebagai alat bantu pemantauan secara visual tanpa memerlukan alat pengukur. Sebagai contoh, dalam panel listrik tiga fasa, tiga pilot lamp dengan warna yang berbeda bisa digunakan untuk mengecek apakah ketiga fasa listrik tersedia. Jika salah satu lampu mati, itu menandakan adanya masalah dalam salah satu fasa. Ini sangat membantu teknisi dalam memberikan respon cepat saat menghadapi masalah teknis.

Selain digunakan di panel listrik, pilot lamp juga terdapat dalam berbagai perangkat rumah tangga dan otomotif. Di lingkungan rumah, pilot lamp dapat ditemukan pada setrika, oven, rice cooker, dan mesin pompa air. Dalam sektor otomotif, pilot lamp berfungsi sebagai indikator pada panel *Dashboard* kendaraan, seperti tanda pintu terbuka, mesin menyala, suhu mesin, dan lain-lain. Karena fungsinya yang sederhana namun penting, pilot lamp sering kali menjadi komponen tetap dalam desain sistem elektronik masa kini.

Cara kerja pilot lamp cukup mudah: saat suatu perangkat atau sistem dalam keadaan aktif, kontak pada sakelar akan mengalirkan arus ke lampu, yang akan menyala. Sebaliknya, jika perangkat dimatikan atau arus terputus, lampu akan padam. Pada sistem yang lebih canggih, pilot lamp dapat dikendalikan menggunakan relay, kontaktor, atau modul logika agar menyala hanya pada kondisi tertentu, seperti ketika tekanan mencapai tingkat tertentu atau saat sistem pendingin beroperasi.

Secara garis besar, pilot lamp merupakan alat visual yang sangat efisien, terjangkau, dan mudah dipasang dalam berbagai sektor, baik untuk keperluan rumah tangga, industri, maupun otomotif. Dengan penggunaan warna yang konsisten dan standar internasional (misalnya merah untuk alarm, hijau untuk normal), pilot lamp membantu pengguna dan teknisi untuk segera memahami status sistem tanpa perlu melakukan analisis yang rumit. Meskipun ukurannya kecil dan terlihat biasa, pilot lamp memiliki kontribusi yang besar dalam meningkatkan efisiensi pemantauan dan keselamatan sistem. Bentuk fisik dan simbol dari pilot lamp bisa dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Bentuk Fisik dan Simbol Pilot Lamp

2.2.20 Telegram

Aplikasi Telegram pada prototipe *monitoring* dan Kontrol *Smart Greenhouse* ini berfungsi sebagai media komunikasi dua arah antara pengguna dan sistem secara *Real-time*. Melalui bot Telegram, pengguna dapat memberikan perintah untuk mengatur konfigurasi alat, seperti mereset koneksi WiFi, menyetel waktu RTC (Real Time Clock), hingga mengatur interval penyemprotan pestisida dan pupuk. Perintah tersebut cukup diketikkan dalam

format tertentu pada chat bot, sehingga pengguna tidak perlu mengakses langsung perangkat keras, melainkan cukup melalui smartphone.

Selain fungsi kontrol, Telegram juga menjadi media notifikasi otomatis yang menginformasikan kondisi penting dari sistem. Seperti terlihat pada notifikasi, bot akan memberikan peringatan jika tinggi air, pupuk, atau pestisida di dalam tangki mencapai level rendah, sehingga pengguna bisa segera melakukan pengisian ulang. Fungsi ini sangat penting untuk menjaga keberlangsungan proses penyemprotan otomatis dan memastikan tanaman dalam *Greenhouse* tetap terawat dengan baik tanpa terhambat oleh masalah teknis seperti kekurangan cairan.

Telegram juga berperan dalam memberikan feedback status aktivitas pompa secara *Real-time*. Setiap kali pompa air, pompa pestisida, atau pompa pupuk diaktifkan maupun dimatikan melalui aplikasi Blynk, statusnya akan diinformasikan langsung ke Telegram. Dengan begitu, pengguna bisa memantau seluruh aktivitas penyemprotan tanpa harus berada di lokasi *Greenhouse* secara fisik. Integrasi Telegram dalam prototipe ini membuat sistem menjadi lebih responsif, praktis, dan user-friendly bagi pengguna, terutama dalam hal *monitoring* jarak jauh berbasis IoT. Untuk melihat tampilan dari Notifikasi Telegram bisa dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Tampilan Telegram

2.2.21 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan salah satu layanan berbasis cloud dari Google yang memungkinkan pengguna untuk mengolah, menyimpan, dan membagikan data dalam bentuk lembar kerja elektronik secara online. Pada prototipe *Greenhouse*, Google Spreadsheet dimanfaatkan sebagai database *monitoring* yang merekam data secara *Real-time* dari berbagai parameter lingkungan yang terhubung dengan sistem IoT. Parameter yang dicatat meliputi Hari, Tanggal, dan Pukul sebagai penanda waktu pencatatan data. Sementara itu, data hasil sensor seperti Intensitas Cahaya (lux) dan Kelembaban Tanah (%) diinput secara otomatis melalui integrasi dengan mikrokontroler yang membaca kondisi lingkungan *Greenhouse*.

Selain data sensor, Spreadsheet ini juga mencatat kondisi ketinggian air, pupuk, dan pestisida yang menunjukkan level cairan di dalam tangki, untuk mendeteksi kapan isi ulang diperlukan. Data ini sangat penting untuk mendukung automasi sistem penyemprotan. Pada bagian lain, Spreadsheet juga mencatat status perangkat relay seperti Lampu, Pompa Air, Pompa Pupuk, dan Pompa Pestisida, yang memperlihatkan apakah perangkat tersebut dalam keadaan nyala atau mati. Terakhir, parameter kondisi Hujan memberikan informasi apakah di lokasi *Greenhouse* sedang terjadi hujan atau tidak. Dengan memanfaatkan Google Spreadsheet, data *monitoring* ini tidak hanya tersimpan dengan aman di cloud, tetapi juga dapat diakses secara fleksibel dari berbagai perangkat. Pada Gambar 2.24 terlihat tampilan yang terdapat pada Spreadsheet.

Database TA Galuh - Smart Green House													
File Edit View Insert Format Data Tools Extensions Help													
100% \$ % .00 123 Default...													
ATA2 Hari													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Hari	Tanggal	Pukul	Hasil Sensor		Kondisi Tinggi (CM)			Kondisi Relay				Kondisi Hujan
				Intensitas Cahaya (lux)	Kelembaban Tanah (%)	Tinggi Air	Tinggi Pupuk	Tinggi Pestisida	Lampu	Pompa Air	Pompa Pupuk	Pompa Pestisida	
3	Senin	21/07/2025	7:39:36	33	0	0	1	0	Mati	Nyala	Mati	Mati	Tidak Hujan
65	Jumat	08/08/2025	11:56:27	110	86	0	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
66	Jumat	08/08/2025	11:57:27	112	83	0	0	5	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
67	Jumat	08/08/2025	11:58:30	104	84	0	0	0	Mati	Mati	Nyala	Mati	Tidak Hujan
68	Jumat	08/08/2025	11:59:32	43	84	0	22	0	Nyala	Mati	Mati	Nyala	Tidak Hujan
69	Jumat	08/08/2025	12:07:40	118	76	0	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
70	Jumat	08/08/2025	12:08:41	118	75	0	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
71	Jumat	08/08/2025	12:10:56	116	77	0	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
72	Jumat	08/08/2025	12:11:56	93	0	0	0	0	Mati	Nyala	Mati	Mati	Tidak Hujan
73	Jumat	08/08/2025	12:13:04	116	80	0	0	18	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
74	Jumat	08/08/2025	12:14:04	116	77	0	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
75	Jumat	08/08/2025	12:15:06	116	78	18	0	0	Mati	Mati	Mati	Mati	Tidak Hujan
76	Jumat	08/08/2025	12:16:12	115	78	22	0	8	Mati	Mati	Nyala	Mati	Tidak Hujan

Gambar 2. 24 Tampilan Google Spreadsheet