

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebagai dasar dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis melakukan studi literatur terhadap berbagai penelitian yang berkaitan dengan penerapan teknologi smart farming, sistem hidroponik, Internet of Things (IoT), serta sistem monitoring dan kontrol otomatis. Penelitian-penelitian terdahulu tersebut dijadikan sebagai bahan referensi dalam memahami perkembangan teknologi, metode yang telah diterapkan, serta sebagai dasar dalam pengembangan sistem yang diusulkan pada penelitian ini.

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gabriel Jeremia Mardolina, A. Ejah Umraeni Salam, dan Ida Rachmaniar Sahali dengan judul "Rancang Bangun Smart Hydroponic Menggunakan ESP32 Berbasis Aplikasi Android", sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali dengan memanfaatkan sensor pH (SEN0161), sensor nutrisi TDS (SEN0244), dan sensor intensitas cahaya (BH1750). Sistem dilengkapi tiga buah pompa yang berfungsi untuk menambahkan larutan pH naik, pH turun, dan nutrisi secara otomatis sesuai hasil pembacaan sensor. Selain itu, sistem juga menggunakan aplikasi Blynk sebagai media monitoring secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan parameter pH dan nutrisi secara otomatis serta meningkatkan pertumbuhan tanaman selada dengan rata-rata tinggi tanaman mencapai 25,83 cm. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan ESP32 dan teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas monitoring dan pengendalian pada sistem hidroponik[5].
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ardian Eza Pratama, Muhammad Hurairah, dan Eliza dengan judul "Otomasi Sistem Hidroponik Berbasis Mikrokontroler ESP32", sistem yang dikembangkan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang diintegrasikan dengan sensor suhu, sensor kelembaban, sensor pH, dan sensor TDS untuk memantau kondisi lingkungan budidaya tanaman

hidroponik. Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan Arduino IDE dan digunakan untuk mengendalikan pompa air, pemberian nutrisi, serta pencahayaan secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam melakukan monitoring dan otomasi proses budidaya sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan hidroponik serta mengurangi ketergantungan terhadap proses pengendalian secara manual[6].

3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rivana Risqi, Made Rahmawaty, Edilla, dan Jajang Jaenudin dengan judul "Sistem Monitoring Nutrisi dan pH Air pada Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT)", sistem yang dikembangkan menggunakan NodeMCU ESP32 yang dipadukan dengan sensor TDS dan sensor pH untuk memonitor kondisi larutan nutrisi secara real-time. Informasi hasil pengukuran ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke aplikasi berbasis IoT sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari jarak jauh. Sistem juga memungkinkan pengguna mengaktifkan pompa nutrisi melalui aplikasi ketika kadar nutrisi berada di bawah 700 ppm atau nilai pH berada di luar rentang yang telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring serta mempermudah pengendalian kondisi larutan nutrisi pada budidaya hidroponik[7].

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada sistem hidroponik telah mampu mendukung proses monitoring dan pengendalian beberapa parameter penting, seperti pH, nutrisi, suhu, dan intensitas cahaya. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengendalian parameter tertentu, seperti pH dan nutrisi, atau hanya mengembangkan fungsi monitoring tanpa mengintegrasikan seluruh parameter lingkungan dalam satu sistem. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembaban udara, sensor TDS/EC sebagai pengukur konsentrasi nutrisi, sensor pH, mikrokontroler ESP32, serta aktuator berupa pompa air, pompa nutrisi, kipas, misting system, dan heater dalam satu sistem smart

farming hidroponik berbasis IoT. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu melakukan monitoring secara real-time sekaligus mengendalikan suhu, kelembaban, pH, dan nutrisi secara otomatis sehingga kondisi lingkungan budidaya tetap berada pada rentang optimum untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Smart Farming

Smart farming merupakan konsep pertanian modern yang mengintegrasikan teknologi digital, sistem otomasi, sensor, serta Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efektivitas proses budidaya melalui pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan secara berkelanjutan. Penerapan konsep ini memungkinkan setiap parameter yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dapat dipantau secara *real-time*, sehingga keputusan pengelolaan dapat dilakukan secara cepat, tepat, dan berbasis data (*data-driven agriculture*). Dengan demikian, *smart farming* tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas hasil pertanian, tetapi juga pada efisiensi penggunaan sumber daya seperti air, nutrisi, energi, serta tenaga kerja [5].

Pada implementasinya, sistem *smart farming* memanfaatkan berbagai perangkat sensor untuk memperoleh informasi mengenai kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, pH, dan konsentrasi nutrisi. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler sebagai pusat kendali sistem sebelum diteruskan melalui jaringan Internet of Things (IoT) ke platform monitoring. Informasi tersebut dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi berbasis web maupun *smartphone*, sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan dari jarak jauh secara *real-time*. Selain fungsi monitoring, sistem juga mampu mengaktifkan aktuator secara otomatis berdasarkan nilai parameter yang telah ditentukan, sehingga kondisi lingkungan budidaya dapat dipertahankan pada rentang optimum tanpa memerlukan intervensi pengguna secara terus-menerus [7].

Konsep *smart farming* sangat sesuai diterapkan pada sistem hidroponik karena keberhasilan budidaya tanaman sangat dipengaruhi oleh kestabilan kondisi lingkungan dan kualitas larutan nutrisi. Melalui integrasi teknologi sensor, mikrokontroler ESP32, serta sistem kontrol otomatis berbasis IoT, parameter

seperti suhu, kelembaban udara, derajat keasaman (pH), dan konsentrasi nutrisi (TDS/EC) dapat dipantau sekaligus dikendalikan secara berkelanjutan. Penerapan teknologi tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan hidroponik, meminimalkan kesalahan akibat pengendalian manual, serta mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.

2.2.2 Hidroponik

Hidroponik merupakan salah satu metode budidaya tanaman yang dilakukan tanpa menggunakan media tanah, melainkan memanfaatkan larutan nutrisi sebagai sumber utama unsur hara yang dibutuhkan tanaman selama proses pertumbuhan. Pada sistem ini, kebutuhan unsur hara makro dan mikro diberikan dalam bentuk larutan yang terlarut di dalam air sehingga dapat diserap secara langsung oleh akar tanaman. Dibandingkan dengan sistem budidaya konvensional, hidroponik memiliki kemampuan dalam menciptakan lingkungan tumbuh yang lebih terkontrol karena parameter-parameter penting, seperti ketersediaan nutrisi, pH, suhu, dan kelembaban, dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tanaman [5].

Penerapan sistem hidroponik memberikan berbagai keuntungan, di antaranya penggunaan air yang lebih efisien karena larutan nutrisi dapat disirkulasikan kembali, kebutuhan lahan yang relatif kecil sehingga sesuai diterapkan pada kawasan perkotaan, serta kemampuan menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih cepat akibat tersedianya unsur hara secara optimal. Selain itu, budidaya hidroponik juga mampu mengurangi keberadaan gulma dan serangan hama yang umumnya berasal dari media tanah, sehingga penggunaan pestisida dapat diminimalkan dan kualitas hasil panen menjadi lebih baik [8].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, sistem hidroponik juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Keberhasilan budidaya sangat bergantung pada kestabilan pasokan energi listrik untuk mengoperasikan pompa sirkulasi, sistem monitoring, dan perangkat kontrol otomatis. Selain itu, konsentrasi nutrisi, derajat keasaman (pH), suhu, dan kelembaban harus dipertahankan pada rentang optimum karena perubahan yang signifikan dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh akar tanaman serta memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, penerapan sistem monitoring dan kontrol otomatis

menjadi salah satu solusi untuk menjaga kestabilan parameter lingkungan pada budidaya hidroponik modern [7].

Dalam penelitian ini, metode hidroponik dipilih karena memiliki karakteristik yang sesuai dengan konsep *smart farming*, yaitu memungkinkan proses monitoring dan pengendalian parameter lingkungan dilakukan secara otomatis melalui integrasi sensor, mikrokontroler ESP32, dan teknologi Internet of Things (IoT). Dengan demikian, kondisi lingkungan budidaya dapat dipertahankan secara optimal sehingga efisiensi pengelolaan serta produktivitas tanaman dapat ditingkatkan.

2.2.3 Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap proses fisiologis tanaman, terutama pada sistem budidaya hidroponik yang mengandalkan kondisi lingkungan yang terkontrol. Suhu memengaruhi laju fotosintesis, respirasi, penyerapan air dan unsur hara, aktivitas enzim, serta metabolisme tanaman secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengendalian suhu menjadi faktor penting untuk menciptakan kondisi pertumbuhan yang optimal sehingga tanaman dapat berkembang secara maksimal [6].

Pada budidaya hidroponik, suhu lingkungan yang ideal umumnya berada pada kisaran 25°C hingga 30°C, meskipun rentang optimum dapat berbeda bergantung pada jenis tanaman yang dibudidayakan. Suhu yang berada pada rentang tersebut mampu mendukung proses metabolisme, penyerapan nutrisi, serta pertumbuhan vegetatif tanaman secara optimal. Sebaliknya, apabila suhu lingkungan melebihi batas optimum, tanaman akan mengalami cekaman (*heat stress*) yang ditandai dengan meningkatnya laju transpirasi, menurunnya efisiensi fotosintesis, serta terhambatnya pertumbuhan. Kondisi tersebut juga dapat menyebabkan penurunan kualitas dan produktivitas hasil panen apabila berlangsung dalam waktu yang lama [5].

Di sisi lain, suhu yang terlalu rendah juga memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Penurunan suhu dapat memperlambat aktivitas enzim dan proses metabolisme, sehingga penyerapan air serta unsur hara oleh akar menjadi kurang optimal. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi lebih lambat,

perkembangan daun terhambat, dan produktivitas tanaman menurun. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring dan kontrol suhu secara otomatis agar kondisi lingkungan budidaya dapat dipertahankan pada rentang optimum sesuai kebutuhan tanaman hidroponik.

Dalam penelitian ini, pengukuran suhu dilakukan menggunakan sensor DHT22 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengaktifkan aktuator, seperti kipas (cooling fan), misting system, atau heater, sehingga suhu lingkungan dapat dikendalikan secara otomatis. Selain itu, data suhu juga dikirimkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan budidaya secara real-time melalui aplikasi.

2.2.4 Kelembaban Udara

Kelembaban udara merupakan salah satu parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena berkaitan erat dengan proses transpirasi, respirasi, serta penyerapan air dan unsur hara. Pada sistem hidroponik, kelembaban udara perlu dijaga pada kisaran optimum agar keseimbangan antara laju penguapan air melalui stomata dan kemampuan akar dalam menyerap air tetap terpelihara. Pengendalian kelembaban yang baik mampu menciptakan lingkungan tumbuh yang stabil sehingga proses fisiologis tanaman dapat berlangsung secara optimal [9].

Secara umum, kelembaban udara yang sesuai untuk budidaya tanaman hidroponik berada pada kisaran **60%–80% Relative Humidity (RH)**, meskipun nilai optimum dapat berbeda bergantung pada jenis tanaman dan fase pertumbuhannya. Pada rentang tersebut, tanaman mampu melakukan proses fotosintesis, respirasi, dan transpirasi secara seimbang sehingga pertumbuhan vegetatif maupun generatif dapat berlangsung dengan baik. Sebaliknya, kelembaban udara yang berada di luar rentang tersebut berpotensi menurunkan produktivitas tanaman [10].

Apabila kelembaban udara terlalu rendah, laju transpirasi akan meningkat sehingga kehilangan air melalui daun berlangsung lebih cepat daripada kemampuan akar menyerap air. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman mengalami cekaman

air (*water stress*), daun menjadi layu, serta pertumbuhan tanaman terhambat. Sebaliknya, kelembaban udara yang terlalu tinggi dapat menghambat proses transpirasi dan menciptakan lingkungan yang mendukung perkembangan jamur maupun mikroorganisme patogen penyebab penyakit tanaman. Oleh karena itu, kelembaban udara perlu dipantau dan dikendalikan secara berkelanjutan agar tetap berada pada rentang yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Dalam penelitian ini, kelembaban udara diukur menggunakan sensor DHT22 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengaktifkan aktuator, seperti *misting system*, kipas, atau *heater*, sehingga kelembaban udara dapat dipertahankan pada kondisi optimum. Selain itu, data hasil monitoring dikirimkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan budidaya secara *real-time* melalui aplikasi.

2.2.5 Nutrisi (TDS/EC)

Nutrisi merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik. Berbeda dengan budidaya konvensional yang memperoleh unsur hara dari tanah, tanaman hidroponik memperoleh seluruh kebutuhan nutrisi dari larutan yang mengandung unsur hara makro dan mikro. Oleh karena itu, konsentrasi nutrisi harus dipertahankan pada rentang yang sesuai agar proses penyerapan unsur hara oleh akar dapat berlangsung secara optimal. Konsentrasi nutrisi umumnya diukur menggunakan parameter *Total Dissolved Solids* (TDS) dengan satuan *parts per million* (ppm) atau *Electrical Conductivity* (EC) dengan satuan mS/cm, di mana kedua parameter tersebut digunakan untuk menunjukkan jumlah zat terlarut di dalam larutan nutrisi [5].

Nilai konsentrasi nutrisi yang ideal bergantung pada jenis tanaman dan fase pertumbuhannya. Pada tanaman sayuran daun, seperti selada dan pakcoy, konsentrasi nutrisi umumnya berada pada kisaran **800–1200 ppm** atau setara dengan nilai EC sekitar **1,2–1,8 mS/cm**. Rentang tersebut mampu menyediakan unsur hara yang cukup untuk mendukung proses fotosintesis, pembentukan jaringan tanaman, serta pertumbuhan vegetatif secara optimal. Oleh karena itu, pemantauan

konsentrasi nutrisi secara berkala menjadi salah satu aspek penting dalam pengelolaan sistem hidroponik berbasis *smart farming* [7].

Konsentrasi nutrisi yang berada di bawah rentang optimum menyebabkan tanaman mengalami defisiensi unsur hara sehingga pertumbuhan menjadi lambat, daun menguning, serta produktivitas tanaman menurun. Sebaliknya, konsentrasi nutrisi yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan osmotik larutan sehingga kemampuan akar dalam menyerap air berkurang. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan kerusakan jaringan akar (*root burn*), menghambat pertumbuhan tanaman, bahkan mengakibatkan kematian tanaman apabila tidak segera dilakukan penyesuaian konsentrasi larutan nutrisi [11].

Dalam penelitian ini, konsentrasi nutrisi diukur menggunakan sensor TDS/EC yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data hasil pengukuran diproses sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengaktifkan pompa nutrisi secara otomatis apabila konsentrasi nutrisi berada di bawah nilai yang telah ditentukan. Selain itu, data hasil monitoring dikirimkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi nutrisi larutan secara *real-time* dan melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem hidroponik.

2..2.6 pH Air

Derajat keasaman (*potential of Hydrogen* atau pH) merupakan salah satu parameter penting dalam sistem budidaya hidroponik karena berpengaruh langsung terhadap ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Nilai pH menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi yang digunakan sebagai media tumbuh tanaman. Pengendalian pH yang tepat sangat diperlukan agar unsur hara makro maupun mikro tetap berada dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman, sehingga proses pertumbuhan dan perkembangan dapat berlangsung secara optimal [5].

Pada budidaya hidroponik, nilai pH larutan nutrisi yang direkomendasikan umumnya berada pada kisaran **5,5–6,5**. Rentang tersebut dianggap sebagai kondisi optimum karena sebagian besar unsur hara esensial, seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan berbagai unsur mikro memiliki tingkat kelarutan yang tinggi sehingga mudah diserap oleh sistem perakaran

tanaman. Oleh karena itu, pemantauan pH secara berkala menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga keseimbangan nutrisi pada sistem hidroponik [7].

Apabila nilai pH berada di bawah kisaran optimum, larutan nutrisi menjadi terlalu asam sehingga beberapa unsur hara dapat mencapai konsentrasi yang bersifat toksik bagi tanaman. Sebaliknya, apabila nilai pH terlalu tinggi, ketersediaan beberapa unsur hara akan menurun akibat proses pengendapan (*precipitation*), sehingga akar mengalami kesulitan dalam menyerap nutrisi yang dibutuhkan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan, perubahan warna daun (*klorosis*), penurunan laju fotosintesis, hingga menurunnya produktivitas tanaman apabila tidak segera dilakukan penyesuaian terhadap nilai pH larutan [11].

Dalam penelitian ini, pengukuran pH dilakukan menggunakan sensor pH yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengaktifkan pompa penambah larutan *pH up* maupun *pH down* secara otomatis apabila nilai pH berada di luar batas yang telah ditentukan. Selain itu, hasil monitoring dikirimkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi pH larutan nutrisi secara *real-time* dan melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem hidroponik.

2.2.7 Internet Of Things

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep yang memungkinkan berbagai perangkat fisik (*smart devices*) saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan proses komunikasi, pertukaran data, serta pengendalian secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara terus-menerus. Dalam implementasinya, setiap perangkat dibekali dengan sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi yang memungkinkan data dikumpulkan, diproses, kemudian dikirimkan ke server atau *cloud* untuk ditampilkan kepada pengguna secara *real-time*. Penerapan teknologi IoT telah berkembang pesat pada berbagai bidang, termasuk sektor pertanian, karena mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring dan pengambilan keputusan berbasis data [11].

Pada sektor pertanian, konsep IoT menjadi salah satu komponen utama dalam implementasi *smart farming*. Berbagai parameter lingkungan, seperti suhu, kelembaban udara, pH larutan, dan konsentrasi nutrisi (TDS/EC), dapat dipantau secara berkelanjutan menggunakan sensor yang terhubung dengan jaringan internet. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke platform *cloud* sehingga dapat diakses melalui aplikasi berbasis web maupun *smartphone*. Selain berfungsi sebagai media monitoring, teknologi IoT juga memungkinkan sistem melakukan pengendalian otomatis terhadap aktuator berdasarkan nilai parameter yang diperoleh dari sensor, sehingga proses budidaya menjadi lebih efektif, efisien, dan akurat [5].

Pada penelitian ini, teknologi Internet of Things (IoT) diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki fasilitas komunikasi nirkabel (*Wi-Fi*) sehingga mampu mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform monitoring secara *real-time*. Parameter yang dipantau meliputi suhu, kelembaban udara, pH air, dan konsentrasi nutrisi (TDS/EC). Informasi tersebut dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi pada *smartphone*, sehingga kondisi tanaman dapat dipantau dari jarak jauh. Selain itu, sistem juga memanfaatkan data hasil monitoring sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengendalikan pompa nutrisi, pompa air, kipas, *misting system*, maupun *heater* secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan budidaya.

2.2.8 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis *System on Chip* (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems dengan mengintegrasikan kemampuan komunikasi nirkabel berupa **Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n** dan **Bluetooth versi 4.2 (BLE)** dalam satu chip. Perangkat ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan sistem tertanam (*embedded system*) yang membutuhkan kemampuan pemrosesan data tinggi, konsumsi daya rendah, serta konektivitas internet secara langsung. ESP32 menggunakan prosesor **Xtensa® Dual-Core LX6** dengan kecepatan hingga **240 MHz**, dilengkapi memori SRAM sebesar **520 KB** serta memori Flash yang umumnya berkapasitas **4 MB**, sehingga mampu menjalankan berbagai aplikasi yang memerlukan pengolahan data secara *real-time*. Kemampuan tersebut

menjadikan ESP32 sebagai salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis **Internet of Things (IoT)**, termasuk pada bidang pertanian cerdas (*smart farming*) yang membutuhkan proses monitoring dan pengendalian secara otomatis [12].

Board ESP32 tersedia dalam berbagai varian dengan jumlah pin *General Purpose Input Output* (GPIO) yang berbeda, seperti versi 30 pin dan 38 pin. Meskipun memiliki konfigurasi pin yang berbeda, kedua varian tersebut memiliki fungsi operasional yang relatif sama dan mendukung berbagai antarmuka komunikasi, seperti **UART**, **I2C**, **SPI**, **PWM**, **ADC**, dan **DAC**. Selain itu, sebagian besar board ESP32 telah dilengkapi dengan rangkaian **USB to UART** sehingga proses pemrograman dapat dilakukan secara langsung menggunakan perangkat lunak seperti **Arduino IDE** tanpa memerlukan perangkat tambahan. Kemampuan tersebut memberikan kemudahan dalam proses pengembangan maupun integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator yang digunakan pada sistem otomasi [12] [5].

Pada implementasi sistem *smart farming* hidroponik, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah seluruh data hasil pembacaan sensor sebelum menghasilkan keputusan pengendalian terhadap aktuator. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, sensor TDS/EC digunakan untuk mengetahui konsentrasi nutrisi larutan, sedangkan sensor pH digunakan untuk memantau tingkat keasaman larutan nutrisi. Data yang diperoleh dari seluruh sensor diproses oleh ESP32 berdasarkan nilai ambang (*set point*) yang telah ditentukan. Apabila salah satu parameter berada di luar rentang optimum, mikrokontroler akan mengaktifkan aktuator, seperti pompa nutrisi, pompa air, kipas, *misting system*, maupun *heater*, sehingga kondisi lingkungan budidaya dapat kembali berada pada kondisi yang ideal. Selain melakukan proses pengendalian secara otomatis, ESP32 juga mengirimkan data hasil monitoring ke platform Internet of Things (IoT) melalui jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara *real-time* menggunakan aplikasi pada *smartphone* [5] [6].

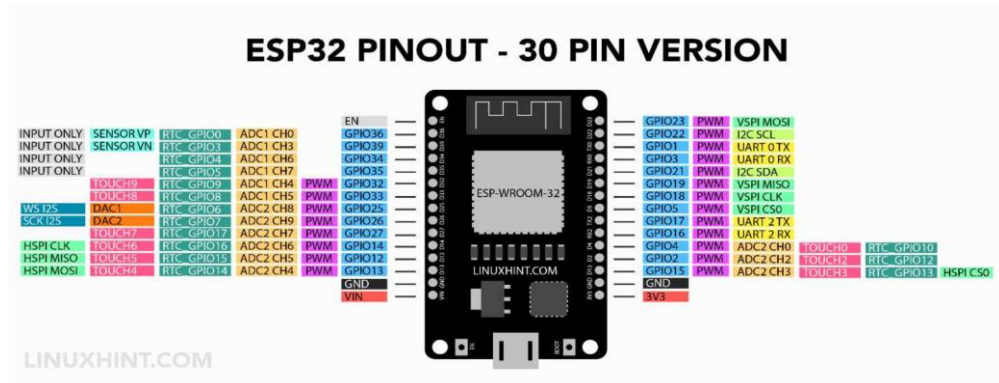
Sebagai mikrokontroler yang dirancang untuk mendukung pengembangan sistem Internet of Things (IoT), ESP32 memiliki berbagai keunggulan yang

menjadikannya banyak digunakan dalam penelitian maupun aplikasi industri. Beberapa kelebihan utama ESP32 antara lain sebagai berikut.

1. Menggunakan prosesor **Xtensa® Dual-Core LX6** dengan kecepatan hingga **240 MHz**, sehingga mampu melakukan pengolahan data secara cepat dan mendukung proses *multitasking*.
2. Memiliki memori SRAM sebesar **520 KB** dan memori Flash hingga **4 MB** yang memungkinkan pengembangan program dengan kompleksitas yang lebih tinggi.
3. Telah dilengkapi modul komunikasi **Wi-Fi** dan **Bluetooth Low Energy (BLE)** sehingga dapat terhubung ke jaringan internet tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan.
4. Menyediakan berbagai antarmuka komunikasi, seperti **UART**, **SPI**, **I2C**, **PWM**, **ADC**, dan **DAC**, sehingga mudah diintegrasikan dengan berbagai sensor maupun aktuator.
5. Mendukung pemrograman menggunakan berbagai platform, seperti **Arduino IDE**, **ESP-IDF**, dan **PlatformIO**, sehingga memberikan fleksibilitas dalam proses pengembangan perangkat lunak.
6. Memiliki jumlah pin GPIO yang cukup banyak sehingga mampu menghubungkan berbagai perangkat input dan output dalam satu sistem secara bersamaan.
7. Dilengkapi dengan fitur **Deep Sleep Mode** yang mampu menurunkan konsumsi daya secara signifikan, sehingga sangat sesuai digunakan pada perangkat berbasis baterai maupun sistem monitoring yang bekerja dalam jangka waktu lama.

Berdasarkan berbagai keunggulan tersebut, ESP32 dipilih sebagai pusat kendali pada penelitian ini karena mampu mengintegrasikan fungsi akuisisi data sensor, pemrosesan data, komunikasi Internet of Things (IoT), serta pengendalian aktuator dalam satu perangkat. Kemampuan tersebut memungkinkan sistem *smart farming* hidroponik melakukan proses monitoring dan kontrol suhu, kelembaban udara, konsentrasi nutrisi (TDS/EC), dan pH secara otomatis serta menampilkan

hasil pengukuran kepada pengguna melalui aplikasi berbasis *smartphone* secara *real-time*.



Gambar 2. 1 Board ESP32

Gambar 2.1 menunjukkan board ESP32 beserta konfigurasi pin yang tersedia untuk mendukung proses akuisisi data, komunikasi, dan pengendalian perangkat. ESP32 memiliki sejumlah pin dengan fungsi yang berbeda, seperti General Purpose Input Output (GPIO), Analog to Digital Converter (ADC), Digital to Analog Converter (DAC), UART, I2C, SPI, PWM, serta pin catu daya. Ketersediaan berbagai jenis pin tersebut memungkinkan ESP32 diintegrasikan dengan sensor maupun aktuator sesuai dengan kebutuhan sistem. Dalam proses perancangan, pemilihan pin perlu disesuaikan dengan karakteristik perangkat yang digunakan agar proses pembacaan sensor dan pengendalian aktuator dapat berjalan dengan baik. Adapun fungsi beberapa pin utama pada ESP32 adalah sebagai berikut.

1. **Pin 3V3**, berfungsi sebagai sumber tegangan keluaran sebesar **3,3 V** untuk mensuplai sensor atau modul yang membutuhkan tegangan rendah.
2. **Pin VIN (5V)**, digunakan sebagai masukan catu daya eksternal sebesar **5 V** maupun sebagai keluaran tegangan ketika board memperoleh suplai dari konektor USB.
3. **Pin GND**, berfungsi sebagai ground atau referensi tegangan pada rangkaian elektronika.
4. **Pin EN (Enable)**, digunakan untuk mengaktifkan mikrokontroler. Apabila pin ini diberi logika LOW, maka ESP32 akan melakukan proses reset.

5. **Pin GPIO (General Purpose Input Output)**, digunakan sebagai pin digital yang dapat difungsikan sebagai input maupun output untuk membaca sensor atau mengendalikan aktuator.
6. **Pin ADC (Analog to Digital Converter)**, digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor, seperti sensor pH maupun sensor TDS.
7. **Pin DAC (Digital to Analog Converter)**, digunakan untuk menghasilkan sinyal analog dari data digital.
8. **Pin UART (TX dan RX)**, digunakan sebagai jalur komunikasi serial dengan perangkat lain maupun untuk proses pemrograman.
9. **Pin I2C (SDA dan SCL)**, digunakan sebagai jalur komunikasi dengan sensor atau modul yang menggunakan protokol I2C, seperti LCD maupun OLED.
10. **Pin SPI (MOSI, MISO, SCK, dan CS)**, digunakan untuk komunikasi data berkecepatan tinggi dengan perangkat eksternal.
11. **Pin PWM (Pulse Width Modulation)**, digunakan untuk mengatur kecepatan motor, intensitas cahaya LED, maupun pengendalian aktuator lainnya.
12. **Pin GPIO34 hingga GPIO39**, merupakan pin yang hanya berfungsi sebagai **input** sehingga umumnya digunakan untuk membaca keluaran sensor analog maupun digital.

2.2.9 DHT22

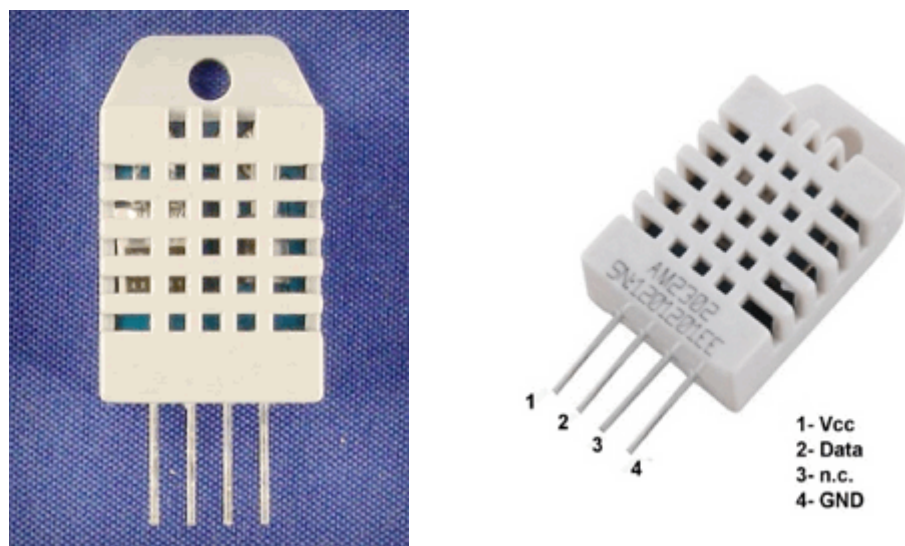
Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara secara bersamaan dalam satu modul. Sensor ini banyak digunakan pada berbagai sistem monitoring lingkungan karena memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan sensor DHT11 serta mampu melakukan pengukuran pada rentang suhu dan kelembaban yang lebih luas. DHT22 menggunakan elemen sensor kelembaban kapasitif (*capacitive humidity sensor*) dan termistor (*Negative Temperature Coefficient* atau NTC) sebagai sensor suhu. Data hasil pengukuran dikirimkan dalam bentuk sinyal digital melalui antarmuka komunikasi *single-wire*, sehingga proses integrasi dengan mikrokontroler menjadi lebih sederhana tanpa memerlukan rangkaian konversi analog ke digital [13].

Spesifikasi teknis sensor DHT22 ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2- 1 Spesifikasi Sensor DHT22

Parameter	Spesifikasi
Tegangan kerja	3,3–6 V DC
Arus kerja	$\leq 2,5$ mA
Rentang pengukuran suhu	-40°C hingga 80°C
Akurasi suhu	$\pm 0,5^\circ\text{C}$
Resolusi suhu	0,1°C
Rentang pengukuran kelembaban	0–100% RH
Akurasi kelembaban	$\pm 2\%$ RH (maksimum $\pm 5\%$ RH)
Resolusi kelembaban	0,1% RH
Interface komunikasi	Single-wire Digital
Periode pembacaan	2 detik

Berdasarkan Tabel 2.1, sensor DHT22 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu pada rentang **-40°C hingga 80°C** dengan tingkat akurasi **$\pm 0,5^\circ\text{C}$** , sedangkan pengukuran kelembaban udara dapat dilakukan pada rentang **0–100% RH** dengan akurasi hingga **$\pm 2\%$ RH**. Selain memiliki tingkat akurasi yang baik, sensor ini juga menawarkan resolusi pengukuran yang tinggi sehingga mampu menghasilkan data yang relatif stabil. Karakteristik tersebut menjadikan DHT22 sesuai digunakan pada sistem monitoring lingkungan yang membutuhkan ketelitian dalam pengukuran suhu dan kelembaban udara [13].



Gambar 2. 2 Sensor DHT22

Gambar 2.2 menunjukkan sensor DHT22 yang digunakan sebagai perangkat pengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor ini memiliki bagian

pengindra kelembapan dan suhu yang terintegrasi dalam satu perangkat, sedangkan data hasil pengukuran dikirimkan dalam bentuk sinyal digital menuju mikrokontroler. Penggunaan keluaran digital tersebut membuat DHT22 dapat diintegrasikan dengan ESP32 menggunakan jalur data yang relatif sederhana.

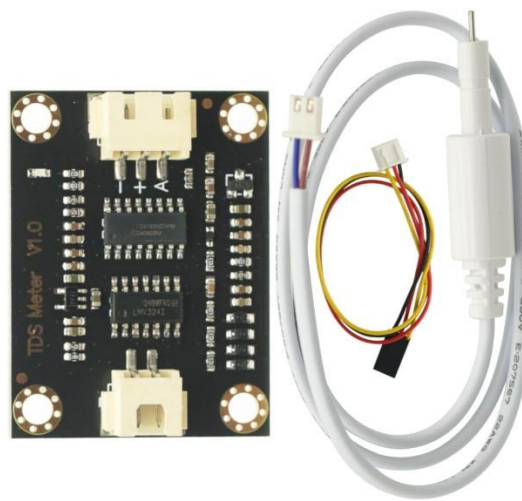
Pada penelitian ini, sensor DHT22 digunakan untuk memantau kondisi suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman hidroponik secara *real-time*. Data hasil pengukuran diterima oleh mikrokontroler ESP32 sebagai dasar dalam proses pengendalian aktuator, seperti kipas, *misting system*, maupun *heater*, sehingga kondisi lingkungan dapat dipertahankan pada rentang optimum sesuai kebutuhan tanaman. Selain digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, data hasil pembacaan sensor juga dikirimkan melalui jaringan Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan budidaya menggunakan aplikasi pada *smartphone* secara *real-time*. Implementasi sensor DHT22 pada sistem hidroponik berbasis ESP32 telah diterapkan pada berbagai penelitian dan menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan hasil pengukuran yang stabil serta mendukung proses otomasi lingkungan budidaya secara efektif [5] [6].

2.2.10 Sensor TDS

Sensor Total Dissolved Solids (TDS) atau Electrical Conductivity (EC) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur konsentrasi zat padat terlarut (*Total Dissolved Solids*) maupun tingkat konduktivitas listrik (*Electrical Conductivity*) pada larutan nutrisi hidroponik. Nilai TDS dinyatakan dalam satuan *parts per million* (ppm), sedangkan nilai EC dinyatakan dalam satuan *milliSiemens per centimeter* (mS/cm). Kedua parameter tersebut digunakan sebagai indikator untuk mengetahui konsentrasi unsur hara yang terlarut di dalam air. Semakin tinggi kandungan ion dalam larutan, maka semakin besar pula nilai TDS maupun EC yang terukur. Oleh karena itu, sensor TDS/EC menjadi salah satu komponen penting dalam sistem hidroponik karena mampu memberikan informasi mengenai kecukupan nutrisi yang tersedia bagi tanaman secara *real-time* [14].

Pada penelitian ini digunakan Gravity Analog TDS Sensor yang dikembangkan oleh DFRobot. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pengukuran konduktivitas listrik larutan (*electrical conductivity*), kemudian mengonversinya

menjadi nilai TDS melalui proses perhitungan yang dilakukan oleh mikrokontroler. Sensor menghasilkan sinyal analog yang dibaca oleh pin *Analog to Digital Converter* (ADC) pada ESP32 sehingga dapat diolah menjadi informasi konsentrasi nutrisi larutan. Penggunaan sensor ini banyak diterapkan pada sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) karena memiliki tingkat stabilitas yang baik, proses kalibrasi yang relatif mudah, serta kompatibel dengan berbagai mikrokontroler [7].



Gambar 2. 3 Sensor TDS

Gambar 2.3 menunjukkan sensor TDS yang digunakan untuk mengukur konsentrasi zat terlarut pada larutan nutrisi hidroponik. Sensor terdiri atas probe yang berinteraksi langsung dengan larutan dan modul pengondisi sinyal yang menghasilkan keluaran analog. Nilai keluaran tersebut selanjutnya dibaca oleh ADC pada ESP32 dan diolah menjadi nilai Total Dissolved Solids (TDS) dalam satuan parts per million (ppm). Dengan demikian, sensor TDS dapat digunakan untuk mengetahui perubahan konsentrasi nutrisi selama sistem hidroponik beroperasi.

Tabel 2- 2 Spesifikasi Sensor TDS

Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	Gravity Analog TDS Sensor
Tegangan kerja	3,3–5,5 V DC
Tegangan keluaran	0–2,3 V (Analog)
Rentang pengukuran	0–1000 ppm

Akurasi	$\pm 10\%$ F.S. (25°C)
Waktu respons	≤ 500 ms
Suhu operasi	0–40°C
Interface	Analog
Kompatibilitas	ESP32, Arduino, Raspberry Pi

Berdasarkan Tabel 2-2, sensor TDS/EC mampu melakukan pengukuran konsentrasi zat terlarut pada rentang 0–1000 ppm dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 10\%$ F.S. pada suhu 25°C. Sensor menghasilkan sinyal analog yang selanjutnya dikonversi oleh ADC pada mikrokontroler menjadi data digital untuk dihitung sebagai nilai TDS. Selain memiliki konsumsi daya yang rendah, sensor ini juga mendukung kompensasi suhu sehingga hasil pengukuran menjadi lebih stabil pada berbagai kondisi lingkungan [14].

Dalam sistem *smart farming* hidroponik, sensor TDS/EC digunakan untuk memantau konsentrasi nutrisi larutan secara *real-time*. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan apakah konsentrasi nutrisi masih berada pada rentang optimum sesuai kebutuhan tanaman. Apabila nilai TDS berada di bawah batas minimum yang telah ditentukan, sistem akan mengaktifkan pompa nutrisi secara otomatis hingga konsentrasi larutan kembali mencapai nilai yang diinginkan. Selain digunakan sebagai dasar pengendalian otomatis, data hasil monitoring juga dikirimkan ke platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi nutrisi tanaman melalui aplikasi pada *smartphone* secara *real-time* [7] [5].

2.2.11 Sensor pH

Sensor pH merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan konsentrasi ion hidrogen (H^+). Dalam sistem hidroponik, nilai pH menjadi salah satu parameter penting karena berpengaruh langsung terhadap ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Nilai pH yang berada di luar kisaran optimum dapat menyebabkan beberapa unsur hara sulit diserap oleh tanaman sehingga menghambat proses pertumbuhan dan menurunkan produktivitas. Oleh karena itu, pemantauan pH secara *real-time* diperlukan agar kondisi larutan nutrisi tetap berada pada rentang yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman hidroponik [15].

Pada penelitian ini digunakan Gravity Analog pH Sensor yang dikembangkan oleh DFRobot. Sensor ini bekerja menggunakan elektroda pH (*pH electrode*) yang menghasilkan perbedaan potensial listrik sesuai dengan konsentrasi ion hidrogen dalam larutan. Tegangan keluaran dari elektroda kemudian diperkuat oleh modul pengondisi sinyal (*signal conditioning board*) sehingga dapat dibaca oleh pin *Analog to Digital Converter* (ADC) pada mikrokontroler ESP32. Hasil pembacaan selanjutnya dikonversi menjadi nilai pH menggunakan persamaan kalibrasi yang telah ditentukan. Sensor ini banyak digunakan pada sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) karena memiliki tingkat stabilitas yang baik, proses kalibrasi yang relatif mudah, serta kompatibel dengan berbagai platform mikrokontroler [6].



Gambar 2. 4 Sensor Ph

Gambar 2.4 menunjukkan sensor pH yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi hidroponik. Sensor pH terdiri atas elektroda yang berinteraksi dengan larutan dan modul pengondisi sinyal yang menghasilkan tegangan analog berdasarkan kondisi larutan yang diukur. Sinyal tersebut selanjutnya dibaca melalui ADC pada ESP32 dan dikonversi menjadi nilai pH berdasarkan persamaan kalibrasi yang diterapkan pada program. Penggunaan sensor ini memungkinkan perubahan pH larutan nutrisi dipantau selama proses pengujian sistem.

Tabel 2- 3 Spesifikasi Sensor pH

Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	Gravity Analog pH Sensor Meter Kit V2
Tegangan kerja	3,3–5,5 V DC
Tegangan keluaran	0–3,0 V (Analog)
Rentang pengukuran	pH 0–14
Akurasi	$\pm 0,1$ pH (25°C)
Waktu respons	≤ 1 menit
Suhu operasi	0–60°C
Interface	Analog
Kompatibilitas	ESP32, Arduino, Raspberry Pi

Berdasarkan Tabel 2.3, sensor pH mampu mengukur tingkat keasaman larutan pada rentang pH 0 hingga pH 14 dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,1$ pH pada suhu 25°C. Sensor menghasilkan sinyal analog yang diproses oleh ADC pada ESP32 untuk memperoleh nilai pH secara digital. Sebelum digunakan, sensor memerlukan proses kalibrasi menggunakan larutan buffer standar agar hasil pengukuran memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang baik. Dengan karakteristik tersebut, sensor pH sangat sesuai digunakan pada sistem monitoring kualitas larutan nutrisi hidroponik [15].

Dalam penelitian ini, sensor pH digunakan untuk memantau tingkat keasaman larutan nutrisi secara *real-time*. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses pengendalian otomatis. Apabila nilai pH berada di luar rentang optimum, sistem dapat mengaktifkan pompa penambah larutan *pH Up* maupun *pH Down* hingga nilai pH kembali sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu, data hasil monitoring dikirimkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau kondisi larutan nutrisi melalui aplikasi pada *smartphone* secara *real-time* [6] [5].

2.2.12 Real Time Clock (RTC) DS3231

Real Time Clock (RTC) merupakan suatu modul pewaktu (*timekeeping device*) yang berfungsi untuk menyimpan serta mempertahankan informasi waktu dan tanggal secara akurat, meskipun sistem utama berada dalam kondisi mati atau kehilangan catu daya. Berbeda dengan pewaktu yang berasal dari mikrokontroler, RTC dilengkapi dengan sumber daya cadangan berupa baterai (*backup battery*)

sehingga data waktu tetap tersimpan dan berjalan secara kontinu. Oleh karena itu, RTC banyak digunakan pada sistem tertanam (*embedded system*) yang memerlukan informasi waktu secara presisi, seperti sistem pencatatan data (*data logging*), sistem penjadwalan, otomatisasi, serta aplikasi Internet of Things (IoT) [16].

Salah satu modul RTC yang banyak digunakan adalah DS3231. Modul ini merupakan RTC berpresisi tinggi yang telah dilengkapi dengan Temperature-Compensated Crystal Oscillator (TCXO) dan kristal osilator internal sehingga memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan RTC konvensional, seperti DS1307. Komunikasi antara DS3231 dengan mikrokontroler dilakukan menggunakan protokol Inter-Integrated Circuit (I²C), sehingga hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yaitu Serial Data (SDA) dan Serial Clock (SCL). Selain itu, DS3231 juga menyediakan fitur alarm, keluaran gelombang kotak (*square wave output*), serta sensor suhu internal yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan sistem kendali maupun monitoring [16].



Gambar 2. 5 Real Time Clock (RTC) DS3231

Gambar 2.5 menunjukkan modul Real Time Clock (RTC) DS3231 yang digunakan sebagai perangkat pencatat waktu pada sistem. Modul ini dilengkapi rangkaian pewaktu dan baterai cadangan yang memungkinkan informasi waktu tetap tersimpan ketika catu daya utama terputus. Komunikasi RTC DS3231 dengan ESP32 dilakukan melalui protokol I²C menggunakan jalur SDA dan SCL. Pada penelitian ini, informasi waktu dari RTC digunakan sebagai timestamp pada data hasil monitoring sehingga setiap hasil pengukuran dapat diketahui waktu pencatatannya.

Tabel 2- 4 Spesifikasi RTC DS3231

Parameter	Spesifikasi
IC RTC	DS3231
Tegangan kerja	2,3–5,5 V DC
Antarmuka komunikasi	I ² C (SDA, SCL)
Akurasi waktu	± 2 ppm (0°C–40°C)
Akurasi tahunan	± 1 menit/tahun
Fitur alarm	2 Alarm
Sensor suhu internal	Ya
Rentang suhu operasi	-40°C hingga 85°C
Baterai cadangan	CR2032 (3 V)
Keluaran Square Wave	1 Hz, 1,024 kHz, 4,096 kHz, 8,192 kHz

Berdasarkan Tabel 2.4, DS3231 memiliki tingkat akurasi waktu hingga ± 2 ppm pada rentang suhu 0°C hingga 40°C, sehingga penyimpangan waktu yang terjadi relatif kecil, yaitu sekitar ± 1 menit per tahun. Keunggulan tersebut diperoleh karena DS3231 menggunakan teknologi Temperature-Compensated Crystal Oscillator (TCXO) yang secara otomatis mengoreksi perubahan frekuensi akibat fluktuasi suhu lingkungan. Selain itu, keberadaan baterai cadangan memungkinkan modul tetap mempertahankan data waktu meskipun catu daya utama terputus [16].

Pada penelitian ini, modul RTC DS3231 digunakan untuk menyediakan informasi waktu secara *real-time* yang dimanfaatkan dalam proses pencatatan data hasil monitoring sistem hidroponik. Informasi waktu yang dihasilkan meliputi tanggal, jam, menit, dan detik, sehingga setiap data hasil pembacaan sensor suhu, kelembaban, pH, maupun nutrisi dapat disimpan dengan penanda waktu (*timestamp*) yang akurat. Dengan demikian, data historis sistem dapat dianalisis untuk mengetahui perubahan kondisi lingkungan budidaya selama periode pengamatan.

2.2.13 Aktuator

Aktuator merupakan perangkat keluaran (*output device*) yang berfungsi mengubah sinyal kendali dari mikrokontroler menjadi suatu aksi fisik pada sistem. Dalam sistem otomasi, aktuator berperan sebagai komponen yang mengeksekusi

keputusan pengendalian berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Mikrokontroler akan memproses informasi mengenai kondisi lingkungan, kemudian mengirimkan sinyal ke aktuator untuk melakukan tindakan tertentu sehingga parameter sistem dapat dipertahankan sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan (*setpoint*). Oleh karena itu, aktuator menjadi komponen utama dalam mewujudkan sistem kendali otomatis pada berbagai aplikasi Internet of Things (IoT), termasuk pada sistem *smart farming* hidroponik [17].

Pada sistem *smart farming* hidroponik, aktuator digunakan untuk mengendalikan kondisi lingkungan budidaya secara otomatis berdasarkan hasil pembacaan sensor. Pengoperasian aktuator dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 melalui modul relay sebagai sakelar elektronik yang menghubungkan maupun memutus catu daya ke perangkat aktuator. Dengan mekanisme tersebut, sistem mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara cepat tanpa memerlukan intervensi pengguna, sehingga proses budidaya menjadi lebih efisien dan stabil [17].

Tabel 2- 5 Aktuator pada Sistem Smart Farming Hidroponik

Aktuator	Fungsi
Pompa air	Mensirkulasikan larutan nutrisi ke instalasi hidroponik.
Pompa nutrisi	Menambahkan larutan nutrisi apabila nilai TDS/EC berada di bawah batas yang telah ditentukan.
Kipas DC	Menurunkan suhu udara di sekitar tanaman apabila suhu melebihi nilai <i>setpoint</i> .
Humidifier (Mist Maker)	Meningkatkan kelembaban udara ketika kelembaban berada di bawah rentang optimum.

Berdasarkan Tabel 2.5, setiap aktuator memiliki fungsi yang berbeda sesuai dengan parameter yang dikendalikan. Pompa air berfungsi menjaga sirkulasi larutan nutrisi agar tetap mengalir menuju akar tanaman, sedangkan pompa nutrisi digunakan untuk menambahkan larutan nutrisi secara otomatis ketika konsentrasi nutrisi mengalami penurunan. Sementara itu, kipas DC dimanfaatkan untuk membantu menurunkan suhu lingkungan budidaya, sedangkan *humidifier* menghasilkan kabut air (*water mist*) untuk meningkatkan kelembaban udara

sehingga kondisi iklim tetap berada pada rentang yang optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Dalam penelitian ini, seluruh aktuator dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 berdasarkan data yang diperoleh dari sensor suhu, kelembaban, pH, dan TDS/EC. Apabila hasil pembacaan sensor menunjukkan nilai yang berada di luar batas *setpoint*, ESP32 akan mengaktifkan aktuator yang sesuai melalui modul relay hingga parameter lingkungan kembali berada pada kondisi optimum. Selain melakukan pengendalian otomatis, status aktuator juga ditampilkan melalui platform Internet of Things (IoT) sehingga pengguna dapat memantau proses kerja sistem secara *real-time* melalui aplikasi pada *smartphone* [17].

2.2.14 Modul MP1584 DC-DC Step-Down Converter

Modul MP1584 merupakan modul DC-DC step-down converter (buck converter) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan (*input voltage*) menjadi tegangan keluaran (*output voltage*) yang lebih rendah dengan efisiensi konversi yang tinggi. Modul ini menggunakan IC MP1584EN sebagai pengendali utama yang bekerja berdasarkan teknik *switching regulator*, sehingga memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan regulator linier karena daya yang hilang dalam bentuk panas relatif kecil. Oleh karena itu, MP1584 banyak digunakan sebagai catu daya pada sistem elektronika dan Internet of Things (IoT) yang memerlukan tegangan stabil dengan konsumsi daya yang efisien.

IC MP1584EN mampu menerima tegangan masukan pada rentang 4,5 V hingga 28 V dan menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diatur mulai dari 0,8 V hingga 25 V dengan arus keluaran maksimum mencapai 3 A. Selain itu, MP1584 bekerja pada frekuensi pensaklaran hingga 1,5 MHz, sehingga memungkinkan penggunaan komponen induktor dan kapasitor berukuran lebih kecil tanpa mengurangi performa regulator. Modul ini juga telah dilengkapi dengan berbagai fitur proteksi, seperti **over-current protection**, **thermal shutdown**, dan **under-voltage lockout**, sehingga mampu meningkatkan keandalan sistem selama proses operasi.



Gambar 2. 6 Modul MP1584 DC-DC Step-Down Converter

Gambar 2.6 menunjukkan modul MP1584 DC-DC Step-Down Converter yang digunakan untuk menyesuaikan tegangan sumber dengan tegangan kerja rangkaian. Modul ini bekerja sebagai buck converter dengan menurunkan tegangan DC masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah. Tegangan keluaran dapat disesuaikan melalui pengaturan pada modul sehingga dapat digunakan untuk menyediakan tegangan yang sesuai bagi perangkat elektronik dalam sistem. Penggunaan modul MP1584 membantu menyediakan suplai tegangan yang sesuai untuk mendukung kestabilan kerja rangkaian.

Tabel 2- 6 Spesifikasi Modul MP1584

Parameter	Spesifikasi
IC Utama	MP1584EN
Jenis Konverter	DC-DC Buck Converter
Tegangan masukan	4,5–28 V DC
Tegangan keluaran	0,8–25 V DC (Adjustable)
Arus keluaran maksimum	3 A
Frekuensi switching	1,5 MHz
Efisiensi konversi	Hingga 96%
Proteksi	Over Current, Thermal Shutdown, UVLO
Tipe keluaran	Adjustable

Berdasarkan Tabel 2.6, modul MP1584 memiliki kemampuan menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dengan efisiensi konversi mencapai sekitar **96%**, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai regulator catu daya pada

perangkat berbasis mikrokontroler. Frekuensi pensaklaran yang tinggi memungkinkan ukuran rangkaian menjadi lebih ringkas, sedangkan fitur proteksi yang terintegrasi mampu menjaga modul dari kerusakan akibat arus berlebih maupun suhu operasi yang terlalu tinggi .

Pada penelitian ini, modul MP1584 digunakan sebagai **penurun tegangan** untuk menyediakan catu daya yang sesuai bagi komponen elektronika pada sistem *smart farming* hidroponik. Tegangan dari sumber daya diturunkan menjadi tegangan kerja yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ESP32 maupun perangkat pendukung lainnya sehingga seluruh komponen dapat beroperasi secara stabil. Penggunaan modul MP1584 dipilih karena memiliki ukuran yang kompak, efisiensi tinggi, serta mampu menghasilkan tegangan keluaran yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

2.2.15 Relay 2 Channel

Relay merupakan komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai sakelar elektronik (*electrically operated switch*) untuk menghubungkan maupun memutuskan aliran listrik pada suatu beban berdasarkan sinyal kendali dari mikrokontroler. Dalam sistem otomatis, relay digunakan sebagai antarmuka antara rangkaian kendali bertegangan rendah dengan perangkat yang membutuhkan arus atau tegangan lebih besar. Dengan demikian, mikrokontroler tidak terhubung langsung dengan beban sehingga keamanan dan keandalan sistem dapat ditingkatkan.

Pada penelitian ini digunakan modul Relay 2 Channel 5 V sebagai media penghubung antara mikrokontroler ESP32 dengan aktuator. Modul relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, yaitu kumparan (*coil*) akan menghasilkan medan magnet ketika diberi tegangan sehingga kontak relay berpindah dari kondisi Normally Open (NO) atau Normally Closed (NC) sesuai dengan logika kendali yang diberikan. Setiap kanal relay dapat dikendalikan secara independen melalui pin digital ESP32 sehingga memungkinkan pengoperasian lebih dari satu aktuator secara otomatis.



Gambar 2. 7 Modul Relay 2 Channel

Gambar 2.7 menunjukkan modul Relay 2 Channel yang dapat digunakan sebagai sakelar elektronik untuk menghubungkan atau memutus suplai daya menuju beban berdasarkan sinyal kendali. Modul ini memiliki dua kanal yang dapat dikendalikan secara independen serta menyediakan terminal Normally Open (NO), Normally Closed (NC), dan Common (COM). Dengan konfigurasi tersebut, relay dapat menjadi antarmuka antara sinyal kendali mikrokontroler dan perangkat keluaran yang memiliki kebutuhan daya lebih besar dibandingkan kemampuan keluaran pin GPIO.

Tabel 2- 7 Spesifikasi Relay 2 Channel

Parameter	Spesifikasi
Tegangan kerja	5 V DC
Jumlah kanal	2 Channel
Tipe relay	SRD-05VDC-SL-C
Arus maksimum	10 A
Tegangan AC maksimum	250 VAC
Tegangan DC maksimum	30 VDC
Tipe kontrol	Digital (TTL)
Kontak relay	NO, NC, COM

Berdasarkan Tabel 2.7, modul Relay 2 Channel mampu mengendalikan dua beban listrik secara terpisah dengan kapasitas arus maksimum 10 A. Setiap kanal memiliki terminal Normally Open (NO), Normally Closed (NC), dan Common

(COM) yang memberikan fleksibilitas dalam proses perancangan rangkaian kendali.

Pada penelitian ini, kanal pertama relay digunakan untuk mengendalikan pompa air, sedangkan kanal kedua digunakan untuk mengendalikan kipas DC. Mikrokontroler ESP32 akan mengaktifkan atau menonaktifkan kedua aktuator tersebut berdasarkan hasil pembacaan sensor suhu, kelembaban, pH, dan TDS/EC. Ketika parameter lingkungan berada di luar nilai *setpoint*, ESP32 akan mengirimkan sinyal digital ke relay sehingga pompa atau kipas dapat bekerja secara otomatis untuk mengembalikan kondisi lingkungan ke rentang yang optimal.

2.2.16 Pompa Air DC

Pompa air DC merupakan aktuator yang berfungsi untuk mengalirkan cairan menggunakan motor arus searah (*Direct Current*). Pada sistem hidroponik, pompa air digunakan untuk mensirkulasikan larutan nutrisi menuju akar tanaman sehingga distribusi unsur hara berlangsung secara merata. Penggunaan pompa DC banyak diterapkan pada sistem hidroponik otomatis karena memiliki ukuran yang ringkas, konsumsi daya relatif rendah, serta mudah dikendalikan menggunakan relay maupun MOSFET .



Gambar 2. 8 Pompa Air

Gambar 2.8 menunjukkan pompa air DC yang digunakan untuk menghasilkan aliran air pada sistem hidroponik. Pompa bekerja menggunakan sumber tegangan DC dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanis untuk menggerakkan aliran air. Dalam sistem hidroponik, pompa dapat digunakan untuk membantu proses sirkulasi maupun mengalirkan air menuju bagian instalasi yang

membutuhkan suplai cairan. Pengoperasian pompa dapat dikendalikan melalui rangkaian driver sehingga ESP32 dapat mengatur kondisi aktif dan tidak aktif sesuai dengan logika program yang diterapkan.

Tabel 2- 8 Spesifikasi Pompa Air DC

Parameter	Spesifikasi
Tegangan kerja	12 V DC
Daya	5 W
Arus kerja	≤ 420 mA
Debit maksimum	240 L/jam
Tinggi angkat maksimum	3 m
Jenis motor	Brushless DC

Dalam penelitian ini pompa air digunakan untuk mensirkulasikan larutan nutrisi pada instalasi hidroponik secara otomatis sehingga akar tanaman memperoleh suplai nutrisi secara kontinu.

2.2.17 Kipas DC

Kipas DC merupakan perangkat aktuator yang digunakan untuk menghasilkan aliran udara melalui putaran motor arus searah. Pada sistem *smart farming*, kipas berfungsi menurunkan suhu lingkungan budidaya serta meningkatkan sirkulasi udara di sekitar tanaman. Pengendalian kipas secara otomatis dapat membantu mempertahankan suhu lingkungan pada kisaran optimum sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.



Gambar 2. 9 Kipas DC 12 V

Gambar 2.9 menunjukkan kipas DC 12 V yang digunakan sebagai salah satu aktuator pada sistem. Kipas menghasilkan aliran udara melalui putaran motor DC sehingga dapat membantu meningkatkan sirkulasi udara di sekitar instalasi hidroponik. Pengoperasian kipas dikendalikan oleh ESP32 melalui rangkaian driver berdasarkan hasil pembacaan suhu dan kondisi yang telah ditentukan pada program. Dengan mekanisme tersebut, kipas dapat beroperasi sesuai dengan perubahan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sistem.

Tabel 2- 9 Spesifikasi Kipas DC

Parameter	Spesifikasi
Tegangan kerja	12 V DC
Arus kerja	0,18 A
Daya	2,16 W
Kecepatan putar	2500 RPM
Ukuran	80 × 80 × 25 mm
Jenis motor	Brushless DC

Pada penelitian ini kipas DC dikendalikan oleh ESP32 melalui relay. Kipas akan aktif secara otomatis ketika sensor mendeteksi suhu lingkungan melebihi nilai *setpoint*, sehingga suhu di sekitar tanaman dapat dipertahankan pada kondisi yang optimum.

2.2.18 Misting Nozzle

Misting nozzle merupakan komponen mekanis yang berfungsi mengubah aliran air bertekanan menjadi butiran-butiran air berukuran sangat kecil (*fine mist*). Penyemprotan kabut halus tersebut bertujuan untuk meningkatkan kelembaban udara di sekitar tanaman sekaligus membantu menurunkan suhu lingkungan melalui proses pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*). Teknologi *misting* banyak diterapkan pada sistem pertanian modern, rumah kaca (*greenhouse*), serta sistem *smart farming* karena mampu menciptakan kondisi iklimat yang lebih stabil dan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman .

Prinsip kerja *misting nozzle* didasarkan pada tekanan air yang dihasilkan oleh pompa. Air bertekanan dialirkan menuju nozzle yang memiliki lubang keluaran berdiameter sangat kecil, sehingga air teratomisasi menjadi kabut (*mist*). Semakin tinggi tekanan air yang diberikan, maka ukuran droplet yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga proses penguapan berlangsung lebih cepat. Proses tersebut mampu meningkatkan kelembaban udara tanpa menyebabkan genangan air yang berlebihan pada media tanam maupun daun tanaman.



Gambar 2. 10 Misting Nozzle

Gambar 2.10 menunjukkan misting nozzle yang digunakan untuk menghasilkan semprotan air dalam bentuk butiran halus atau kabut. Air yang dialirkan dengan tekanan tertentu melewati lubang kecil pada nozzle sehingga menghasilkan butiran air berukuran lebih kecil dan tersebar di sekitar tanaman. Pada sistem yang dirancang, misting nozzle digunakan sebagai bagian dari mekanisme penyemprotan untuk membantu meningkatkan kelembapan udara di sekitar instalasi hidroponik ketika kondisi yang ditentukan pada program terpenuhi.

Tabel 2- 10 Spesifikasi Misting Nozzle

Parameter	Spesifikasi
Material	Stainless Steel / Brass
Diameter orifice	0,2 mm
Tekanan kerja	2–8 bar
Debit air	0,04–0,10 L/menit
Sudut semprot	80°
Ukuran konektor	10/24 UNC
Media kerja	Air bersih

Berdasarkan Tabel 2.10, *misting nozzle* mampu menghasilkan kabut air dengan ukuran droplet yang sangat halus sehingga proses evaporasi berlangsung secara efektif. Penggunaan nozzle berdiameter kecil memungkinkan distribusi air menjadi lebih merata dengan konsumsi air yang relatif rendah. Karakteristik tersebut menjadikan *misting nozzle* sesuai diterapkan pada sistem hidroponik maupun *greenhouse* yang memerlukan pengaturan kelembaban udara secara efisien.

Pada penelitian ini, *misting nozzle* digunakan sebagai aktuator untuk meningkatkan kelembaban udara di sekitar tanaman hidroponik. Nozzle memperoleh suplai air dari pompa DC yang dikendalikan oleh relay dan mikrokontroler ESP32. Ketika sensor DHT22 mendeteksi bahwa kelembaban udara berada di bawah nilai *setpoint*, ESP32 akan mengaktifkan pompa sehingga air dialirkan menuju *misting nozzle* dan disemprotkan dalam bentuk kabut halus. Setelah kelembaban udara kembali berada pada rentang yang telah ditentukan, pompa akan dimatikan secara otomatis sehingga kondisi lingkungan budidaya tetap stabil dan penggunaan air menjadi lebih efisien.

2.2.19 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan layanan pengolah data berbasis *cloud* yang dikembangkan oleh Google untuk membuat, menyimpan, mengelola, dan membagikan data dalam bentuk lembar kerja secara daring. Berbeda dengan perangkat lunak spreadsheet konvensional yang menyimpan data secara lokal, Google Spreadsheet memungkinkan data disimpan pada server *cloud* sehingga dapat diakses dari berbagai perangkat yang terhubung ke internet. Selain mendukung pengolahan data, platform ini juga menyediakan fitur kolaborasi secara langsung (*real-time*), sehingga beberapa pengguna dapat mengakses dan memperbarui data yang sama secara bersamaan.

Selain berfungsi sebagai media penyimpanan data historis, Google Spreadsheet juga memungkinkan pengguna melakukan analisis terhadap perubahan kondisi lingkungan hidroponik dari waktu ke waktu. Dengan demikian, pengguna tidak hanya memperoleh informasi kondisi tanaman secara *real-time* melalui

aplikasi Blynk, tetapi juga memiliki rekaman data historis untuk evaluasi kinerja sistem.

Pada sistem yang dikembangkan, aplikasi Blynk berperan sebagai antarmuka untuk menampilkan kondisi suhu, kelembapan, pH, dan nutrisi (TDS) larutan hidroponik secara real-time, sedangkan Google Spreadsheet berfungsi sebagai media penyimpanan data hasil monitoring secara berkelanjutan. Integrasi kedua platform tersebut memungkinkan sistem melakukan pemantauan langsung sekaligus menyediakan data historis untuk evaluasi pertumbuhan tanaman.



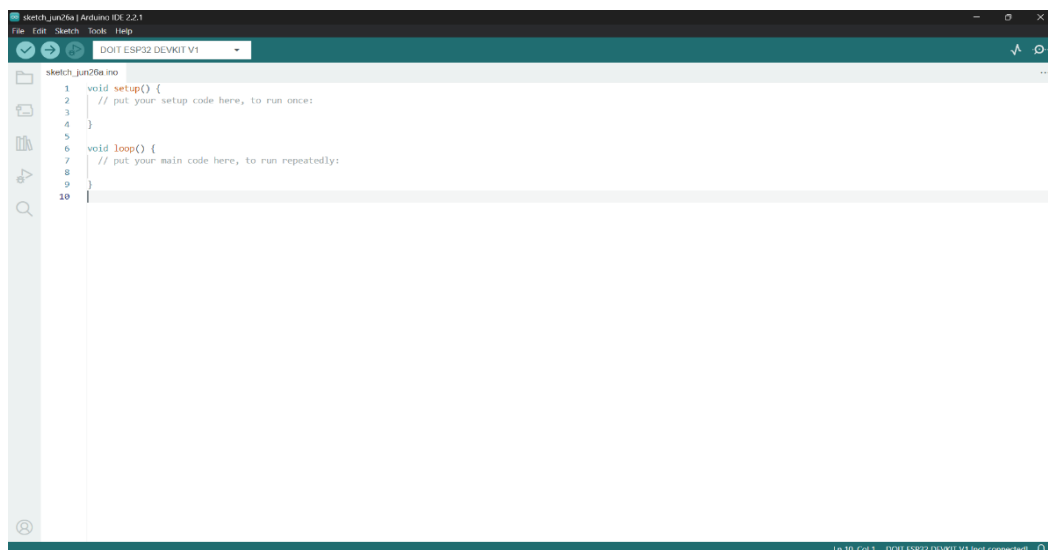
Gambar 2. 11 Google Spreadsheet

2.2.20 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai media pengembangan untuk mendukung proses pemrograman pada mikrokontroler berbasis platform Arduino. Perangkat lunak ini dirancang dengan antarmuka yang sederhana, mudah dipahami, dan bersifat intuitif sehingga dapat digunakan oleh pengguna dari berbagai tingkat kemampuan, baik untuk keperluan pembelajaran maupun pengembangan sistem tertanam (*embedded system*). Melalui Arduino IDE, pengguna dapat melakukan proses penulisan kode program, penyuntingan, kompilasi, hingga mengunggah (*upload*) program atau *sketch* ke papan mikrokontroler dengan mudah dan efisien.

Bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE mengacu pada bahasa C/C++ yang telah disederhanakan sehingga proses pengembangan program menjadi lebih mudah dipahami dan terstruktur. Selain mendukung berbagai jenis papan mikrokontroler Arduino, seperti Arduino Uno, Arduino Mega, dan Arduino Nano, Arduino IDE juga kompatibel dengan berbagai papan mikrokontroler lainnya, termasuk ESP32. Dukungan tersebut dapat diperoleh dengan

menambahkan konfigurasi papan melalui Board Manager serta menginstal pustaka (*library*) yang diperlukan. Dengan demikian, ESP32 dapat diprogram secara langsung menggunakan Arduino IDE. Oleh karena itu, Arduino IDE banyak dimanfaatkan sebagai salah satu perangkat lunak utama dalam pengembangan aplikasi berbasis mikrokontroler, khususnya pada sistem monitoring, otomasi, dan berbagai aplikasi berbasis Internet of Things (IoT).



Gambar 2. 12 Bagian Bagian Arduino IDE

Gambar 2.12 memperlihatkan tampilan awal aplikasi Arduino IDE saat pertama kali dijalankan. Secara umum, Arduino IDE memiliki beberapa bagian utama yang berfungsi untuk mendukung seluruh proses pengembangan program mikrokontroler. Bagian yang paling sering digunakan adalah area kerja (*workspace*), yaitu ruang yang digunakan sebagai tempat untuk menulis, mengedit, dan menyusun kode program (*sketch*) yang akan diunggah ke papan mikrokontroler.

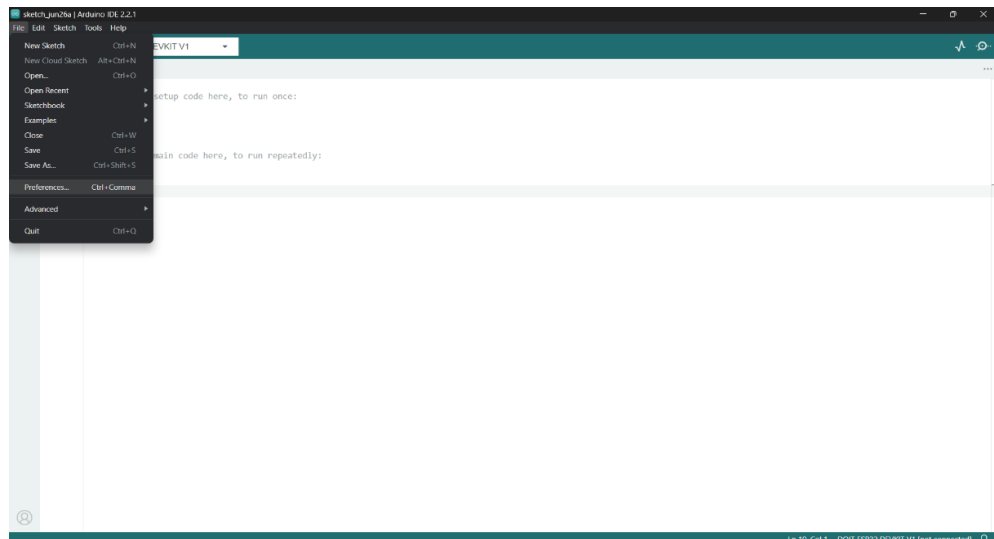
Pada bagian atas jendela aplikasi terdapat menu bar yang terdiri atas beberapa menu, yaitu File, Edit, Sketch, Tools, dan Help. Menu File digunakan untuk mengelola berkas program, seperti membuat proyek baru, membuka *sketch* yang telah tersedia, serta menyimpan hasil pemrograman. Menu Edit berfungsi untuk melakukan pengolahan kode, misalnya menyalin, memotong, menempelkan, mencari, maupun menambahkan komentar pada program. Selanjutnya, menu

Sketch digunakan untuk melakukan proses kompilasi, mengunggah program ke mikrokontroler, serta mengelola pustaka (*library*) yang diperlukan selama proses pengembangan.

Sementara itu, menu Tools menyediakan berbagai konfigurasi yang berkaitan dengan perangkat keras, seperti pemilihan jenis papan mikrokontroler (*board*), pengaturan port komunikasi, pemilihan *programmer*, serta akses ke fitur pemantauan komunikasi serial. Adapun menu Help berisi dokumentasi, panduan penggunaan, serta berbagai referensi resmi yang dapat membantu pengguna dalam memahami fungsi dan penggunaan Arduino IDE secara lebih mendalam.

1. Membuka software Arduino IDE hingga tampilan awal muncul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.
2. Menambahkan board pada Arduino IDE

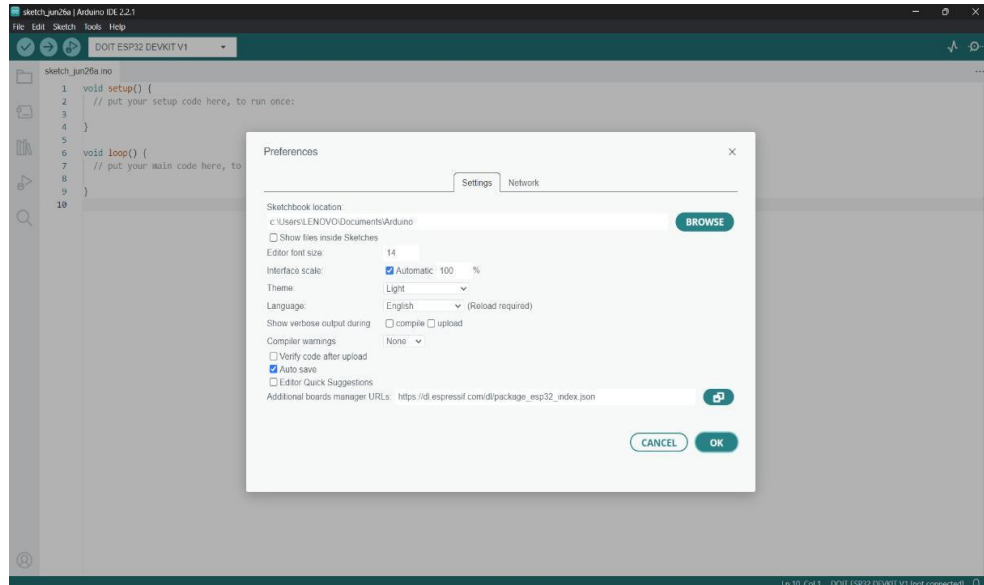
Untuk menambahkan jenis papan mikrokontroler yang belum tersedia secara bawaan di dalam Arduino IDE, pengguna dapat mengakses menu *File > Preferences* seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Tampilan Menu File

Pada jendela yang ditampilkan, pengguna dapat menambahkan URL repositori board pada kolom yang tersedia, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.12. Penambahan alamat repositori tersebut bertujuan agar Arduino IDE dapat mengunduh dan mengenali paket board tambahan sehingga

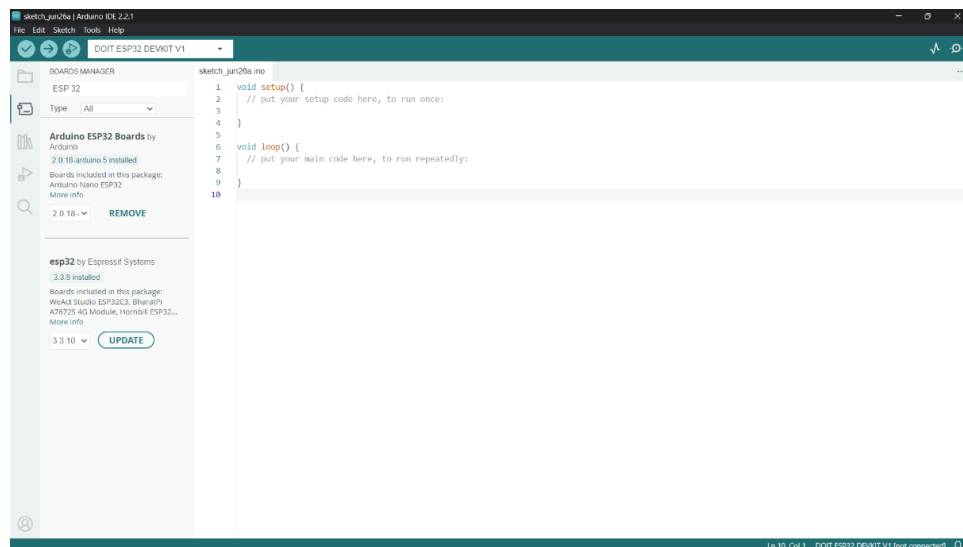
mendukung proses pemrograman berbagai jenis mikrokontroler, termasuk ESP32.



Gambar 2. 14 URL Box untuk Menambahkan *Board*

3. Menginstal *board* melalui *Board Manager*

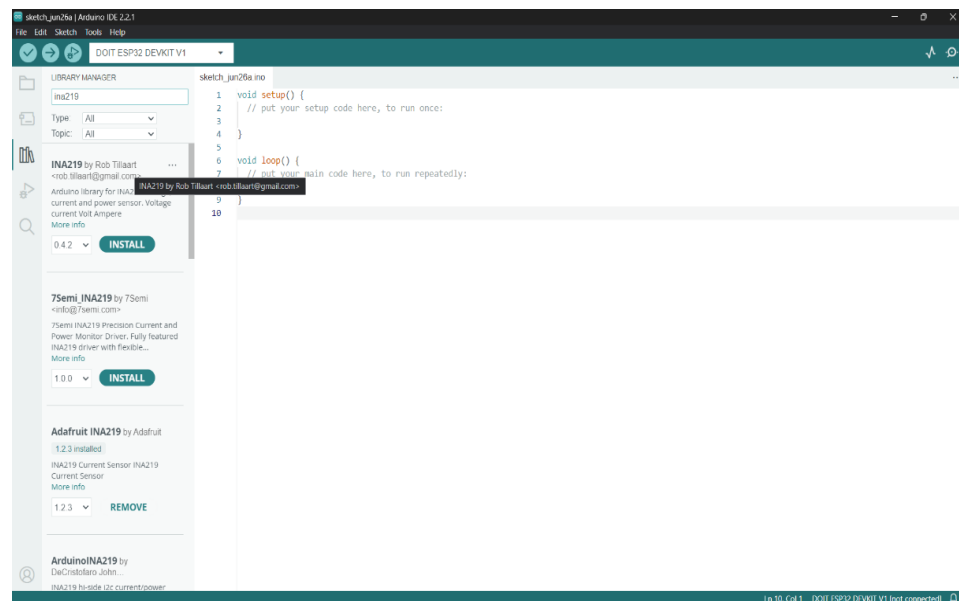
Setelah URL repositori berhasil ditambahkan, langkah berikutnya adalah mengunduh dan memasang jenis *board* yang akan digunakan melalui fitur Board Manager, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13. Fitur ini dapat diakses melalui menu Tools > Board > Board Manager. Pada jendela Board Manager, pengguna dapat mencari nama *board* yang diinginkan, misalnya ESP32 by Espressif Systems. Selanjutnya, pengguna cukup memilih paket tersebut dan menekan tombol Install agar proses pengunduhan serta instalasi *board* ke dalam Arduino IDE dapat dilakukan secara otomatis.



Gambar 2. 15 Tampilan *Board Manager*

4. Menginstal *Library*

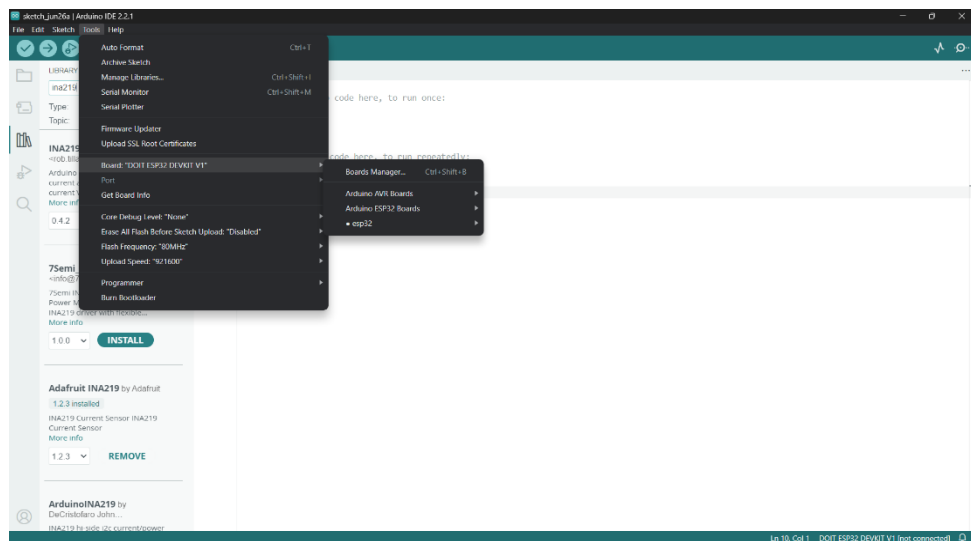
Agar seluruh fungsi dan periferal pada ESP32 dapat digunakan secara optimal, diperlukan penambahan pustaka (*library*) yang sesuai dengan kebutuhan pemrograman. Instalasi pustaka dilakukan melalui fitur Library Manager yang dapat diakses melalui menu Tools > Manage Libraries maupun Sketch > Include Library > Manage Libraries, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Melalui jendela Library Manager, pengguna dapat mencari, memilih, dan menginstal pustaka yang diperlukan sehingga fitur-fitur yang digunakan pada sistem dapat diimplementasikan dengan baik selama proses pemrograman.



Gambar 2. 16 Tampilan *Manage library*

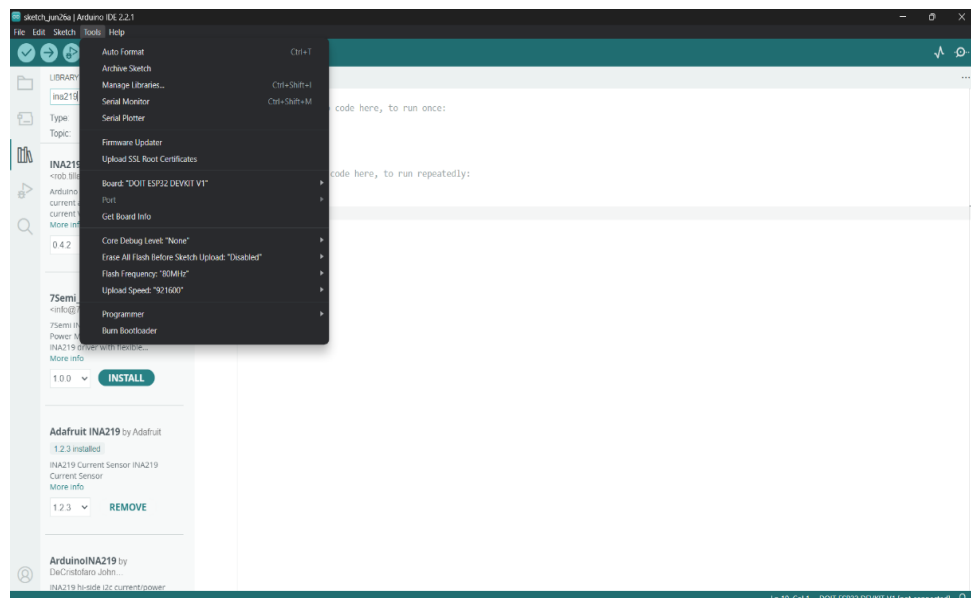
5. Memilih jenis *board* dan *port* yang digunakan

Sebelum memulai proses pemrograman, pengguna perlu terlebih dahulu memilih **jenis papan mikrokontroler (*board*)** serta ***port* komunikasi serial** yang akan digunakan. Pengaturan tersebut dilakukan melalui menu ***Tools > Board***, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.15. Tahap ini bertujuan agar Arduino IDE dapat mengenali jenis mikrokontroler yang digunakan sehingga proses kompilasi dan pengunggahan program (*upload*) dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2. 17 Tampilan Menu *Tools* untuk memilih *Board*

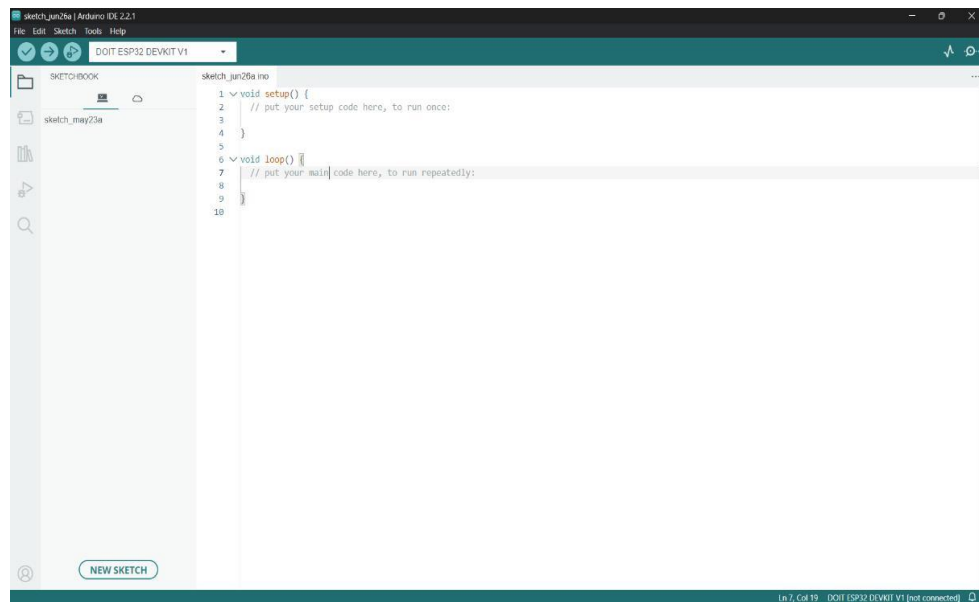
Selanjutnya, port komunikasi serial dapat dipilih melalui menu *Tools > Port*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.16. Pemilihan port yang sesuai merupakan langkah penting agar Arduino IDE dapat mengenali dan menjalin komunikasi dengan mikrokontroler yang terhubung ke komputer, sehingga proses pengunggahan program maupun komunikasi data dapat berlangsung dengan baik.



Gambar 2. 18 Tampilan Menu *Tools* untuk memilih *Port*

6. Menulis Program

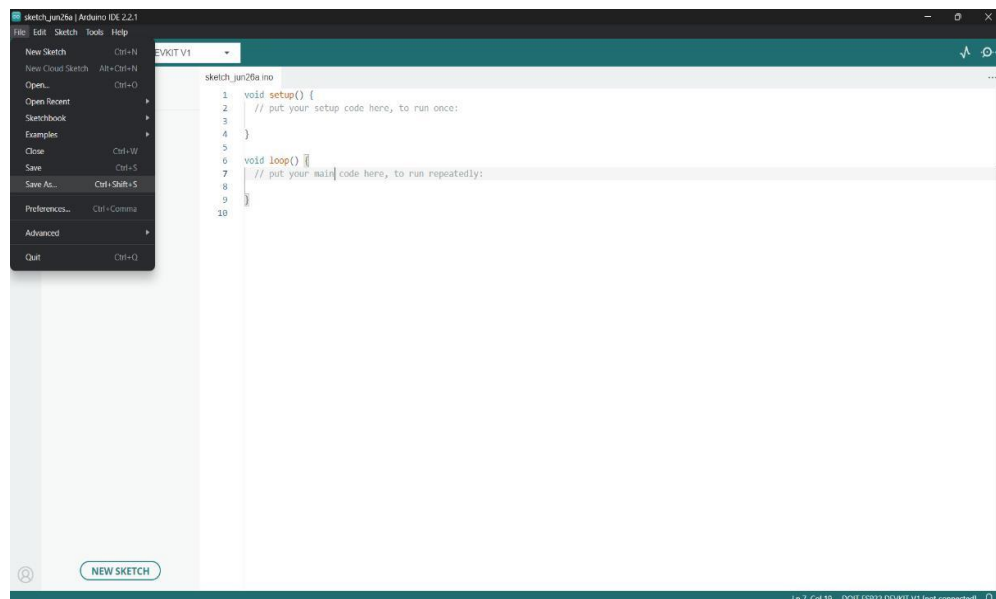
Setelah seluruh proses konfigurasi selesai dilakukan, pengguna dapat mulai menuliskan program atau *sketch* pada *editor* yang tersedia di Arduino IDE. Program yang dibuat berisi serangkaian instruksi atau logika yang akan dijalankan oleh mikrokontroler sesuai dengan fungsi sistem yang dirancang. Proses penulisan kode dilakukan pada area kerja (*editor*), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.17.



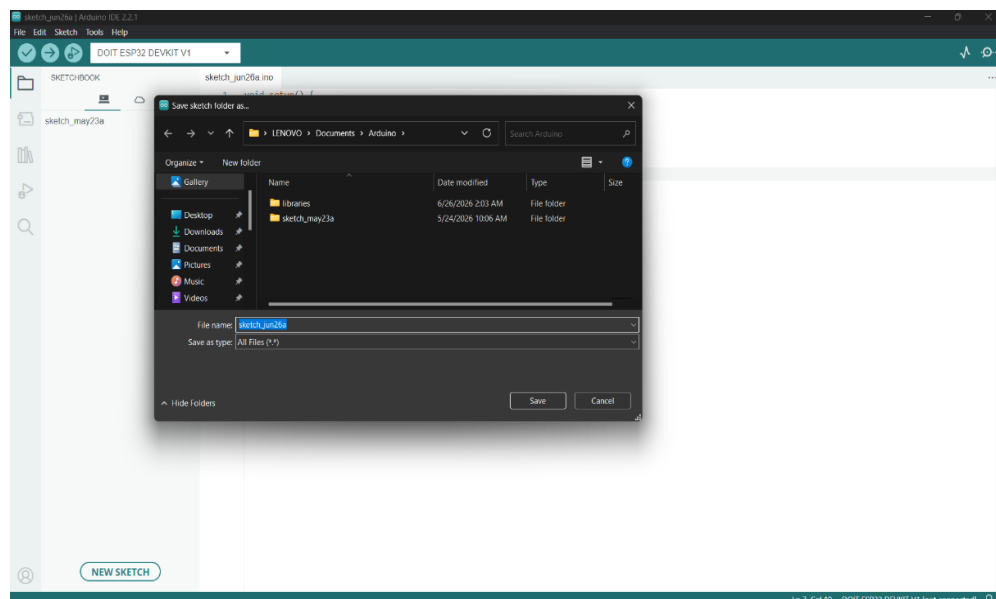
Gambar 2. 19 Area *Sketch* pada Arduino IDE

7. Menyimpan Program

Setelah proses penulisan program selesai, langkah berikutnya adalah menyimpan file *sketch* ke dalam media penyimpanan pada komputer. Penyimpanan program dapat dilakukan melalui menu **File > Save As**, sehingga pengguna dapat menentukan nama file serta lokasi penyimpanan sesuai kebutuhan. Tampilan menu **Save As** ditunjukkan pada Gambar 2.18. Program yang telah disimpan kemudian dapat digunakan untuk proses **verifikasi (Verify)** guna memeriksa adanya kesalahan pada kode sebelum diunggah ke papan mikrokontroler. Adapun tampilan jendela untuk menentukan lokasi penyimpanan file dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 20 Tampilan Menu *File* Untuk *Save Project*



Gambar 2. 21 Tampilan Menu untuk Menyimpan *Project* di *Computer*

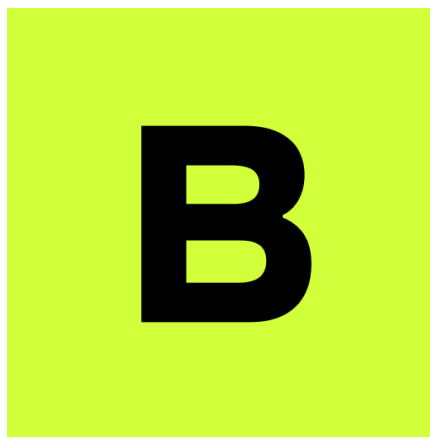
2.2.21 Blynk

Blynk merupakan sebuah platform Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk mengendalikan dan memonitoring perangkat keras secara jarak jauh melalui jaringan internet maupun intranet (jaringan LAN) [18]. Blynk menyediakan dashboard digital yang dapat diakses melalui aplikasi mobile maupun web,

sehingga pengguna dapat memantau data sensor dan mengendalikan aktuator dari jarak jauh menggunakan smartphone maupun komputer.

Blynk bekerja dengan menghubungkan mikrokontroler seperti ESP32 ke server Blynk melalui jaringan Wi-Fi menggunakan Auth Token sebagai identitas unik perangkat. Data yang dikirimkan oleh mikrokontroler disalurkan melalui virtual pin, yaitu kanal komunikasi yang digunakan untuk mengirim maupun menerima nilai antara perangkat keras dan aplikasi Blynk. Setiap parameter sensor dapat ditampilkan dalam bentuk widget, seperti gauge, value display, maupun grafik, yang dapat disusun secara langsung pada dashboard sesuai kebutuhan pengguna [19].

Pada penelitian ini, aplikasi Blynk digunakan sebagai media monitoring tambahan untuk menampilkan data suhu, kelembapan, pH, dan nutrisi (TDS) larutan hidroponik secara real-time. Data yang diperoleh dari pembacaan sensor dikirimkan oleh ESP32 melalui virtual pin menuju server Blynk, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan budidaya hidroponik kapan saja dan di mana saja melalui aplikasi mobile maupun console berbasis web, tanpa harus membuka Google Spreadsheet secara langsung.



Gambar 2. 22 Logo Aplikasi Blynk