

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Sistem Smart Hydroponic

Sistem hidroponik cerdas merupakan pengembangan dari sistem hidroponik konvensional yang mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengendalikan kondisi pertumbuhan tanaman secara real-time. Melalui penerapan teknologi IoT, sistem hidroponik cerdas memungkinkan pengumpulan data dari sensor dan penyajian informasi kondisi tanaman secara digital, sehingga pengguna dapat memantau keadaan tanaman dengan lebih mudah dan akurat.

Pada sistem hidroponik cerdas, beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan meliputi derajat keasaman (pH) larutan nutrisi, konsentrasi nutrisi atau *Total Dissolved Solids* (TDS), serta kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan udara. Parameter-parameter tersebut berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman hidroponik. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu membaca dan menampilkan nilai sensor secara berkelanjutan agar kondisi tanaman tetap berada pada rentang optimal [7].

2.1.2 Sistem Pertanian Hidroponik

Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman tanpa menggunakan media tanah, di mana akar tanaman tumbuh pada larutan nutrisi yang telah disesuaikan komposisinya. Pada sistem ini, unsur hara diberikan secara langsung melalui larutan nutrisi sehingga pengelolaan nutrisi tanaman dapat dilakukan secara lebih terkontrol. Penerapan hidroponik memungkinkan proses pemantauan kondisi nutrisi tanaman dilakukan dengan lebih baik dibandingkan metode pertanian konvensional.

Dalam sistem hidroponik *modern*, pengendalian kualitas larutan nutrisi menjadi faktor yang sangat penting terhadap pertumbuhan tanaman. Parameter utama yang perlu diperhatikan meliputi derajat keasaman (pH) dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Nilai pH berpengaruh terhadap kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara, sedangkan nilai TDS menunjukkan tingkat konsentrasi nutrisi terlarut dalam larutan. Ketidaksesuaian nilai pH dan TDS dapat menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman, sehingga diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi kondisi larutan nutrisi secara akurat dan berkelanjutan [8].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan penerapan sistem pemantauan hidroponik berbasis sensor yang terhubung dengan mikrokontroler dan aplikasi. Melalui sistem berbasis IoT, pemantauan pH dan TDS dapat dilakukan secara *real-time* dan jarak jauh menggunakan perangkat Android.

2.1.3 Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.)

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu jenis sayuran daun yang banyak dibudidayakan menggunakan sistem hidroponik karena memiliki siklus pertumbuhan yang relatif singkat, kebutuhan nutrisi yang mudah dikendalikan, serta memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi. Selain itu, budidaya selada secara hidroponik memungkinkan tanaman memperoleh unsur hara secara lebih optimal karena nutrisi diberikan langsung melalui larutan yang telah disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Oleh karena itu, selada menjadi salah satu komoditas yang sering digunakan dalam penelitian maupun pengembangan teknologi hidroponik modern [9].

Keberhasilan budidaya selada secara hidroponik sangat dipengaruhi oleh kualitas larutan nutrisi dan kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh. Parameter seperti derajat keasaman (pH), konsentrasi nutrisi terlarut (TDS), suhu, dan kelembapan udara harus dijaga pada rentang yang sesuai agar proses penyerapan unsur hara dapat berlangsung secara optimal. Nilai pH yang direkomendasikan untuk pertumbuhan selada berada pada kisaran 5,5–6,5, sedangkan konsentrasi nutrisi umumnya berkisar antara 560–840 ppm. Selain itu, suhu lingkungan yang ideal berada pada rentang 18–28°C dengan kelembapan relatif sekitar 60–80% [10].

Berdasarkan kondisi tersebut, pemantauan parameter pH, TDS, suhu, dan kelembapan secara berkala menjadi faktor penting dalam menjaga pertumbuhan tanaman selada. Oleh karena itu, penerapan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor pH, sensor TDS, dan sensor DHT11

dapat membantu pengguna memperoleh informasi kondisi tanaman secara real-time. Melalui sistem ini, perubahan kondisi larutan nutrisi maupun lingkungan dapat diketahui lebih cepat sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan untuk menjaga pertumbuhan tanaman tetap optimal [9],[10].



Gambar 2.1 Selada Hydroponic

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer berukuran kecil yang terintegrasi dalam satu chip (*Integrated Circuit/IC*), di mana di dalamnya telah terdapat inti prosesor, memori, serta perangkat *input* dan *output*. Mikrokontroler bekerja berdasarkan program yang ditanamkan oleh pengguna untuk menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem.

Mikrokontroler dirancang untuk menangani tugas-tugas spesifik dan tertanam (*embedded system*), sehingga banyak digunakan dalam sistem kontrol dan otomasi. Keunggulan mikrokontroler dibandingkan komputer konvensional terletak pada ukurannya yang kecil, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuannya untuk berinteraksi langsung dengan perangkat keras lain [11].



Gambar 2.2 Mikrokontroler

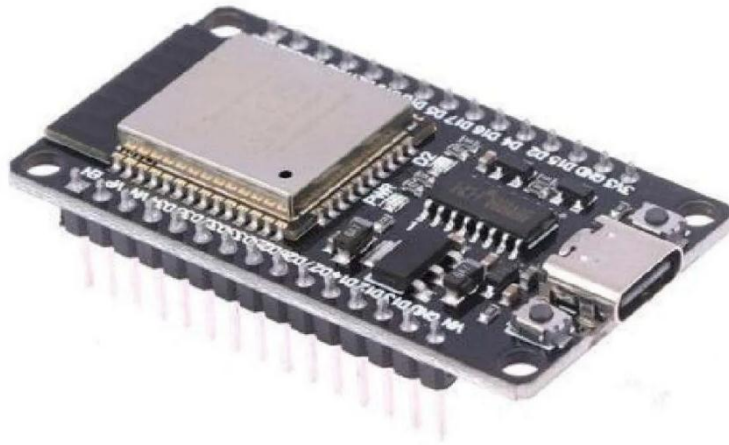
2.2.1 ESP32

ESP32 merupakan *microcontroller* generasi terbaru yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dikenal karena kemampuannya yang tinggi dengan konsumsi daya rendah. ESP32 memiliki prosesor dual-core 32-bit, konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* terintegrasi, serta dukungan untuk berbagai jenis sensor. Kombinasi ini menjadikan ESP32 sangat ideal untuk aplikasi IoT karena dapat melakukan *data acquisition*, *processing*, dan *wireless transmission* secara simultan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrokontroler ini mampu mengumpulkan data sensor secara stabil dan mentransfernya ke *cloud* dengan latensi rendah. Selain itu, ESP32 juga mendukung pemrograman berbasis Arduino IDE dan *MicroPython*, yang memudahkan integrasi dengan sensor pH, TDS, maupun DHT11.

Kelebihan lain ESP32 dibandingkan seri sebelumnya (misalnya ESP8266) adalah jumlah pin GPIO yang lebih banyak, kecepatan prosesor yang lebih tinggi,

serta kemampuan *multitasking*. Hal ini memungkinkan pengembangan sistem *Smart Hydroponic* yang mampu menjalankan beberapa fungsi sekaligus, seperti pengukuran, kontrol pompa, dan pengiriman data ke *platform* IoT dalam satu waktu [12].



Gambar 2.3 ESP32

2.3 Sensor

Sensor merupakan perangkat elektronika yang digunakan untuk mengenali perubahan kondisi fisik di lingkungan, seperti suhu, cahaya, jarak, dan kelembaban, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diolah oleh mikrokontroler. Dalam suatu sistem elektronik, sensor berfungsi sebagai elemen masukan yang memungkinkan sistem merespons kondisi lingkungan secara otomatis.

Pada sistem berbasis mikrokontroler, seperti Arduino dan ATmega, data yang dihasilkan sensor dapat berupa sinyal analog maupun digital yang selanjutnya diproses untuk menentukan respons atau tindakan tertentu. Misalnya

sensor suhu dan kelembaban digunakan untuk menjaga dan menjaga kondisi lingkungan, sensor cahaya (LDR) digunakan untuk mengukur intensitas cahaya, sedangkan sensor jarak dan inframerah berfungsi untuk mendeteksi keberadaan atau posisi suatu objek.

Penerapan sensor dalam sistem kontrol maupun media pembelajaran dapat membantu pengguna memahami konsep dasar *input–proses–output* secara lebih nyata. Melalui penggunaan sensor, peserta didik dapat mempelajari cara kerja sistem tertanam secara langsung, mulai dari pengambilan data lingkungan hingga pengendalian perangkat keluaran seperti LED, motor, atau aktuator lainnya [13].

2.3.1 Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi pada sistem hidroponik. Cara kerja sensor ini didasarkan pada perbedaan potensial listrik yang dihasilkan antara elektroda pengukur dan elektroda referensi ketika keduanya berada di dalam larutan. Perubahan nilai pH akan memengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sensor. Apabila nilai pH berada di luar rentang yang sesuai, proses penyerapan nutrisi oleh tanaman dapat terganggu sehingga berdampak pada pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan penelitian Rahajoeningroem *et al.*, penggunaan sensor pH digital yang terhubung dengan mikrokontroler mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat dibandingkan metode manual seperti kertas lakmus. Dalam sistem hidroponik berbasis IoT, sensor pH dihubungkan ke mikrokontroler



Gambar 2.4 Sensor pH (Potential of Hydrogen)

ESP32 melalui konverter analog-ke-digital (ADC), kemudian data pH diproses dan dikirimkan ke aplikasi pemantauan seperti *Blynk* secara *real-time*. Dengan sistem ini, nilai pH larutan nutrisi dapat dipantau dan dijaga agar tetap berada pada kondisi optimal sesuai kebutuhan tanaman [14].

2.3.2 Sensor TDS (Total Dissolved Solids)

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) digunakan untuk mengetahui tingkat kepekatan zat terlarut dalam larutan nutrisi pada sistem hidroponik. Nilai TDS menunjukkan jumlah nutrisi yang tersedia bagi tanaman, sehingga menjadi salah satu parameter penting dalam menjaga keseimbangan kebutuhan unsur hara. Apabila nilai TDS terlalu tinggi, tanaman dapat mengalami kelebihan nutrisi yang berdampak buruk pada pertumbuhan, sedangkan nilai TDS yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman kekurangan zat hara yang diperlukan untuk berkembang secara optimal.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rahajoeningroem *et al.*, sensor TDS dimanfaatkan untuk memantau konsentrasi nutrisi larutan hidroponik secara digital dan *real-time*. Sensor ini terhubung dengan mikrokontroler untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital yang kemudian dikirimkan ke sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT). Hasil pemantauan tersebut membantu pengguna dalam mengelola larutan nutrisi agar tetap berada pada rentang yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga proses pemeliharaan tanaman hidroponik dapat dilakukan secara lebih efektif dan terkontrol [15].



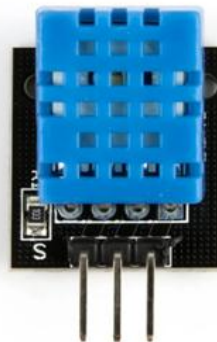
Gambar 2.5 Sensor TDS (Total Dissolved Solids)

2.3.3 Sensor DHT11 (Temperature and Humidity)

Sensor DHT11 merupakan sensor digital yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan elemen termistor sebagai pendeteksi suhu dan elemen kapasitif untuk mengukur kelembapan relatif udara. Data hasil pengukuran kemudian diolah secara internal dan dikirimkan dalam bentuk sinyal digital, sehingga memudahkan integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP32. Dalam sistem

hidroponik, parameter suhu dan kelembapan udara memiliki peranan penting karena berpengaruh langsung terhadap proses fotosintesis, laju transpirasi, serta pertumbuhan tanaman secara keseluruhan [16].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hanes et al. pada Jurnal INTRO (2024), sensor DHT11 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi non-industri, khususnya pada sistem pemantauan lingkungan berbasis mikrokontroler. Meskipun memiliki keterbatasan pada rentang pengukuran dan ketelitian dibandingkan sensor yang lebih canggih, DHT11 tetap banyak digunakan karena harganya yang ekonomis, kemudahan pemrograman, serta kestabilan data yang dihasilkan. Data suhu dan kelembapan dari sensor ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengendalian perangkat pendukung, seperti kipas pendingin atau sistem pengabut, guna menjaga kondisi lingkungan tetap optimal sesuai kebutuhan tanaman [16].



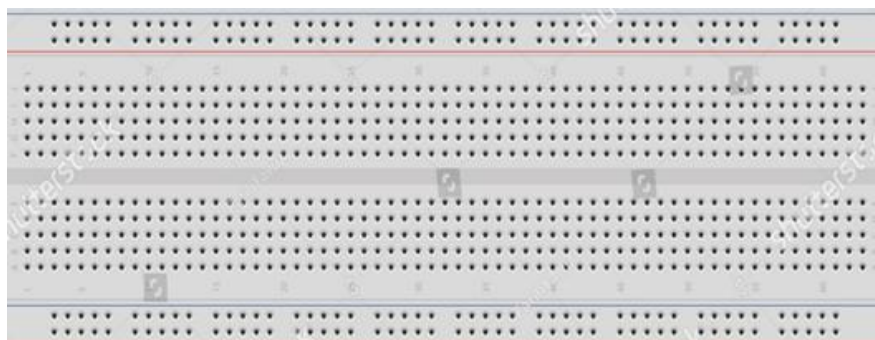
Gambar 2.6 DHT11 (Temperature and Humidity)

2.4 Breadboard

Breadboard merupakan papan *prototyping* tanpa solder yang digunakan untuk merangkai rangkaian elektronika secara sementara dan fleksibel. Komponen

ini banyak dimanfaatkan pada tahap awal pengembangan sistem berbasis mikrokontroler karena memungkinkan perakitan dan perubahan rangkaian dilakukan dengan mudah tanpa menimbulkan kerusakan permanen. Dalam pengembangan sistem IoT seperti yang menggunakan ESP32 atau ESP32-CAM, breadboard berfungsi sebagai media penghubung berbagai komponen pendukung, seperti kabel jumper, LED indikator, dan modul tambahan lainnya [17].

Secara struktural, *breadboard* memiliki jalur koneksi internal yang tersusun secara horizontal dan *vertikal* sehingga memudahkan proses eksperimen dan pengujian rangkaian elektronik. Pola koneksi tersebut memungkinkan pengguna melakukan modifikasi rangkaian dengan cepat sebelum sistem direalisasikan ke dalam bentuk rangkaian permanen pada PCB. Oleh karena itu, *breadboard* menjadi perangkat standar dalam tahap prototyping penelitian dan pengembangan sistem elektronika serta *Internet of Things (IoT)*.



Gambar 2.7 Breadboard

2.5 LCD 20x4 I2C

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan perangkat keluaran yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam bentuk teks, angka, maupun

simbol. Pada sistem berbasis mikrokontroler, LCD sering dimanfaatkan sebagai media tampilan karena memiliki konsumsi daya yang rendah, mudah digunakan, serta mampu menampilkan data secara langsung kepada pengguna. Salah satu jenis yang banyak digunakan adalah LCD 20×4 yang memiliki kemampuan menampilkan hingga 20 karakter pada setiap baris dengan total empat baris tampilan. Kapasitas tampilan yang lebih besar tersebut memungkinkan lebih banyak informasi ditampilkan secara bersamaan sehingga memudahkan proses pemantauan sistem [18].

Dalam penggunaannya, LCD 20×4 dapat diintegrasikan dengan modul komunikasi I2C yang memungkinkan pertukaran data dilakukan melalui dua jalur komunikasi, yaitu SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). Modul I2C pada LCD umumnya hanya menggunakan empat pin utama, yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL, sehingga penggunaan pin pada mikrokontroler menjadi lebih efisien. Selain itu, modul ini dilengkapi dengan pengatur kontras yang memungkinkan tampilan karakter dapat disesuaikan agar lebih mudah dibaca. Dengan kemudahan integrasi dan efisiensi penggunaan pin, LCD 20×4 I2C sangat sesuai digunakan sebagai media tampilan lokal pada sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk menampilkan data sensor secara real-time [18].



Gambar 2.8 LCD 20×4 I2C

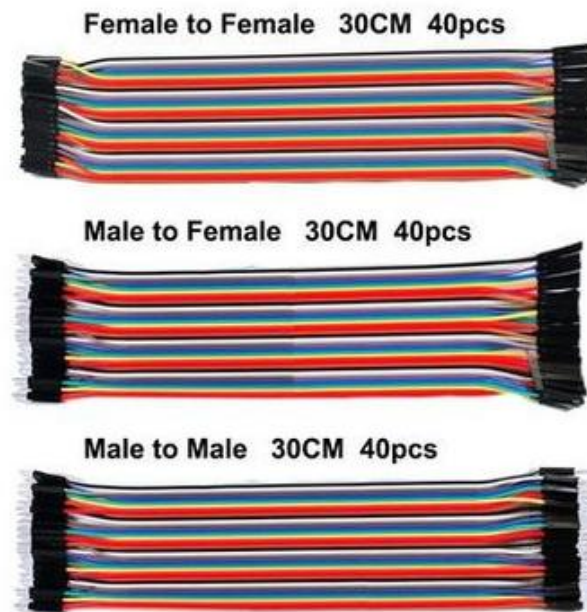
2.6 Kabel Jumper

Kabel jumper merupakan komponen penghubung yang digunakan dalam perakitan rangkaian elektronika, terutama pada tahap perancangan dan pengujian sistem berbasis mikrokontroler. Kabel ini dilengkapi konektor pada kedua ujungnya sehingga memungkinkan penyambungan antar komponen elektronik tanpa memerlukan proses penyolderan. Oleh karena itu, kabel jumper banyak digunakan pada rangkaian sementara berbasis breadboard karena bersifat fleksibel serta mudah dipasang dan dilepas sesuai kebutuhan pengujian sistem.

Dalam sistem elektronika, kabel jumper berfungsi sebagai media penghantar sinyal dan tegangan antara mikrokontroler, sensor, dan aktuator agar seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi. Penggunaan kabel jumper membantu mempercepat proses perancangan rangkaian karena memungkinkan pengujian koneksi dan fungsi komponen dilakukan sebelum sistem dirangkai secara permanen. Selain itu, pemasangan kabel jumper yang tepat berperan penting dalam menjaga kestabilan sinyal dan mengurangi potensi gangguan pada rangkaian [19].

Kabel jumper tersedia dalam beberapa jenis berdasarkan bentuk konektornya, di antaranya ***male to male*** dan ***male to female***. Kabel jumper ***male to male*** umumnya digunakan untuk menghubungkan antar titik pada *breadboard*, sedangkan kabel jumper ***male to female*** digunakan untuk menghubungkan modul atau sensor yang memiliki *pin female* ke breadboard atau mikrokontroler. Pemilihan jenis kabel jumper yang sesuai serta kualitas pemasangan yang baik

berpengaruh terhadap keandalan koneksi dan meminimalkan kesalahan sambungan selama proses pengujian sistem berbasis mikrokontroler.



Gambar 2.9 Kabel Jumper

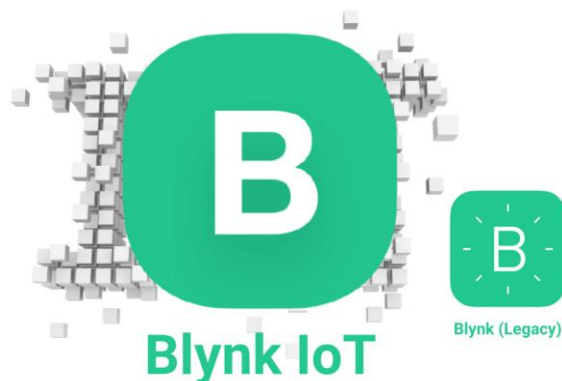
2.7 Blynk

Blynk merupakan platform *Internet of Things* (IoT) yang digunakan untuk menyatukan kondisi lingkungan secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis smartphone. Dalam jurnal *Implementasi IoT dalam Sistem Pemantauan Kualitas Udara Menggunakan Platform Blynk*, Blynk dimanfaatkan sebagai antarmuka pengguna yang berfungsi menampilkan data kualitas udara yang diperoleh dari sensor secara berani, sehingga pengguna dapat memantau kondisi udara tanpa harus berada langsung di lokasi alat pemantauan.

Pada sistem tersebut, data hasil pembacaan sensor kualitas udara diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirimkan melalui jaringan internet ke server Blynk. Selanjutnya data tersebut ditampilkan pada aplikasi Blynk dalam bentuk

visual seperti indikator, nilai numerik, atau grafik yang mudah dipahami. Fitur *dashboard* yang disediakan Blynk memungkinkan pengguna menyatukan perubahan kualitas udara secara *real-time* dan berkelanjutan [20].

Berdasarkan hasil penelitian dalam jurnal tersebut, penggunaan Blynk mampu meningkatkan efektivitas sistem pemantauan kualitas udara karena data dapat diakses dengan cepat dan akurat melalui perangkat seluler. Selain itu, Blynk juga mempermudah pengembangan sistem IoT karena tidak memerlukan pembuatan aplikasi khusus secara manual, sehingga platform ini dinilai sesuai untuk diterapkan pada sistem pemantauan lingkungan maupun sebagai pendukung pembelajaran berbasis mikrokontroler.



Gambar 2.10 Blynk

2.8 Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai lingkungan pengembangan untuk memprogram modul ESP32-CAM, meliputi penulisan kode, proses unggah firmware, serta kegiatan *debugging* selama tahap pengembangan perangkat *Internet of Things*. Aplikasi ini menyediakan antarmuka yang mudah digunakan,

kompiler terintegrasi, serta dukungan pustaka yang kompatibel dengan modul ESP32. Berdasarkan dokumentasi resmi Arduino, IDE ini dirancang untuk menyederhanakan proses pemrograman mikrokontroler melalui satu antarmuka terpadu dan dukungan penambahan *board* eksternal.

Selain itu, Arduino IDE dilengkapi dengan fitur Serial Monitor yang memungkinkan pengembang memantau keluaran sistem secara langsung. Fitur ini berperan penting dalam memastikan konfigurasi jaringan *WiFi*, proses pengambilan gambar, serta pengiriman data dapat berjalan dengan stabil. Ketersediaan *library* khusus ESP32 juga membantu mempercepat implementasi fungsi utama perangkat, sehingga Arduino IDE menjadi perangkat lunak yang esensial dalam pengembangan komponen perangkat keras pada sistem ETLE [21].



Gambar 2.11 Arduino IDE

2.9 Bahasa Pemrograman C/C++

Bahasa pemrograman C dan C++ merupakan bahasa yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki

struktur yang jelas dan kemampuan pengolahan instruksi yang efisien. Pada perangkat seperti ESP32, bahasa C/C++ dimanfaatkan untuk menyusun alur kerja sistem mulai dari proses inisialisasi, pembacaan data sensor, pengolahan data, hingga pengendalian perangkat keluaran. Pemrograman menggunakan C/C++ melalui Arduino IDE memungkinkan pengembangan aplikasi *Internet of Things* dilakukan secara terstruktur, mudah dipelajari, dan dapat diimplementasikan langsung pada perangkat keras.

Pada sistem tertanam, bahasa C/C++ dipilih karena mampu memberikan akses langsung terhadap perangkat keras serta penggunaan sumber daya memori yang relatif efisien. Bahasa ini juga mendukung pengendalian sistem secara real-time, pengaturan komunikasi jaringan, dan pengelolaan proses yang berjalan secara berkelanjutan. Berdasarkan kajian pada jurnal yang digunakan, C/C++ telah menjadi bahasa standar dalam pengembangan *embedded system* karena kestabilan dan fleksibilitasnya dalam mengatur algoritma pemrograman. Oleh karena itu, penggunaan bahasa C/C++ sangat sesuai diterapkan pada sistem berbasis ESP32 yang membutuhkan kinerja responsif, andal, dan efisien [22].



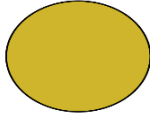
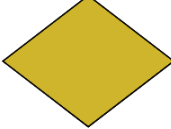
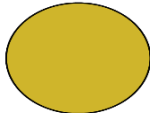
Gambar 2.12 Bahasa Pemrograman C/C++

2.10 Flowchart

Flowchart merupakan diagram alir yang digunakan untuk menggambarkan urutan proses dan logika kerja suatu sistem secara sistematis dan terstruktur. *Flowchart* berfungsi sebagai alat bantu perancangan yang memvisualisasikan tahapan kerja sistem, mulai dari proses awal, pengambilan data, pengolahan informasi, hingga keluaran yang dihasilkan. Dengan adanya *flowchart*, alur kerja sistem dapat dipahami secara menyeluruh sebelum diimplementasikan ke dalam bentuk perangkat lunak maupun perangkat keras.

Berdasarkan jurnal Pembuatan Diagram Alir Instrumentasi dan Pemipaan Untai Uji Sistem Kendali Reaktor Riset, *flowchart* digunakan untuk menjelaskan hubungan antarproses, komponen, serta sistem instrumentasi dan pengendalian secara jelas dan berurutan. Penggunaan diagram alir ini membantu perancang dalam mengidentifikasi fungsi setiap bagian sistem serta memastikan logika pengendalian berjalan sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu, *flowchart* memiliki peranan penting dalam mengurangi kesalahan perancangan dan menjadi bagian fundamental pada tahap perancangan sistem kendali dan instrumentasi, khususnya dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler dan otomasi [23].

Tabel 2.1 Flowchart

No	Simbol Flowchart	Nama	Arti Simbol Flowchart
1		<i>Process</i>	simbol flowchart persegi panjang yang menunjukkan langkah aliran proses normal yang ada di dalam sebuah sistem.
2		<i>Connector</i>	bentuk flowchart kecil, berlabel dalam bentuk lingkaran yang digunakan untuk menunjukkan sebuah lompatan dalam aliran proses.
3		<i>Terminator</i>	simbol flowchart oval yang menunjukkan awal atau akhir sebuah proses dan prosedur.
4		<i>Decision</i>	bentuk flowchart alir berlian yang menunjukkan percabangan dan situasi-situasi berbeda dalam sebuah aliran proses.
5		<i>Data</i>	simbol flowchart jajar genjang yang menunjukkan input atau output data (I/O) dalam suatu sistem atau proses.
6		<i>Document</i>	bentuk flowchart yang digunakan untuk menunjukkan sebuah dokumen atau laporan dari suatu proses, bisa dalam bentuk print out.
7		<i>Flow</i>	simbol yang menentukan arah alur dalam suatu sistem dan prosedur.
8		<i>Off-page connector</i>	sebuah penghubung alur dalam halaman yang berbeda.
9		<i>On-page connector</i>	simbol penghubung alur dalam halaman yang sama.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini berasal dari berbagai bidang penerapan *Internet of Things* (IoT), khususnya pada sistem pemantauan lingkungan, pertanian cerdas, dan hidroponik. Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar dalam pengembangan sistem berbasis mikrokontroler,

sensor integrasi, serta pemanfaatan *platform* IoT untuk pemantauan secara *real-time*.

Penelitian oleh Dedi Suarna dkk. mengembangkan sistem pengontrolan dan monitoring peralatan elektronik berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor arus, dan sensor PIR. Sistem ini fokus pada pengendalian serta pemantauan konsumsi energi listrik pada beberapa ruangan kerja dengan antarmuka monitoring berbasis cloud [24].

Penelitian Raharjo dkk. Merancang sistem pemantauan suhu dan kelembaban ruang server berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD 16×2 I2C dan platform ThingSpeak secara *real-time*, dengan fokus pada pemantauan lingkungan tertutup [18].

Penelitian oleh Abu Sneineh dan Shabaneh mengembangkan sistem pemantauan hidroponik berbasis ESP32 dengan pemanfaatan teknologi IoT. Sistem ini mampu melakukan pemantauan kondisi hidroponik secara jarak jauh dan menunjukkan bahwa ESP32 memiliki kinerja yang baik sebagai pusat kendali sistem hidroponik cerdas [2].

Selanjutnya Zulfan dkk. merancang sistem nutrisi cerdas pada budidaya hidroponik berbasis IoT yang menitikberatkan pada pengelolaan nutrisi tanaman. Penelitian ini menunjukkan pentingnya pemantauan nutrisi dalam meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman hidroponik [3].

Penelitian lain oleh Hartanto dkk. menerapkan ESP32 pada sistem pemantauan tanaman berbasis IoT untuk memadukan kondisi lingkungan tanaman. Meskipun sistem telah berjalan dengan baik, parameter yang memantau masih terbatas pada kondisi lingkungan dan belum mencakup kualitas larutan nutrisi secara lengkap [4].

Berbeda dengan penelitian-penelitian di atas, penelitian pada skripsi ini fokus pada pengembangan sistem smart hidroponik berbasis ESP32 dengan menggunakan sensor pH, sensor TDS, dan sensor DHT11. Sistem dirancang untuk mencerminkan kualitas larutan nutrisi serta kondisi lingkungan tanaman secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah penelitian sebelumnya dengan menggabungkan parameter nutrisi dan lingkungan dalam satu sistem hidroponik cerdas berbasis IoT.

2.11.1 Tabel Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Saat ini

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Saat Ini

No	Peneliti & Tahun	Bidang Penerapan	Mikrokontroler	Parameter yang Dipantau	Fokus Penelitian
1	Dedi Suarna dkk. (2023)	Smart Home	NodeMCU ESP8266	Arus listrik, PIR	Monitoring & kontrol konsumsi energi
2	Raharjo dkk. (2019)	Monitoring Ruang Server	NodeMCU ESP8266	Suhu & kelembapan (DHT11)	Monitoring lingkungan
3	Abu Sneineh & Shabaneh (2023)	Hidroponik	ESP32	Parameter hidroponik	Monitoring hidroponik berbasis IoT

4	Zulfan dkk. (2024)	Hidroponik	Mikrokontroler IoT	Nutrisi tanaman	Sistem nutrisi hidroponik
5	Hartanto dkk. (2024)	Pertanian Cerdas	ESP32	Suhu & kelembapan	Monitoring lingkungan tanaman
—	Penelitian Saat Ini	Smart Farming (Hidroponik)	ESP32	pH, TDS, DHT11	Monitoring nutrisi & lingkungan hidroponik