

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep teknologi modern di mana berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler dapat saling terhubung melalui jaringan internet untuk saling bertukar data dan informasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung. IoT bekerja dengan cara memanfaatkan suatu argumentasi pemrograman, setiap perintah argument akan menghasilkan suatu interaksi yang terjadi antara mesin dengan mesin dan terhubung otomatis tidak ada campur tangan seseorang dan tidak dibatasi jarak. Yang menjadi penghubung antara interaksi kedua mesin adalah internet, sementara tugas manusia hanya sebagai pengatur dan mengawasi alat tersebut bekerja secara langsung (Heru Sandi and Fatma 2023).

Salah satu komponen utama dari IoT adalah sensor, fungsi sensor dalam IoT adalah untuk mendeteksi dan mengumpulkan data dari lingkungan sekitar, seperti suhu, kelembaban, cahaya, gerakan, atau tekanan. Sensor berperan sebagai "indera" dalam sistem IoT, karena tanpa sensor, perangkat tidak bisa mengetahui kondisi nyata di sekitarnya. Penelitian oleh Adi Paramartha Putra and Gede Juliana Eka Putra (2020) menunjukkan bahwa penggunaan sensor dalam sistem IoT dapat meningkatkan akurasi pengumpulan data dan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam waktu nyata (Adi Paramartha Putra and Gede Juliana Eka Putra 2020). Data yang dikumpulkan oleh sensor kemudian dikirim ke

mikrokontroler untuk diproses, dan selanjutnya bisa ditampilkan ke pengguna melalui internet atau digunakan untuk mengaktifkan perangkat lain secara otomatis. Jadi, sensor sangat penting dalam IoT karena menjadi sumber utama informasi yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan secara cerdas dan otomatis.

Selain itu ada jaringan, Jaringan dalam IoT bisa diibaratkan sebagai "jalan" yang menghubungkan semua perangkat agar bisa saling berkomunikasi dan bertukar data. Dalam sistem IoT, jaringan berperan penting untuk mengirim data dari sensor ke mikrokontroler, lalu ke internet, dan sebaliknya, dari pengguna ke perangkat. Jenis jaringan yang sering digunakan antara lain *WiFi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, hingga jaringan seluler (4G/5G), tergantung kebutuhan dan jangkauan. Penelitian oleh Subiakto, n.d menekankan pentingnya infrastruktur jaringan yang kuat untuk mendukung pertumbuhan IoT di Indonesia, terutama di daerah terpencil yang masih memiliki keterbatasan akses internet (Subiakto, n.d.). Tanpa jaringan, perangkat IoT tidak bisa mengirim data secara real-time atau diakses dari jarak jauh, sehingga tidak bisa disebut "internet of things" secara utuh.

Internet of Things (IoT) memiliki peluang besar dalam meningkatkan efisiensi di berbagai bidang. Dalam bidang pertanian, misalnya, IoT memungkinkan pemantauan kondisi tanah dan tanaman secara langsung dan berkelanjutan, sehingga membantu petani dalam mengambil keputusan yang lebih tepat mengenai irigasi maupun pemupukan. Penelitian oleh Junaidi and Ramadhani (2024) menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki efektivitas tinggi dalam meningkatkan efisiensi kerja dan produktivitas di sektor pertanian. Melalui penerapan sensor dan sistem otomatis seperti pemantauan suhu dan kelembaban

tanah, penyiraman otomatis berbasis logika fuzzy, hingga sistem keamanan berbasis sensor gerak, IoT mampu memberikan kemudahan bagi petani dalam mengelola lahan secara real-time. Penelitian ini membuktikan bahwa IoT tidak hanya mampu mempercepat proses kerja, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap hasil pertanian yang lebih optimal, hemat sumber daya, dan siap menghadapi tantangan pertanian modern (Junaidi and Ramadhani 2024).

2.2 Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis IoT

Sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT adalah salah satu aplikasi nyata dari penerapan konsep IoT yang bertujuan untuk memperoleh data dari lingkungan secara otomatis dan terus-menerus. Sistem ini umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai alat untuk mendeteksi kondisi lingkungan, mikrokontroler sebagai otak pemroses data, jaringan komunikasi untuk mengirimkan data, serta platform monitoring yang menampilkan data secara visual. Melalui sistem ini, pengguna dapat mengetahui kondisi lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu udara, dan parameter lainnya kapan pun dan di mana pun selama terhubung ke jaringan internet. Hal ini sangat bermanfaat dalam konteks pertanian, terutama pada lahan-lahan yang luas seperti perkebunan kelapa sawit yang membutuhkan pemantauan secara berkala.

2.3 Sensor Kelembaban Tanah

2.3.1 Definisi Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah yang berada di atas water tabel. Definisi yang lain menyebutkan bahwa

kelembaban tanah menyatakan jumlah air yang tersimpan diantara pori-pori tanah sangat dinamis, hal ini disebabkan oleh penguapan melalui permukaan tanah dan perkolasi (Galih Mardika and Kartadie 2019). Air ini dapat berasal dari curah hujan, irigasi, embun, atau proses kondensasi, dan merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, proses biogeokimia, serta kestabilan struktur tanah.

Secara fungsional, kelembaban tanah sangat berperan dalam sistem pertanian, kehutanan, dan manajemen sumber daya air. Dalam konteks pertanian presisi dan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), pengukuran dan pemantauan kelembaban tanah secara real-time sangat membantu dalam pengambilan keputusan irigasi yang tepat, menghindari kekeringan atau kelebihan air, serta meningkatkan efisiensi penggunaan air.

2.3.2 Jenis Sensor Kelembaban Tanah

Sensor *soil moisture* merupakan sensor yang terbuat dari pelat logam resistan yang berfungsi untuk mengukur kelembaban tanah lalu dikonversi menjadi tegangan analog yang akan dibaca oleh Arduino (Pane and Yusmaidar Sepriani 2024). Sensor ini sangat penting dalam dunia pertanian, khususnya dalam penerapan sistem irigasi cerdas dan pemantauan kondisi lahan secara real-time. Dengan sensor ini, petani atau pengelola perkebunan dapat mengetahui seberapa basah atau kering tanah di suatu area sehingga dapat menentukan kapan dan seberapa banyak air yang perlu diberikan ke tanaman.

Ada 2 jenis sensor kelembaban tanah yang sering digunakan, yaitu:

1. Sensor Kapasitif (*Capacitive Soil Moisture Sensor*)

Sensor kelembaban tanah kapasitif atau sensor kelembaban tanah adalah sensor yang dapat mendeteksi jumlah kelembaban di dalam tanah. Sensor ini terdiri dari dua probe yang mengalirkan arus melalui tanah dan kemudian membaca resistansi untuk mendapatkan pembacaan air (Effendi, Ramadhani, and Farida 2022). Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi pertanian presisi, sistem irigasi otomatis, dan pemantauan kelembaban tanah berbasis IoT karena keandalannya dan ketahanannya terhadap korosi.



Gambar 2.1 Sensor Kelembaban Kapasitif
Sumber: (Effendi, Ramadhani, and Farida 2022).

Sensor kelembaban tanah kapasitif bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi yang terjadi akibat perbedaan kadar air dalam media tanah. Sensor ini terdiri dari dua plat elektroda yang membentuk kapasitor, yang ditanam ke dalam tanah. Ketika kadar air tanah berubah, nilai permitivitas relatif dari tanah di sekitar sensor juga berubah, sehingga mengubah nilai kapasitansi sensor.

Berbeda dengan sensor resistif yang mengukur konduktivitas listrik tanah, sensor kapasitif tidak menggunakan elektroda terbuka, sehingga tidak mudah berkarat dan lebih tahan lama. Ketika tanah mengandung lebih banyak air, kapasitansi sensor akan meningkat. Nilai kapasitansi ini kemudian diubah menjadi

sinyal analog oleh rangkaian elektronik internal, yang dapat dibaca oleh mikrokontroler (misalnya ESP32) melalui pin ADC.

Semakin tinggi kadar air dalam tanah, semakin tinggi pula nilai analog yang terbaca. Sebaliknya, jika tanah mulai mengering, nilai analog akan menurun. Data inilah yang digunakan untuk menentukan kondisi kelembaban tanah secara real-time.

2. Sensor Resistif (*Resistive Soil Moisture Sensor*)

Sensor resistif kelembaban tanah adalah jenis sensor yang mengukur kadar air dalam tanah berdasarkan nilai resistansi (hambatan listrik) antara dua elektroda logam. Sensor ini merupakan salah satu jenis sensor yang paling umum digunakan karena harganya murah dan mudah ditemukan, meskipun memiliki beberapa keterbatasan dibanding sensor kapasitif. Sensor ini memiliki spesifikasi yang cermat dan dapat bekerja dalam berbagai kondisi lingkungan, membantu para pengguna untuk memantau dan mengukur kelembaban tanah dengan tepat (Kresna A 2022).



Gambar 2.2 Sensor Kelembaban Resistif
Sumber: (Kresna A 2022).

Adapun prinsip kerja yaitu terdiri dari dua buah elektroda logam (biasanya dari bahan tembaga atau campuran logam lain) yang ditanamkan ke dalam tanah. Ketika tanah mengandung air, air tersebut membantu menghantarkan listrik antara kedua elektroda, sehingga resistansi listrik menurun. Sebaliknya, ketika tanah kering, resistansinya meningkat karena tanah menjadi isolator yang lebih baik.

Sensor ini mengeluarkan sinyal analog (tegangan) yang mewakili nilai resistansi tanah, yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32 melalui pin ADC.

Tabel 2.1 Perbandingan Singkat Sensor Resistif dan Sensor Kapasitif

Aspek	Sensor Resistif	Sensor kapasitif
Umur Pemakaian	Pendek	Panjang
Tahan Korosi	Tidak	ya
Harga	Murah	Lebih Mahal
Akurasi	Rendah	Lebih akurat
Kalibrasi	Sering dibutuhkan	Relatif stabil

Untuk sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor kelembaban tanah kapasitif. Sensor kelembaban tanah kapasitif adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar air (kelembaban) di dalam tanah. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan kapasitansi yang terjadi karena adanya perbedaan kadar air di sekitar sensor. Sensor kelembaban tanah ini dapat dimanfaatkan pada banyak sistem seperti sistem pertanian, dan perkebunan, serta pemanfaatan di bidang-bidang lain (Effendi, Ramadhani, and Farida 2022).

2.4 Sensor Suhu Tanah

2.4.1 Definisi suhu tanah

Suhu tanah adalah ukuran tingkat panas atau energi termal yang terkandung di dalam tanah pada suatu waktu dan kedalaman tertentu. Suhu ini dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti suhu udara, cahaya matahari, kelembaban, dan sifat permukaan benda tersebut (Latue et al. 2023).

Faktor-faktor yang memengaruhi suhu tanah antara lain adalah radiasi matahari sebagai sumber utama energi panas, tekstur dan warna tanah yang memengaruhi penyerapan panas, kelembaban tanah yang memperlambat konduksi panas, serta vegetasi dan sirkulasi udara yang membantu menstabilkan suhu.

Suhu tanah berfungsi penting dalam mengatur aktivitas mikroorganisme, proses fisiologis tanaman seperti perkecambahan dan penyerapan nutrisi, mengontrol siklus air dan struktur tanah, serta menentukan waktu tanam yang tepat. Oleh karena itu, pengukuran suhu tanah menjadi sangat penting terutama dalam kegiatan pertanian, perkebunan, dan kehutanan karena berdampak langsung terhadap efisiensi irigasi, pemupukan, dan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

2.4.2 Jenis-jenis Sensor Suhu Tanah

Sensor suhu adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan atau objek tertentu dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh sistem kontrol atau mikrokontroler, seperti ESP32 atau Arduino. Sensor ini sangat penting dalam berbagai bidang seperti pertanian, industri, medis, dan otomotif karena membantu dalam memantau dan mengontrol suhu untuk

menjaga kestabilan sistem.

Ada beberapa jenis sensor suhu tanah yang sering digunakan yaitu:

1. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 adalah Sensor suhu yang menggunakan *interface one wire*, sehingga hanya menggunakan kabel yang sedikit dalam instalasinya. Uniknya sensor ini bias dijadikan parallel dengan satu input. Artinya kita bisa menggunakan Sensor DS18B20 lebih dari satu namun output sensornya hanya dihubungkan ke satu Pin Arduino. Alasan ini membuat Sensor ini banyak digunakan apalagi Sensor ini memiliki tipe waterproof, sehingga Sensor ini bisa kita buat sebagai alat ukur dan kontrol pemanas air (Purnama et al. 2021).



Gambar 2.3 Sensor DS18B20

Sumber: Ibrahim, Syifa, and Pujiharsono 2023)

2. DHT11 / DHT22

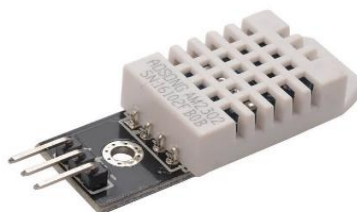
DHT11 adalah salah satu sensor yang dapat mengukur 2 parameter lingkungan sekaligus, yakni suhu dan kelembaban udara (*Humadity*). Pada pengukuran suhu data yang dihasilkan 14 bit, sedangkan untuk kelembaban data yang dihasilkan 12 bit. Sensor ini memiliki Tingkat stabilitas yang sangat baik secara fitur kalibrasi yang sangat akurat. Dalam sensor ini terdapat sebuah thermistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk mengukur suhu, sebuah sensor kelembaban tipe resistif dan sebuah mikrokontroler 8-bit yang

mengelola kedua sensor tersebut dan mengirim hasilnya ke pin *output* dengan format *single-wire bidirectional* (kabel Tunggal dua arah) (Nandang and Dewi 2021).



Gambar 2.4 Sensor DHT11
Sumber: (Nandang and Dewi 2021).

Sensor DHT22 adalah komponen yang sering digunakan dalam aplikasi pemantauan lingkungan, termasuk pertanian, karena kemampuannya untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi yang baik. Dengan mengintegrasikan sensor DHT22 dengan Arduino Uno, kita dapat membangun sistem yang mampu merekam data suhu secara real-time dan memberikan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan yang tepat dalam pengelolaan pekebunan. Data dapat langsung diproses menggunakan komputerisasi atau data digital dan memberikan output yang dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam mengambil Keputusan (Yonatan, Mukti, and Firmansyah 2025).



Gambar 2.5 Sensor DHT22
Sumber: (Yonatan, Mukti, and Firmansyah 2025)

Sensor DHT11/DHT22 bekerja dengan mengukur suhu menggunakan thermistor dan kelembaban menggunakan sensor kapasitif. Data dari kedua komponen ini diproses oleh chip internal, lalu dikirim secara digital melalui satu pin data ke mikrokontroler. Komunikasi dilakukan dengan protokol satu jalur (*single-wire*), sehingga praktis dan hemat pin. Sensor ini mengambil data setiap satu detik dan cocok digunakan dalam sistem monitoring suhu dan kelembaban sederhana.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Sensor DHT11 dan DHT22

Sensor	Kelebihan	Kekurangan
DHT11	Murah, cukup untuk kebutuhan dasar	Rentang dan akurasi rendah
DHT22	Akurat, rentang luas, cocok untuk aplikasi luar	Harga lebih mahal, sampling rate lebih lambat

Jika memerlukan sensor akurasi tinggi dan ketahanan terhadap suhu ekstrem maka perlu menggunakan sensor DHT22, sedangkan untuk percobaan dalam ruangan atau simulasi awal cukup menggunakan sensor DHT11.

3. Sensor LM35

Sensor LM35 adalah sensor suhu analog yang menghasilkan tegangan output linier yang proporsional terhadap suhu dalam derajat *Celcius*. Sensor ini bisa digunakan untuk mengukur suhu dari $-55^{\circ} - 150^{\circ}$ celcius. Berdasarkan datasheet LM35, maka kita bisa menggunakan pengukuran penuh ($-55 - 150^{\circ}$ celcius) atau pengukuran sebagian yaitu hanya bisa menghitung dari $2 - 150^{\circ}$ celcius (Firmansyah and Musyahaar 2020).



Gambar 2.6 Sensor LM35

Sumber: (Firmansyah and Musyahar 2020).

Sensor LM35 ini bekerja dengan menghasilkan tegangan output analog sebesar $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Artinya, ketika suhu 25°C , maka tegangan keluarannya adalah 250 mV ($0,25 \text{ V}$). Sensor ini tidak memerlukan kalibrasi eksternal dan sudah terkalibrasi dalam derajat *Celcius* oleh pabrik. Jika digunakan untuk pengukuran suhu tanah, LM35 sebaiknya dilindungi menggunakan tabung pelindung tahan air (misalnya pipa PVC kecil) agar tidak rusak akibat kelembaban. Namun untuk penggunaan luar ruangan atau sistem jangka panjang, sensor DS18B20 *waterproof* lebih disarankan karena lebih tahan lingkungan.

4. Sensor BME280

Sensor BME280 merupakan produk dari Bosch Sensortec yang menggabungkan sensor digital dari temperatur, kelembaban relatif, tekanan, dan ketinggian berdasarkan prinsip penginderaan yang telah teruji. Sensor BME280 memiliki dimensi yang kecil dan konsumsi daya yang rendah sehingga mudah diterapkan dan digerakkan oleh baterai seperti telepon genggam, jam tangan, modul GPS, dan lain-lain (Rachmawati, Yantidewi, and Penelitian 2024).



Gambar 2.7 Sensor BME280

Sumber: (Rachmawati, Yantidewi, and Penelitian 2024).

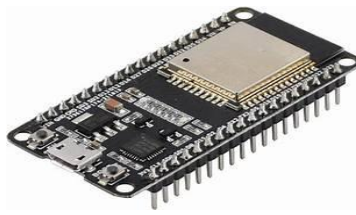
Sensor BME280 ini bekerja dengan menggunakan prinsip pengukuran digital berbasis elemen sensor presisi yang dikalibrasi dari pabrik. Data yang dihasilkan dapat langsung dibaca dalam bentuk digital melalui antarmuka I2C atau SPI. Sensor ini sudah memiliki algoritma pengolahan data internal sehingga hasilnya stabil dan akurat.

Dari beberapa jenis sensor diatas, sensor DS18B20 dipilih karena memiliki keunggulan utama berupa ketahanan terhadap air (*waterproof*), sehingga sangat cocok untuk mengukur suhu tanah secara langsung di lingkungan perkebunan kelapa sawit yang lembap dan terbuka. Sensor ini juga memiliki akurasi tinggi ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), resolusi baik hingga 0.0625°C , dan menggunakan komunikasi digital 1-Wire yang memudahkan integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP32 tanpa memerlukan banyak pin. Selain itu, DS18B20 mudah dihubungkan dengan platform IoT seperti Blynk untuk pemantauan suhu secara real-time, sehingga menjadi pilihan yang efisien dan andal dalam sistem pemantauan berbasis IoT.

2.5 Mikrokontroler ESP32

ESP32 dikembangkan oleh perusahaan asal Tiongkok bernama *Espressif Systems* dan pertama kali diperkenalkan pada tahun 2016 sebagai penerus dari

ESP8266 yang memiliki banyak fitur yang lebih baik daripada generasi sebelumnya. Ini termasuk inti CPU, WiFi yang lebih cepat, lebih banyak GPIO, dukungan untuk Bluetooth 4.2, dan konsumsi daya yang lebih rendah (Setiawan and Purnamasari 2019), sehingga sangat ideal untuk digunakan dalam proyek-proyek IoT di lapangan.



Gambar 2.8 Mikrokontroler ESP32
Sumber: (Setiawan and Purnamasari 2019)

Dalam implementasi sistem pemantauan di perkebunan kelapa sawit, ESP32 berfungsi sebagai otak dari seluruh sistem. Mikrokontroler ini akan menerima data dari sensor suhu dan kelembaban tanah, lalu memproses data tersebut untuk kemudian dikirimkan ke server atau platform cloud seperti ThingSpeak, Blynk, atau Firebase secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Dengan begitu, data lingkungan dapat diakses kapan saja dan dari mana saja oleh pengguna menggunakan perangkat smartphone atau komputer..

2.6 Kabel Jumper

Kabel Jumper merupakan salah satu komponen penting yang berguna untuk menghubungkan anatara komponen satu dengan yang lain agar sebuah alat yang kita rakit dapat saling terhubung baik terhubung arus Listrik atau pun terhubung

antar programnya (Yandri Lesmana, Purnama, and Rohani 2023).

Kabel jumper biasanya digunakan dalam papan prototipe (*breadboard*) untuk menyusun rangkaian sementara sebelum dirakit secara permanen. Kabel ini hadir dalam berbagai ukuran dan jenis, seperti kabel jumper *male-to-male*, *male-to-female*, dan *female-to-female*, yang masing-masing dapat disesuaikan dengan kebutuhan proyek. Fungsinya yang fleksibel membuat kabel jumper menjadi salah satu perangkat utama yang mendukung eksperimen dan pengembangan alat elektronik.

Dengan penggunaan kabel jumper, proses penyusunan rangkaian menjadi lebih sederhana dan praktis, karena komponen dapat dihubungkan tanpa perlu soldering. Hal ini memberikan efisiensi bagi pengguna, terutama dalam pengujian atau modifikasi rangkaian secara cepat dan aman.



Gambar 2.9 Kabel Jumper

Sumber: (Yandri Lesmana, Purnama, and Rohani 2023)

2.7 LED Indikator

LED (*Light Emitting Diode*) komponen yang dapat memancarkan cahaya. LED merupakan komponen elektronik dari bahan semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya monokromatik jika diberi tegangan maju (Nurkholis and Sucipto 2020). Dalam konteks sistem monitoring berbasis mikrokontroler seperti

ESP32, LED indikator berfungsi sebagai penanda visual kondisi sistem secara langsung di lapangan.

Dalam penelitian ini, LED digunakan untuk menunjukkan status kelembaban tanah berdasarkan nilai sensor yang diterima. Misalnya:

1. LED Merah menyala saat kelembaban tanah rendah (kering).
2. LED Kuning menyala saat kelembaban tanah cukup atau normal.

Dengan adanya LED, pengguna dapat melihat status tanah secara cepat dan langsung tanpa harus membuka aplikasi Blynk. Fitur ini sangat membantu untuk pekerja kebun atau operator yang berada di lokasi dan tidak selalu terhubung ke jaringan internet.

LED dikendalikan oleh mikrokontroler melalui pin digital. Logika kerja LED ditentukan oleh kondisi yang dibaca dari sensor kelembaban dan diolah dalam program mikrokontroler.



Gambar 2.10 LED Indikator
Sumber: (Nurkholis and Sucipto 2020).

Prinsip kerja LED dalam Sistem Monitoring:

1. Sensor membaca kelembaban tanah
2. Mikrokontroler membandingkan nilai tersebut dengan ambang batas
3. LED menyala sesuai kondisi:

< 80 % = LED Merah ON (kelembaban tanah sangat rendah)

80 % - 90 % = LED Kuning ON (kelembaban tanah normal)

2.8 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino IDE menjadi pilihan utama karena merupakan perangkat lunak terbuka yang menyediakan kemudahan dalam penulisan dan pengujian kode program, khususnya bagi para mahasiswa dan pengembang yang baru memulai proyek IoT. Arduino IDE menyediakan platform terintegrasi yang disederhanakan yang dapat dengan mudah dipasang di hampir semua komputer pribadi dan pengguna dapat menulis program ke papan arduino menggunakan bahasa pemrograman C atau C++ (Kulon, Mosey, and Suoth 2023). Dengan menggunakan Arduino IDE, proses integrasi antara sensor dan mikrokontroler dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien.

2.9 Platform Blynk

Blynk merupakan platform sistem operasi iOS maupun Android sebagai kendali pada modul Arduino, Raspberry Pi, ESP8266 dan perangkat sejenis lainnya melalui internet (Handi, Fitriyah, and Setyawan 2021). Platform Blynk adalah layanan berbasis cloud yang dirancang khusus untuk membantu pengguna dalam membuat antarmuka monitoring dan kontrol perangkat IoT melalui smartphone. Melalui Blynk, pengguna dapat membuat antarmuka (UI) dengan drag-and-drop dari smartphone untuk menampilkan data sensor, mengaktifkan aktuator seperti relay atau LED, dan menyimpan data ke cloud.

Fungsi Utama Blynk

1. Monitoring data sensor secara real-time

Blynk memungkinkan pengguna untuk melihat data dari sensor (seperti suhu dan kelembaban tanah) secara langsung melalui aplikasi atau dashboard web, tanpa harus terhubung langsung ke alat.

2. Antarmuka Visual

Blynk menyediakan tampilan visual berupa widget (gauge, chart, label dsb.) yang memudahkan pengguna memahami kondisi lahan melalui grafik dan angka.

3. Komunikasi Dua Arah

Blynk tidak hanya menerima data dari mikrokontroler (ESP32), tetapi juga dapat mengirim perintah dari pengguna ke alat. Misanya untuk mengontrol relay, pompa, atau alarm.

4. Sistem Peringatan (Notifikasi)

Melalui fitur *eventor* dan *Notifications*, blynk dapat memberi notifikasi otomatis ke smartphone Ketika terjadi kondisi darurat, seperti tanah terlalu kering atau suhu ekstrim.

5. Logging Data Historis

Dapat menyimpan dan menampilkan grafik perubahan nilai sensor dari waktu ke waktu sehingga memudahkan analisis tren lingkungan.

6. Akses Jarak Jauh

Pengguna dapat mengakses sistem monitoring dari mana saja selama terkoneksi internet, menjadikan sistem efisien dan fleksibel tanpa harus berada di Lokasi lahan.

7. Integrasi Mudah dengan Mikrokontroler

Blynk mendukung ESP32, ESP8266, dan berbagai mikrokontroler lainnya.

8. Manajemen Perangkat dan Proyek

Dalam versi terbaru (Blynk IoT platform), kamu dapat mengelola beberapa perangkat, membuat dashboard untuk tiap alat, serta mengatur hak akses pengguna.



Gambar 2.11 Platform Blynk

Sumber: Google

Tabel 2.3 Komponen Utama dalam Blynk

Komponen	Fungsi
Blynk App	Aplikasi mobile Android/iOS untuk membuat dashboard dan kontrol UI
Blynk Cloud	Server cloud yang menjadi perantara antara perangkat dan aplikasi
Blynk Library	Pustaka yang diinstal di Arduino IDE agar perangkat bisa terhubung
Device Auth Token	Kode unik agar perangkat bisa terkoneksi dengan akun dan proyek Blynk

2.10 Kerangka Berfikir

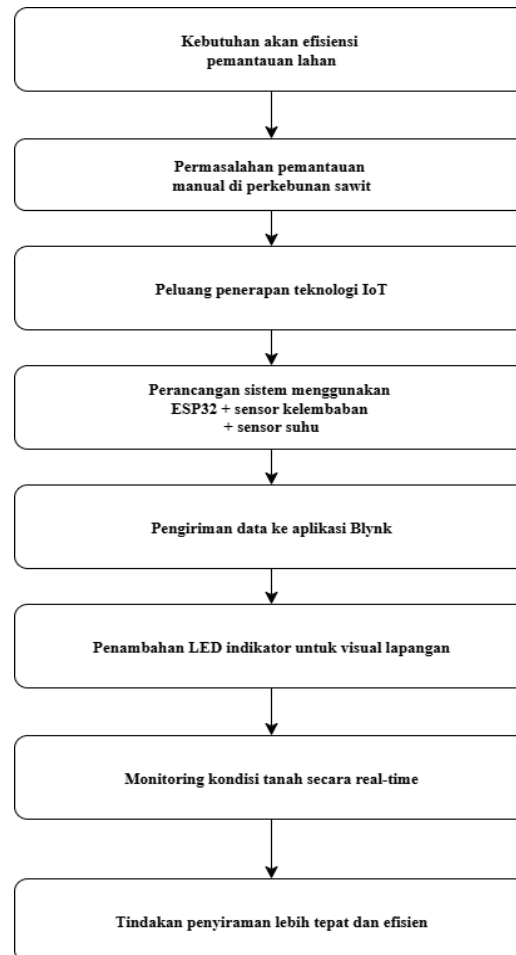
Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan yang memerlukan kondisi tanah yang optimal, terutama dalam hal kelembaban dan suhu, untuk menunjang pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Namun, pemantauan kondisi tanah secara manual seringkali tidak efisien dan kurang akurat karena terbatasnya waktu, tenaga, dan alat ukur yang digunakan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pemantauan otomatis yang mampu memberikan informasi kondisi tanah secara real-time.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan jarak jauh dengan memanfaatkan sensor dan konektivitas internet. Dalam penelitian ini, sensor kelembaban tanah kapasitif digunakan untuk mendeteksi kadar air dalam tanah, sedangkan sensor suhu digital DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu tanah. Kedua sensor ini terhubung ke mikrokontroler ESP32, yang akan mengolah data dan mengirimkannya ke aplikasi Blynk melalui koneksi WiFi.

Selain pemantauan melalui aplikasi, sistem juga dilengkapi dengan LED indikator sebagai penanda visual di lapangan, LED merah menyala jika tanah kering, dan LED kuning menyala jika tanah dalam kondisi normal. Data ini dapat dimanfaatkan oleh pengguna untuk melakukan penyiraman secara tepat waktu dan efisien.

Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengguna dapat memantau kondisi lahan secara berkala, responsif, dan efisien, sehingga mendukung pertumbuhan optimal kelapa sawit. Kerangka ini menjadi dasar pemikiran dalam perancangan dan pengujian sistem monitoring kelembaban dan suhu tanah berbasis IoT yang

praktis dan terjangkau.



Gambar 2.12 Diagram Berfikir
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2.11 Kelapa Sawit dan Kebutuhan Lingkungannya

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) adalah salah satu jenis tanaman industri yang saat ini telah menduduki posisi penting di sektor pertanian. Minyak kelapa sawit (MKS) merupakan komoditi yang bernilai strategis karena merupakan bahan baku utama pembuatan minyak makan dalam kehidupan sehari-hari. Sementara minyak makan merupakan salah satu dari 9 kebutuhan pokok bangsa Indonesia

(Wati, Dedy Irawan, and Agus Pranoto 2022). Agar tanaman kelapa sawit dapat tumbuh dan berproduksi dengan optimal, diperlukan kondisi lingkungan yang mendukung, khususnya terkait dengan kelembaban dan suhu tanah. Kelapa sawit juga tumbuh baik di daerah dengan curah hujan tinggi curah hujan yang stabil sepanjang tahun (2.500 - 3.000 mm) dengan kelembaban tinggi (80 - 90%). Pola curah hujan tahunan sangat mempengaruhi perilaku dalam proses pembungaan dan produksi buah sawit. Perubahan suhu tidak terlalu banyak tinggi yaitu berkisar antara 25 - 27°C sangat cocok untuk pertumbuhan. Sedangkan jenis tanah yang cocok adalah latosol, podzol merah dan kuning, tanah aluvial dan cocok juga untuk organosol atau tanah gambut jarang dengan pH maksimum antara 5,0 - 5,5, meskipun tumbuh dengan toleransi pH antara 4,0 hingga 6,5 (Nugroho 2019). Oleh karena itu, pemantauan kelembaban dan suhu tanah secara berkala sangat diperlukan terutama pada daerah yang mengalami musim kemarau panjang atau memiliki pola curah hujan yang tidak menentu. Selain itu, sistem pemantauan ini dapat diterapkan pada berbagai fase umur tanaman kelapa sawit, mulai dari bibit hingga tanaman dewasa produktif, untuk membantu pengelolaan irigasi dan perawatan tanaman secara lebih tepat.

Kebutuhan Lingkungan untuk Pertumbuhan Optimal

Agar kelapa sawit dapat tumbuh dengan baik dan menghasilkan panen yang optimal, dibutuhkan kondisi lingkungan tertentu yang harus dipenuhi secara konsisten, antara lain:

1. Kelembaban Tanah

Tanaman kelapa sawit sangat bergantung pada ketersediaan air di dalam tanah.

Kelembaban tanah yang ideal berkisar antara 80% hingga 90% dari kapasitas lapang atau setara $\pm 40\text{--}50\%$ volumetrik jika pakai sensor kapasitif. Jika kelembaban tanah terlalu rendah (kering), proses fotosintesis dan penyerapan unsur hara terganggu, yang menyebabkan pertumbuhan lambat dan hasil panen menurun.

2. Suhu Tanah dan Udara

Kelapa sawit tumbuh optimal pada suhu udara antara 24°C hingga 32°C , dengan suhu tanah yang stabil. Suhu yang terlalu tinggi ($>32^{\circ}\text{C}$) atau terlalu rendah ($<20^{\circ}\text{C}$) dapat menghambat aktivitas fisiologis tanaman, termasuk penyerapan air dan nutrisi.

3. Curah Hujan

Kelapa sawit memerlukan curah hujan tahunan antara 1.700–3.000 mm, dengan distribusi merata sepanjang tahun. Kekurangan air dalam jangka panjang dapat menyebabkan stress air, gugur daun, hingga penurunan produksi tandan buah segar (TBS).

4. Jenis Tanah

Tanaman ini dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, tetapi tanah lempung berpasir yang gembur dan kaya bahan organik adalah yang paling ideal. Tanah juga harus memiliki drainase baik dan tidak tergenang air terlalu lama.

5. Pencahayaan dan Ketinggian Tempat

Kelapa sawit memerlukan cahaya matahari penuh sekitar 5–7 jam/hari dan cocok ditanam pada ketinggian antara 0 – 500 meter di atas permukaan laut.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan lingkungan diatas, maka pertimbangan sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah berbasis IoT sangat

relevan dan penting, khususnya untuk mengantisipasi kondisi kekeringan atau over-irigasi, menentukan waktu penyiraman atau pemupukan yang tepat, memastikan kondisi optimal untuk pertumbuhan akar dan buah.

Melalui data kelembaban dan suhu tanah yang diambil secara real-time, petani atau pengelola kebun kelapa sawit dapat melakukan tindakan yang lebih cepat, akurat, dan efisien, sehingga meningkatkan produktivitas dan menjaga keberlanjutan lahan.

2.12 Kajian Pustaka

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu tentang sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah dilakukan sebagai perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya sebagai acuan untuk meningkatkan isi penelitian. Berikut ini adalah kutipan dari lima penelitian sebelumnya yang sifatnya serupa

2.12.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi acuan penting untuk memahami perkembangan teknologi dalam pemantauan kelembaban dan suhu tanah pada perkebunan kelapa sawit. Sejumlah studi telah mengimplementasikan konsep Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengukuran parameter tanah, meskipun dengan fokus, metode, dan lingkup penerapan yang berbeda.

a). Penelitian yang dilakukan oleh (Sukarman et al. 2024) mengembangkan *Soil Moisture Content Monitoring System* (SMCMS) untuk memantau dinamika kelembaban dan suhu tanah secara real-time pada lahan Ultisol dan Spodosol di perkebunan kelapa sawit. Sistem ini dilengkapi sensor kelembaban dan suhu tanah

yang dipasang pada tiga kedalaman berbeda, dengan data yang dikirim ke server berbasis web. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembaban tanah tertinggi terdapat pada Ultisol (46,91%), diikuti Spodosol dengan perlakuan mounding (38,40%), dan terendah pada Spodosol tanpa perlakuan (29,49%), dengan suhu tanah berkisar 27,36–28,40°C.

b). Selanjutnya, (Ruslan, A. A., Ismail, A. M., Roslan, N. H., Ibrahim, A., & Ali 2021) mengembangkan sistem pemantauan tanah berbasis LoRa dengan papan pengembangan TTGO ESP32 untuk mengukur pH dan kelembaban tanah pada perkebunan kelapa sawit. Sistem ini dirancang untuk area yang minim akses internet, dengan data dikirim ke platform ThingSpeak dan dapat diakses melalui perangkat mobile. Keunggulan dari sistem ini adalah konsumsi daya rendah dan jangkauan komunikasi yang luas, meskipun hanya memantau dua parameter tanpa pengukuran suhu tanah.

c). Sementara itu, (Effendi et al. 2024) merancang sistem pemantauan kelembaban tanah khusus pada tahap pembibitan kelapa sawit menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor kelembaban YL-69, terintegrasi dengan aplikasi Android. Sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time dan memiliki tingkat akurasi tinggi, dengan selisih hanya 1–2% dibanding alat pembanding. Penelitian ini menekankan pentingnya menjaga kelembaban optimal (60–80%) pada fase pembibitan untuk mencegah kekeringan maupun pembusukan akar.

Berdasarkan ketiga penelitian tersebut, seluruhnya memiliki tujuan untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan air dan menjaga kondisi optimal tanah bagi pertumbuhan kelapa sawit, namun berbeda pada parameter yang diukur, teknologi

komunikasi data, serta lingkup penerapan. Penelitian ini mengambil inspirasi dari ketiga studi tersebut dengan memadukan keunggulan pemantauan real-time, akurasi tinggi, serta sistem yang dapat diadaptasi untuk kondisi lapangan pada perkebunan kelapa sawit skala luas.

Tabel 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Aspek	Sukarman dkk. (2024) – SMCMS	Ruslan dkk. (2021) – LoRa	Effendi dkk. (2024) – NodeMCU
Fokus	Monitoring kelembaban & suhu tanah pada berbagai jenis tanah di kebun kelapa sawit	Monitoring pH & kelembaban tanah jarak jauh	Monitoring kelembaban tanah pembibitan kelapa sawit
Teknologi	SMCMS + Sensor kelembaban & suhu + Web-based monitoring	TTGO ESP32 + LoRa + ThingSpeak	NodeMCU ESP8266 + Sensor YL-69 + Aplikasi Android
Parameter yang diukur	Kelembaban (%), suhu tanah (°C)	pH tanah, kelembaban (%)	Kelembaban (%)
Hasil Utama	Ultisol: 46,91%, Spodosol perlakuan: 38,40%, Spodosol kontrol: 29,49%; suhu 27–28°C	Data real-time pH & kelembaban dapat dipantau jarak jauh, jangkauan luas	Akurasi kelembaban tinggi (selisih 1–2% dibanding alat pembanding)
Kelebihan	Data kontinu, real-time, akurat pada berbagai kedalaman	Konsumsi daya rendah, jangkauan luas tanpa internet	Akurasi tinggi, dapat dikontrol via Android
Kekurangan	Butuh infrastruktur sensor & server	Tidak mengukur suhu, hanya pH & kelembaban	Hanya fokus pembibitan, belum untuk lahan luas
Rekomendasi	Optimalkan manajemen air berdasarkan data sensor	Tambah sensor suhu & tilt	Terapkan untuk skala kebun luas