

PROPOSAL SKRIPSI

**SISTEM MONITORING BERBASIS ESP8266 UNTUK PEMANTAUAN
LINGKUNGAN PERKEBUNAN HORTIKULTURA**

DISUSUN OLEH

OK MUHAMMAD REHANSYAH PUTRA

2109020055

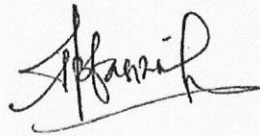


**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : SISTEM MONITORING BERBASIS ESP8266 UNTUK
PEMANTAUAN LINGKUNGAN PERKEBUNAN
HORTIKULTURA
Nama Mahasiswa : OK MUHAMMAD REHANSYAH PUTRA
NPM : 2109020055
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Mhd. Basri, S.Si. M.Kom.)
NIDN. 0111078802

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Nutagalung, S.Kom., M.kom.)
NIDN. 0117019301

Dekan



(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

SISTEM MONITORING BERBASIS ESP8266 UNTUK PEMANTAUAN LINGKUNGAN PERKEBUNAN HORTIKULTURA

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 2025

Yang membuat pernyataan



OK MUHAMMAD REHANSYAH PUTRA

NPM. 2109020055

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: OK Muhammad Rehansyah Putra
NPM	: 2109020055
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

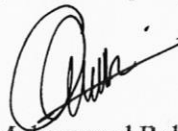
**SISTEM MONITORING BERBASIS ESP8266 UNTUK PEMANTAUAN
LINGKUNGAN PERKEBUNAN HORTIKULTURA**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 2025

Yang membuat pernyataan



OK Muhammad Rehansyah Putra

NPM. 2109020055

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: OK Muhammad Rehansyah Putra
Tempat dan Tanggal Lahir	: Medan, 31 Agustus 2002
Alamat Rumah	: Jl,Eka Rasmi Gg. Eka Rosa
Telepon/Faks/HP	: 081211780487
E-mail	: muhammadrehansyah741@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD	: SD SWASTA BINA KUSUMA	TAMAT: 2014
SMP	: SMP SWASTA DARMA MEDAN	TAMAT: 2017
SMA	: SMA SWASTA HARAPAN MANDIRI	TAMAT: 2020

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan karunianya yang penuh dengan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul tentang “Sistem Monitoring Berbasis ESP8266 untuk Pemantauan lingkungan Perkebunan hortikultura” untuk memenuhi persyaratan dalam jenjang strata satu dan mencapai gelar Sarjana Komputer di jurusan Teknologi Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, keluarga dan sahabatnya yang syafaatnya kita nantikan diakhir zaman nanti. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis temtunya berterimakasih kepada pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga berterimakasih kepada :

1. Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Prof. Dr. Agussani, M.AP.,
2. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU, Dr. AlKhowarizmi, S.Kom., M.Kom.
3. Ketua Program Studi Teknologi Informasi, Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom.
4. Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi, Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom.
5. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom, selaku pembimbing skripsi.

6. Kepada ayah dan ibu saya tercinta, terima kasih yang tak terhingga atas cinta, kasih sayang, dan doa yang tak pernah putus dalam setiap langkah hidup saya. Dalam diam, mereka selalu menjadi pendoa setia, menyebut nama saya dalam setiap sujud dan harap, meski mungkin tak selalu saya dengar. Tanpa bimbingan, pengorbanan, dan keikhlasan mereka sejak awal hingga hari ini, saya tidak akan mampu sampai pada titik ini. Terima kasih atas segala pengorbanan, peluh, dan air mata yang tidak pernah mereka perlihatkan, hanya demi melihat anaknya berhasil. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, keberkahan, dan kebahagiaan dalam hidup mereka, sebagaimana mereka telah menjadi cahaya dalam perjalanan hidup saya.
7. Terima kasih tulus saya sampaikan kepada Namira Adira Cahyani, S.Ak pasangan saya, yang telah setia mendampingi dan memberikan dukungan penuh selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran, perhatian, serta semangat yang terus kamu berikan. Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi hubungan kita hingga ke masa depan yang baik. Aamiin.
8. Terimakasih kepada Muhammad Irfan, Alisah Ramadana dan Ibnu Pribudianto yang telah mensupport penulis dan teman-teman KKN atas motivasi dan dukungan mereka.
9. Semua pihak yang terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian skripsi ini, yang mungkin namanya tidak disebutkan satu per satu, terima kasih.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan serta kemampuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk menyempurnakan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi semua yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh

Medan, 2025

OK Muhammad Rehansyah Putra

ABATRAK

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam bidang pertanian semakin berkembang, khususnya untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan yang lebih efisien dan tepat waktu. Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah yang dikendalikan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data sensor ke server lokal secara berkala, serta memberikan peringatan otomatis kepada pengguna melalui aplikasi Telegram. Data lingkungan diperoleh dari sensor DHT11 dan sensor kelembaban tanah, kemudian dikirim ke server berbasis PHP dan MySQL. Selain itu, sistem dilengkapi dengan algoritma Random Forest yang berfungsi untuk memprediksi kebutuhan penyiraman tanaman berdasarkan data historis yang telah dikumpulkan. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan secara real-time, memberikan notifikasi yang relevan ketika kadar air tanah berada di bawah ambang batas, serta menampilkan hasil prediksi dalam antarmuka web yang informatif. Sistem ini dinilai efisien dan praktis untuk mendukung petani dalam mengawasi kondisi lahan serta menentukan waktu penyiraman secara lebih akurat. Daya listriknya yang hemat dan penggunaan baterai isi ulang membuat sistem ini cocok diterapkan di daerah pertanian terpencil.

Kata Kunci: *Pemantauan tanaman, Internet of Things, NodeMCU ESP8266, kelembaban tanah, Random Forest, Telegram.*

ABSTRACT

The integration of Internet of Things (IoT) technology in agriculture continues to grow, particularly to support more accurate and timely environmental monitoring. This study presents the development of a temperature and soil moisture monitoring system based on the NodeMCU ESP8266 microcontroller. The system is programmed to transmit sensor data periodically to a local server and to notify users automatically via the Telegram application. Environmental data are gathered from a DHT11 sensor and a soil moisture sensor, and sent to a server built using PHP and MySQL. Additionally, the system includes a Random Forest algorithm to predict plant watering requirements based on historical data. Experimental results indicate that the system operates in real time, delivers relevant notifications when soil moisture falls below the threshold, and displays predictive results on an informative web interface. This system is considered efficient and practical in assisting farmers to monitor field conditions and determine watering schedules more accurately. Its low power consumption and use of rechargeable batteries make it suitable for agricultural areas with limited electricity access.

Keywords: *Plant monitoring, Internet of Things, NodeMCU ESP8266, soil moisture, Random Forest, Telegram.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. LANDASAN TEORI	6
2.1. Tanaman Hortikultura	6
2.1.1. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas Tanaman	7
2.1.2. Dampak Perubahan Curah Hujan	8
2.1.3. Dampak Perubahan Suhu Udara	9
2.2. Internet Of Things	10

2.3. Sistem Monitoring Berbasis Internet Of Things	12
2.4. Komponen Utama Dalam Sistem Monitoring.....	13
2.4.1. NodeMCU ESP8266	13
2.4.2. Sensor DHT22	14
2.4.3. Soil Moisture Sensor	15
2.4.4. Baterai Silinder (18650)	16
2.5. Manfaat Penerapan Teknologi Iot Dalam Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Hortikulura	17
2.5.1. Pemantauan Lingkungan Secara Real-Time	18
2.5.2. Pengambilan Keputusan yang Lebih Akurat.....	18
2.5.3. Efisiensi Penggunaan Air	19
2.5.4. Peningkatan Produktivitas Tanaman	19
2.5.5. Mengurangi Ketergantungan Pada Pemantauan Manual	19
2.6. Sistem Deteksi Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis IoT	19
2.7. Peringatan Dini Menggunakan Telegram Bot.....	21
2.8. Sistem Pendukung Keputusan	22
2.8.1. Machine Learning dalam Sistem Pendukung Keputusan.....	23
2.9. Penelitian Terdahulu.....	23
2.9.1. Perbedaan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu	25
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1. Metode Penelitian.....	26
3.2. Subjek, Objek, Waktu Penelitian	27
3.3. Perancangan Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis IoT	27

3.4. Rangkaian Alat Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah	
Berdasarkan IoT	32
3.5. Pengujian dan Evaluasi Sistem.....	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil Perancangan dan Sistem	35
4.2. Pengujian Alat	36
4.3. Pengujian Sistem	37
4.3.1. Uji Fungsional Perangkat	37
4.3.2. Uji Kinerja dilapangan	38
4.4. Analisis Perbandingan Dengan Sistem Tradisional	39
4.5. Tampilan Antarmuka Sistem.....	39
4.5.1. Kode Program Arduino (NodeMCU ESP8266).....	40
4.5.2. Dashboard Web Monitoring.....	42
4.6. Notifikasi Telegram Bot.....	44
4.7. Cara Kerja Algoritma Random Forest.....	46
4.7.1. Nilai Rata-rata Data Sensor.....	46
4.7.2. Ambang Batas Klasifikasi	47
4.7.3. Rumus Dasar Decision Tree.....	47
4.7.4. Struktur Pohon Keputusan	48
4.7.5. Substitusi Nilai Rata-rata kesetiap Pohon.....	48
4.7.6. Voting Mayoritas.....	49
4.7.7. Hasil Klasifikasi	49
4.8. Analisis dan Pembahasan	49
BAB V. PENUTUP.....	51

5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR TABEL

		HALAMAN
TABEL 2.1.	Perbedaan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu	25
TABEL 4.1	Pengujian Alat	36
TABEL 4.2	Penjelasan Program ESP8266	41
TABEL 4.3	Data Sensor	46

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
GAMBAR 2.1. NodeMCU ESP8266	14
GAMBAR 2.2. SensorDHT11	14
GAMBAR 2.3. Soil Moisture Sensor	15
GAMBAR 2.4. Baterai Silinder (18650)	17
GAMBAR 3.1. Diagram Blok Sistem	29
GAMBAR 3.2. Flowchart Sistem Pemantauan IoT untuk Hortikultura	31
GAMBAR 3.3. Rangkaian Alat	32
GAMBAR 4.1. Hasil Rancangan Alat dan Sistem	35
GAMBAR 4.2. Tampilan Antarmuka Sistem	39
GAMBAR 4.3. Grafik suhu, Kelembaban udara dan Kelembaban tanah	43
GAMBAR 4.4. Riwayat Pembacaan sensor dalam bentuk tabel	43
GAMBAR 4.5. Status Prediksi kebutuhan penyiraman	44
GAMBAR 4.6. Notifikasi Telegram Bot	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan tanaman hortikultura di Indonesia dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini didorong oleh kemajuan dalam teknik pertanian, pengembangan varietas unggul, serta peningkatan pemahaman mengenai budidaya tanaman hortikultura. Produksi sayuran, buah-buahan, dan rempah-rempah terus meningkat seiring dengan pertumbuhan permintaan pasar. Indonesia juga semakin banyak menghasilkan beragam produk hortikultura, termasuk buah eksotis, sayuran organik, dan rempah-rempah khas, yang tidak hanya meningkatkan keanekaragaman pangan tetapi juga membuka peluang ekspor yang lebih luas (Hapsari et al., 2021).

Tanaman hortikultura, yang mencakup sayuran dan buah-buahan, memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan gizi manusia. Tanaman ini dapat dibudidayakan di berbagai kondisi iklim dan lingkungan, baik di lahan pertanian besar maupun di kebun rumah tangga. Selain berkontribusi terhadap asupan gizi, keberadaan tanaman hortikultura juga mendukung keberlanjutan pangan dalam kehidupan sehari-hari (Udayana et al., 2019).

Hasil tanaman hortikultura juga memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan dapat menjadi peluang bisnis bagi masyarakat. Komoditas hortikultura dapat dipasarkan langsung kepada konsumen, dijual melalui perantara, atau disalurkan ke pasar yang lebih luas. Dengan demikian, sektor ini berpotensi menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta mempermudah distribusi hasil pertanian (Parjito et al., 2022).

Seiring dengan kemajuan teknologi informasi dan komunikasi, pemanfaatan teknologi dalam sektor pertanian menjadi semakin penting. Sebagai negara agraris dengan sumber daya alam yang melimpah, Indonesia perlu mengelola sektor pertanian secara maksimal. Tanah sebagai faktor utama dalam hortikultura harus diperhatikan dengan baik agar dapat menghasilkan produktivitas yang optimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pertanian (Saputra et al., 2021).

Teknologi IoT dalam pertanian dapat memberikan data real-time mengenai kondisi lahan dan proses produksi, memungkinkan petani untuk membuat keputusan yang lebih tepat. Salah satu permasalahan yang sering dihadapi dalam budidaya hortikultura. Kelembaban yang tidak optimal dapat menyebabkan tanaman mengalami kekeringan, menghambat pertumbuhan, dan pada akhirnya menurunkan produktivitas (Ariyanto et al., 2021). Permasalahan ini semakin diperparah di daerah dengan curah hujan rendah, di mana petani kesulitan melakukan monitoring kelembaban tanah secara manual, terutama jika lahan yang dimiliki cukup luas (Sabarina et al., 2023).

Sistem monitoring berbasis ESP8266 dapat digunakan untuk mengukur berbagai parameter lingkungan secara otomatis, seperti suhu dan kelembapan udara menggunakan sensor DHT11, kelembapan tanah menggunakan sensor kapasitif, Dengan sistem ini, petani dapat memperoleh informasi kondisi lingkungan secara akurat dan real-time, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat guna meningkatkan produktivitas tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT. Parameter suhu dan kelembaban tanah merupakan faktor utama dalam keberhasilan pertanian dan berkebun. Pemanfaatan teknologi IoT dalam hortikultura dapat memberikan berbagai keuntungan, seperti optimasi penggunaan air, peningkatan efisiensi sumber daya, serta pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara lebih akurat. Metode pemantauan tradisional sering kali membutuhkan banyak tenaga kerja dan kurang akurat, sehingga penerapan sistem berbasis IoT diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian.

Untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas, sistem ini juga akan dilengkapi dengan machine learning yang berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan. Algoritma machine learning, seperti random forest dapat digunakan untuk menganalisis pola data historis dari parameter suhu dan kelembaban, serta memprediksi kebutuhan penyiraman. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya memberikan pemantauan secara real-time, tetapi juga mampu memberikan prediksi dan rekomendasi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian hortikultura secara keseluruhan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan utama, yaitu bagaimana merancang sistem Internet of Things (IoT) dalam mengambil keputusan untuk meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura secara real-time?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah, maka batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pemantauan suhu dan kelembaban tanah menggunakan teknologi berbasis IoT.
2. Lingkup penelitian terbatas pada sistem pemantauan tanpa pengendalian otomatis terhadap kondisi lingkungan.
3. Pengujian dilakukan dalam lingkungan pertanian hortikultura pada tanaman sayuran yaitu bayam

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi dalam budidaya tanaman hortikultura.
2. Menyediakan data real-time yang dapat membantu petani dalam mengambil keputusan guna meningkatkan produktivitas tanaman

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Petani: Membantu dalam pemantauan kondisi lingkungan secara lebih efisien, sehingga dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman hortikultura dan mengurangi risiko gagal panen.
2. Bagi Peneliti dan Akademisi: Menambah wawasan mengenai pemanfaatan teknologi IoT dalam bidang pertanian, khususnya dalam pemantauan kondisi lingkungan tanaman.

3. Bagi Pemerintah dan Sektor Pertanian: Memberikan rekomendasi untuk penerapan teknologi IoT dalam skala yang lebih luas guna meningkatkan produktivitas pertanian nasional.
4. Bagi Pengembang Teknologi: Menjadi referensi dalam pengembangan sistem IoT yang lebih canggih untuk mendukung pertanian berbasis teknologi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanaman Hortikultura

Tanaman hortikultura merupakan cabang dari ilmu pertanian yang didukung oleh berbagai disiplin ilmu lain seperti agronomi, pemuliaan tanaman, proteksi tanaman, teknologi benih, klimatologi, ilmu tanah, dan lainnya. Istilah hortikultura berasal dari bahasa Latin, yaitu hortus yang berarti kebun, dan culture yang berarti budidaya. Secara umum, hortikultura merujuk pada sistem budidaya tanaman yang menghasilkan komoditas segar seperti sayuran, buah-buahan, dan tanaman hias untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari. Oleh karena itu, budidaya tanaman di kebun, pekarangan, atau di sekitar tempat tinggal termasuk dalam kegiatan hortikultura. Segala jenis tanaman, baik tanaman hias, buah-buahan, maupun sayuran yang ditanam di sekitar rumah atau lahan pekarangan, termasuk dalam kategori hortikultura (Winarni, 2014).

Hortikultura merupakan salah satu komoditas pertanian tropis yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia. Komoditas ini tidak hanya menjanjikan dari segi pemenuhan kebutuhan dalam negeri, tetapi juga berpeluang besar sebagai sumber devisa negara di masa depan. (Wiro Sasmito, 2017).

Tanaman hortikultura dapat dibudidayakan di berbagai agroekosistem, baik di wilayah pedesaan maupun di daerah pinggiran kota (peri-urban farming), serta di dataran tinggi maupun dataran rendah. Karena komoditas hortikultura sangat beragam dan dapat tumbuh di hampir semua jenis agroekosistem, maka kajian terhadap dampak perubahan iklim menjadi sangat penting untuk mendukung

peningkatan produktivitas dan keberlanjutan sistem produksi hortikultura. Perubahan iklim memengaruhi kondisi lingkungan yang pada akhirnya mengubah respons fisiologis tanaman. Berdasarkan data dari Direktorat Perlindungan Hortikultura (2014), pada tahun 2010 terjadi fenomena iklim La-Niña dengan intensitas sedang yang berdampak signifikan terhadap produktivitas tanaman hortikultura di Indonesia. Akibat fenomena ini, produksi buah-buahan dan sayuran menurun dibandingkan kondisi iklim normal. Penurunan ini menyebabkan kelangkaan pasokan di pasar dan berdampak pada kenaikan harga kedua komoditas tersebut (Sarvina, 2019).

2.1.1 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produktivitas Tanaman

Perubahan iklim berdampak langsung terhadap kondisi lingkungan tempat tumbuhnya tanaman, yang pada akhirnya memengaruhi proses fisiologis tanaman seperti pertumbuhan dan perkembangan. Ketika tanaman berada dalam kondisi lingkungan yang tidak sesuai atau kurang optimal, maka proses pertumbuhannya akan terhambat. Hal ini berdampak pada penurunan produktivitas serta menurunnya kualitas hasil panen. Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan iklim yang spesifik untuk dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal. Faktor-faktor iklim seperti suhu, curah hujan, intensitas cahaya, dan kelembaban udara memainkan peranan penting dalam keberhasilan produksi tanaman. Perubahan yang ekstrem atau fluktuasi yang tidak menentu dalam faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan stres fisiologis pada tanaman, yang berdampak pada pembungaan, pembuahan, dan bahkan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Tanaman hortikultura memiliki ragam jenis yang sangat luas, mulai dari sayuran, buah-buahan, hingga tanaman hias. Keragaman ini menjadikan respons terhadap perubahan iklim juga sangat bervariasi. Beberapa tanaman mungkin lebih tahan terhadap kondisi iklim ekstrem, sementara yang lainnya sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Oleh karena itu, sulit untuk menyimpulkan secara umum bagaimana dampak perubahan iklim terhadap seluruh komoditas hortikultura. Dengan kompleksitas tersebut, diperlukan penelitian yang mendalam dan menyeluruh guna memahami respons masing-masing jenis tanaman hortikultura terhadap berbagai bentuk perubahan iklim. Penelitian ini penting agar dapat disusun strategi adaptasi dan mitigasi yang tepat, baik dari segi pemilihan varietas unggul, penyesuaian teknologi budidaya, hingga pengelolaan lingkungan tumbuh tanaman. Seperti yang dikemukakan oleh (Hutabarat et al., 2012), upaya untuk mengatasi tantangan perubahan iklim terhadap produksi hortikultura harus didasarkan pada kajian ilmiah yang intensif dan komprehensif.

2.1.2 Dampak Perubahan Curah hujan

Curah hujan di Indonesia menunjukkan tingkat variabilitas yang sangat tinggi, baik secara spasial (antar wilayah) maupun temporal (antar waktu). Kondisi ini menyebabkan ketidakpastian dalam sistem pertanian, khususnya dalam hal perencanaan dan pengelolaan budidaya tanaman. Perubahan dalam intensitas dan frekuensi curah hujan tidak hanya berdampak pada ketersediaan air, tetapi juga memengaruhi kestabilan produksi pertanian secara keseluruhan. Secara ekonomi, perubahan curah hujan yang tidak menentu membawa dampak signifikan terhadap sektor pertanian di Indonesia, terutama pada komoditas

hortikultura seperti tanaman sayuran. Ketidakteraturan curah hujan menjadi salah satu faktor utama yang memicu peningkatan serangan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT). Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa perubahan pola curah hujan berkontribusi langsung terhadap meningkatnya intensitas dan persebaran OPT, yang berdampak pada penurunan hasil panen dan kerugian ekonomi petani (Susanti et al., 2015).

Dengan demikian, fluktuasi curah hujan yang ekstrem memberikan tekanan tambahan terhadap sistem produksi hortikultura. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan adaptif dalam sistem pertanian, seperti pemilihan varietas tahan terhadap penyakit dan hama, penggunaan sistem pengendalian OPT terpadu, serta pengelolaan air yang efisien untuk mengantisipasi kondisi iklim yang berubah-ubah.

2.1.3 Dampak Perubahan Suhu Udara

Suhu udara merupakan salah satu komponen utama dari faktor iklim yang memiliki pengaruh besar terhadap kehidupan dan produktivitas tanaman. Suhu berperan penting dalam mengatur berbagai proses fisiologis tanaman, mulai dari perkecambahan, pembentukan daun, fotosintesis, hingga pembungaan dan pembuahan. Oleh karena itu, perubahan suhu akibat pemanasan global dapat berdampak langsung terhadap dinamika pertumbuhan tanaman. Pengaruh suhu terhadap tanaman umumnya dipelajari melalui pendekatan *fenologi*, yaitu ilmu yang mempelajari fase-fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang terjadi secara alami dalam kaitannya dengan perubahan kondisi lingkungan, terutama iklim. Fenologi mencakup berbagai tahapan penting dalam siklus hidup tanaman, seperti saat berkecambah, berbunga, berbuah, dan gugur daun. Setiap

spesies tanaman memiliki karakteristik fenologi yang berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan lingkungan dan adaptasi biologisnya. Perbedaan inilah yang menjadikan fenologi sebagai indikator penting dalam memantau dan mengevaluasi kesehatan serta respons tanaman terhadap perubahan lingkungan. Karena fenologi sangat sensitif terhadap suhu, maka ia dapat digunakan sebagai alat yang akurat untuk mendeteksi dampak perubahan iklim, khususnya peningkatan suhu udara. Misalnya, dalam beberapa dekade terakhir, banyak penelitian menunjukkan adanya pergeseran waktu berbunga dan berbuah pada berbagai jenis tanaman sebagai respons terhadap peningkatan suhu global (Wang et al., 2017).

Pergeseran waktu berbunga ini bukan hanya berdampak pada ritme budidaya, tetapi juga dapat memengaruhi interaksi ekologis tanaman dengan serangga penyerbuk, serta berdampak pada kuantitas dan kualitas hasil panen. Jika tidak diantisipasi, perubahan ini bisa mengganggu kestabilan sistem pertanian, khususnya komoditas hortikultura yang sangat bergantung pada ketepatan fase pertumbuhan dan perkembangan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang hubungan antara suhu udara dan fenologi tanaman menjadi sangat penting, terutama dalam merumuskan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Informasi fenologis ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan waktu tanam yang tepat, memilih varietas tanaman yang lebih adaptif, dan menyusun jadwal pengelolaan lahan yang sesuai dengan kondisi iklim yang terus berubah.

2.2 Internet Of Things

Internet of Things (IoT), atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai Internet untuk Segala, merupakan sebuah sistem embedded yang dirancang untuk

memperluas pemanfaatan koneksi internet ke berbagai perangkat fisik di dunia nyata. Melalui koneksi yang selalu aktif, IoT memungkinkan berbagai perangkat—baik dalam bentuk peralatan rumah tangga, perangkat elektronik, bahan pangan, maupun alat industri—untuk saling terhubung, berbagi data, serta dikendalikan dari jarak jauh melalui jaringan internet. Setiap perangkat yang terhubung biasanya dilengkapi dengan sensor cerdas dan perangkat lunak pendukung, sehingga mampu mengirim dan menerima data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung (Keoh et al., 2014).

Sebagai salah satu inovasi teknologi yang pesat berkembang, IoT menawarkan potensi besar dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk pertanian. Dalam konteks pertanian modern, IoT hadir sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi berbagai tantangan konvensional melalui pendekatan berbasis teknologi digital. Peralatan dan sensor cerdas yang terintegrasi dengan jaringan internet memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dan tanaman secara real-time, termasuk suhu udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan kebutuhan air. Data tersebut kemudian dapat diolah untuk mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan tepat dalam proses budidaya. Di Indonesia, pemanfaatan IoT dalam sektor pertanian, khususnya hortikultura, memiliki peran strategis dalam meningkatkan daya saing serta mendorong terjadinya transformasi pertanian menuju sistem yang lebih modern dan efisien. Sayangnya, hingga saat ini, sebagian besar kegiatan hortikultura di tingkat nasional masih sangat bergantung pada kondisi alam dan metode tradisional. Potensi teknologi seperti IoT belum sepenuhnya dioptimalkan dalam

meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan sumber daya, serta ketepatan waktu dalam proses budidaya dan panen.

Penerapan IoT dalam hortikultura memungkinkan petani untuk memantau dan mengendalikan kondisi tanaman dan lahan secara langsung melalui perangkat digital seperti ponsel atau komputer. Teknologi ini dapat membantu dalam penjadwalan irigasi otomatis, pengendalian hama dan penyakit secara dini, hingga pemupukan yang lebih presisi. Dengan demikian, IoT tidak hanya membantu meningkatkan hasil panen, tetapi juga mengurangi pemborosan input pertanian serta meningkatkan kualitas produk hortikultura. Pemanfaatan IoT secara efektif dapat mendorong efisiensi yang lebih tinggi serta produktivitas yang lebih optimal dalam sistem pertanian modern (Roniyus, 2024)

2.3 Sistem Monitoring Berbasis Internet Of Things

Dengan adanya sistem monitoring berbasis embedded system yang bekerja secara otomatis dan berkesinambungan, pekerjaan petani menjadi jauh lebih terbantu dan efisien. Sistem ini memiliki keunggulan utama dibandingkan pemantauan manual karena tidak mengenal rasa lelah serta mampu melakukan pemantauan secara konsisten tanpa gangguan. Selain itu, sistem digital ini dapat meminimalisir kesalahan analisis yang sering terjadi akibat keterbatasan pengamatan manusia, terutama dalam mendeteksi kondisi tanah dan lingkungan secara akurat. Sistem monitoring yang diterapkan ini bertugas untuk memantau berbagai parameter penting dalam proses budidaya tanaman, khususnya tanaman hortikultura. Data yang dikumpulkan oleh sistem meliputi tingkat kelembaban tanah. Informasi tersebut sangat krusial untuk menentukan keputusan budidaya, seperti waktu penyiraman yang optimal (Qomarrudin Muhammad, 2019).

Teknologi ini dibangun dengan mengandalkan arsitektur yang terhubung melalui middleware, yaitu lapisan perangkat lunak yang berfungsi menghubungkan perangkat sensor (end device) dengan sistem pengolah data. Data yang dikumpulkan dari lapangan dikirim secara real-time ke middleware, lalu diproses dan ditampilkan melalui antarmuka pengguna yang dapat diakses langsung oleh petani. Melalui tampilan dashboard, petani dapat memantau kondisi tanaman secara langsung dari lokasi mana pun dan kapan pun. Informasi yang tersedia dalam bentuk visualisasi data yang mudah dipahami, memungkinkan petani mengambil tindakan cepat dan tepat berdasarkan data aktual. Hal ini tentunya dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan lahan dan tanaman, mengurangi pemborosan sumber daya, serta mendorong peningkatan hasil produksi yang lebih optimal. Dengan integrasi antara teknologi sensor, sistem otomatisasi, dan platform digital, sistem monitoring ini menjadi bagian penting dari implementasi smart farming atau pertanian cerdas di sektor hortikultura Indonesia. Transformasi ini merupakan langkah strategis menuju pertanian yang lebih modern, presisi, dan berkelanjutan.

2.4 Komponen Utama Dalam Sistem Monitoring

2.4.1 NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah platform IOT yang memiliki sifat opensource. Terdiri dari perangkat keras yang berupa system on chip ESP8266 dari ESP8266 buatan espressif sistem. NodeMCU juga dapat disebut sebagai arduinonya ESP8266. Gambar 2.1 memperlihatkan bentuk fisik dari NodeMCU ESP8266.

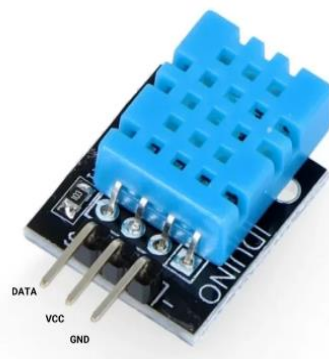


Gambar 2.1 *NodeMCU ESP8266*

Alasan pemilihan NodeMCU ESP8266 karena mudah deprogram dan memiliki pin I/O yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim atau mengambil data melalui koneksi WiFi .

2.4.2 Sensor DHT11

Sensor DHT11 merupakan salah satu jenis sensor digital yang dirancang khusus untuk mengukur dua parameter penting dalam lingkungan, yaitu suhu udara dan tingkat kelembaban relatif. Sensor ini dikenal memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta stabilitas yang baik dalam pengambilan data, sehingga sangat cocok digunakan dalam berbagai aplikasi, baik di bidang pemantauan lingkungan, pertanian, maupun sistem otomasi rumah tangga. Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk fisik dari Sensor DHT11.

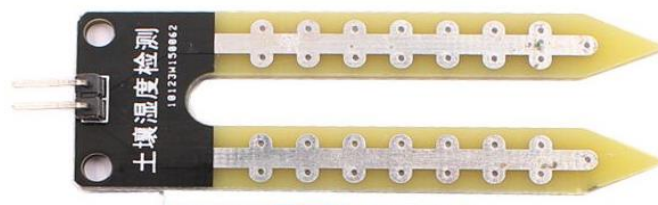


Gambar 2.2 *Sensor DHT11*

DHT11 bekerja dengan mengirimkan data suhu dan kelembaban secara digital ke mikrokontroler atau sistem pengolah data, sehingga memudahkan dalam proses integrasi dengan perangkat embedded seperti Arduino, Raspberry Pi, dan sistem IoT lainnya. Selain itu, sensor ini memiliki rentang pengukuran yang cukup luas dan respons yang cepat, menjadikannya pilihan populer untuk sistem monitoring berbasis real-time yang membutuhkan keandalan dalam pengukuran kondisi iklim mikro. Karena efisiensinya dalam konsumsi daya serta ukurannya yang relatif kecil, DHT11 juga sering digunakan dalam proyek-proyek skala kecil maupun sistem pertanian cerdas, di mana data suhu dan kelembaban merupakan informasi krusial dalam menjaga kesehatan tanaman dan mengoptimalkan proses budidaya.

2.4.3 Soil Moisture Sensor

Soil Moisture Sensor adalah jenis sensor elektronik yang digunakan untuk mengukur kadar kelembaban atau kadar air yang terkandung dalam tanah. Berbeda dengan sensor kelembaban tanah tipe resistif, sensor ini bekerja dengan prinsip kapasitansi, yaitu mengukur perubahan nilai kapasitansi di antara dua pelat konduktif yang tertanam dalam tanah. Gambar 2.3 memperlihatkan bentuk fisik dari Soil Moisture Sensor.



Gambar 2.3 Soil Moisture Sensor

Ketika kadar air dalam tanah berubah, nilai kapasitansinya juga akan berubah, dan dari sinilah sensor dapat menghitung tingkat kelembaban tanah secara lebih akurat. Salah satu keunggulan utama dari sensor kapasitif ini adalah daya tahannya terhadap korosi. Karena tidak menggunakan elektroda terbuka seperti sensor resistif, komponen sensornya tidak mudah rusak akibat reaksi kimia dengan air atau unsur dalam tanah, sehingga lebih awet untuk penggunaan jangka panjang, terutama dalam kondisi lingkungan yang lembap atau basah.

Sensor ini sangat cocok untuk aplikasi dalam sistem pertanian presisi atau smart farming, di mana informasi tentang tingkat kelembaban tanah sangat penting untuk mengatur jadwal dan volume irigasi secara efisien. Dengan mengintegrasikan sensor ini ke dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT), petani dapat memantau kelembaban tanah secara real-time melalui perangkat digital seperti smartphone atau komputer, sehingga keputusan penyiraman bisa dilakukan secara otomatis dan lebih tepat sasaran.

2.4.4 Baterai Silinder (18650)

Baterai silinder 18650 merupakan jenis baterai lithium-ion berbentuk tabung dengan ukuran standar sekitar 18 mm diameter dan 65 mm panjang. Baterai ini dikenal memiliki kapasitas energi yang tinggi, daya tahan yang baik, serta dapat diisi ulang, sehingga sangat ideal untuk digunakan dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT).

Dalam penerapan sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah pada tanaman hortikultura, baterai 18650 berperan sebagai sumber energi utama bagi perangkat IoT yang terdiri dari sensor dan mikrokontroler seperti Arduino. Penggunaan baterai ini memungkinkan sistem bekerja secara mandiri di

lapangan tanpa tergantung pada sumber listrik tetap, menjadikannya sangat cocok untuk diaplikasikan di area pertanian terbuka.



Gambar 2.4 Baterai silinder 18650

Kemampuannya untuk memberikan pasokan daya dalam waktu lama sangat mendukung keberlangsungan pemantauan lingkungan secara real-time, terutama di lokasi yang sulit dijangkau atau tidak memiliki akses listrik langsung. Dengan demikian, baterai 18650 berkontribusi besar dalam mewujudkan sistem pertanian presisi yang efisien dan berkelanjutan.

2.5 Manfaat Penerapan Teknologi IoT dalam Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Hortikultura

Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi digital, pemanfaatan Internet of Things (IoT) di sektor pertanian menjadi solusi inovatif untuk menjawab berbagai tantangan dalam proses budidaya tanaman, khususnya pada tanaman hortikultura. Sistem berbasis IoT memungkinkan integrasi antara perangkat keras dan lunak untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara otomatis dan berkesinambungan.

Dalam kegiatan budidaya hortikultura, suhu dan kelembaban tanah merupakan dua faktor krusial yang sangat mempengaruhi pertumbuhan serta hasil produksi

tanaman. Ketidakseimbangan pada kondisi tersebut dapat menimbulkan stres pada tanaman yang berujung pada penurunan produktivitas hingga gagal panen. Oleh sebab itu, penerapan teknologi IoT untuk memantau parameter tersebut menjadi salah satu pendekatan strategis dalam mendukung penerapan pertanian presisi.

Melalui sistem yang dilengkapi sensor dan terhubung dengan jaringan internet, petani dapat memperoleh data aktual secara cepat dan akurat terkait kondisi lingkungan pertanaman. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja dan pemanfaatan sumber daya, tetapi juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan mendukung peningkatan hasil panen. Adapun sejumlah manfaat utama dari penerapan teknologi IoT dalam pemantauan suhu dan kelembaban tanah pada tanaman hortikultura adalah sebagai berikut:

2.5.1 Pemantauan Lingkungan Secara Real-Time

Teknologi IoT memungkinkan petani untuk memantau suhu dan kelembaban tanah secara langsung dan terus-menerus melalui perangkat digital. Hal ini membantu dalam mengantisipasi kondisi ekstrem seperti kekeringan atau kelembaban berlebih yang dapat merusak tanaman hortikultura.

2.5.2 Pengambilan Keputusan yang Lebih Akurat

Dengan data yang akurat dan up-to-date, petani dapat mengambil keputusan berdasarkan kondisi nyata di lapangan, seperti kapan harus menyiram tanaman atau melakukan tindakan preventif lainnya.

2.5.3 Efisiensi Penggunaan Air

Sensor kelembaban tanah dapat membantu menentukan kebutuhan air yang tepat, sehingga petani tidak melakukan penyiraman secara berlebihan. Ini penting dalam menghadapi perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya air.

2.5.4 Peningkatan Produktivitas Tanaman

Dengan pemantauan yang tepat, kondisi optimal pertumbuhan tanaman bisa dijaga secara konsisten. Hal ini akan meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen hortikultura.

2.5.5 Mengurangi Ketergantungan pada Pemantauan Manual

IoT menggantikan sistem pemantauan manual yang memakan waktu dan tenaga, serta rentan terhadap kesalahan manusia. Ini sangat membantu terutama bagi petani dengan lahan luas atau jumlah tenaga kerja terbatas.

2.6 Sistem Deteksi Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis IoT

Sistem deteksi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sistem pemantauan otomatis berbasis teknologi Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk mengukur dan memantau kondisi lingkungan secara real-time, khususnya parameter suhu dan kelembaban tanah pada lahan pertanian hortikultura. Sistem ini memungkinkan pemantauan secara kontinyu yang sangat penting dalam mendukung keberhasilan budidaya tanaman. Salah satu parameter penting dalam pemantauan lingkungan adalah kelembaban tanah, yang merupakan komponen dinamis dan mudah berubah seiring waktu. Perubahan ini dapat terjadi dalam waktu singkat bahkan dalam jeda pemantauan tertentu (delay interval), akibat pengaruh suhu, curah hujan, intensitas penyiraman, serta karakteristik tanah. Kelembaban tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air yang tersimpan dalam tanah, dan hal ini secara langsung berdampak pada ketersediaan unsur hara serta

kondisi aerasi tanah, dua faktor yang sangat krusial dalam mendukung proses fisiologis tanaman. Oleh karena itu, pengaturan tingkat kelembaban tanah harus dilakukan secara tepat pada setiap fase pertumbuhan tanaman agar proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat berlangsung optimal (Akhyar Miftahul, 2022).

Lebih lanjut, kadar air tanah berperan penting dalam pertumbuhan sistem perakaran tanaman. Hal ini berkaitan erat dengan beberapa faktor, antara lain: ketersediaan air yang dibutuhkan akar secara langsung, pengaruh air terhadap proses fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat bagi pertumbuhan tanaman, ketersediaan oksigen di dalam tanah yang jenuh air, serta tingkat kekerasan tanah yang meningkat ketika tanah berada dalam kondisi kering. Tanah yang terlalu kering memiliki tingkat impedansi atau hambatan yang tinggi, sehingga menghambat penetrasi akar dan membatasi serapan nutrisi secara optimal.

Dalam upaya mengatasi tantangan tersebut, penerapan sensor kelembaban tanah berbasis IoT menjadi salah satu solusi yang efektif. Dengan adanya sensor ini, kebutuhan penyiraman tanaman dapat diatur berdasarkan kondisi aktual tanah, sehingga penggunaan air dapat dihemat secara signifikan tanpa mengorbankan kesehatan tanaman. Sistem ini mendukung prinsip pertanian berkelanjutan melalui efisiensi sumber daya.

Pada sistem yang dirancang dalam penelitian ini, digunakan mikrokontroler ESP8266, yaitu sebuah modul berbasis System-on-Chip (SoC) yang telah dilengkapi dengan Wi-Fi terintegrasi. ESP8266 merupakan produk dari Espressif Systems yang dirancang untuk menyediakan konektivitas internet dalam bentuk chip berukuran kecil dan efisien. Dengan menggunakan ESP8266,

perangkat sensor dapat secara langsung mengirimkan data suhu dan kelembaban tanah ke platform cloud tanpa memerlukan tambahan modul komunikasi eksternal, sehingga sistem menjadi lebih sederhana, hemat daya, dan mudah dikembangkan (Juwariyah et al., 2018).

2.7 Peringatan Dini Menggunakan Telegram Bot

Dalam sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things (IoT), kecepatan dalam menyampaikan informasi menjadi faktor penting agar pengguna dapat segera merespon kondisi yang tidak normal di lapangan. Salah satu solusi yang cukup efektif dan efisien untuk memberikan notifikasi secara real-time adalah melalui penggunaan Telegram Bot. Telegram Bot merupakan akun virtual pada aplikasi Telegram yang dapat diprogram untuk menjalankan berbagai fungsi otomatis, termasuk mengirim dan menerima pesan tanpa keterlibatan langsung dari pengguna.

Dalam konteks sistem monitoring berbasis ESP8266, Telegram Bot berperan sebagai media komunikasi utama antara perangkat dan pengguna. Ketika sensor mendeteksi adanya perubahan kondisi lingkungan—misalnya suhu udara yang melebihi ambang batas tertentu atau kelembaban tanah yang terlalu rendah—maka perangkat akan secara otomatis mengirimkan pesan peringatan ke akun Telegram pengguna melalui bot. Hal ini memungkinkan pengguna untuk menerima notifikasi secara cepat, tanpa perlu memantau dashboard sistem secara terus-menerus.

Integrasi antara ESP8266 dan Telegram Bot dilakukan melalui jaringan internet menggunakan pustaka pemrograman seperti `UniversalTelegramBot.h` dan `WiFiClientSecure.h`. Dengan konfigurasi tersebut, mikrokontroler dapat

mengakses Telegram API dan mengirim pesan langsung sesuai dengan logika kondisi yang telah ditentukan dalam program. Misalnya, apabila suhu melebihi 35°C atau kelembaban tanah turun di bawah 30%, maka sistem akan langsung mengirimkan peringatan berupa teks ke Telegram pengguna, seperti “⚠️ Suhu lingkungan terlalu tinggi!” atau “🌱 Kelembaban tanah rendah, segera lakukan penyiraman.”

Penggunaan Telegram sebagai media notifikasi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode konvensional seperti SMS atau alarm lokal. Selain dapat digunakan secara gratis tanpa biaya langganan atau pulsa, Telegram juga bersifat multiplatform dan dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti smartphone, laptop, maupun tablet. Selain itu, Telegram Bot dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung interaksi dua arah, seperti permintaan data kondisi sensor terbaru oleh pengguna.

Secara keseluruhan, integrasi Telegram Bot dalam sistem monitoring ini tidak hanya meningkatkan efisiensi komunikasi, tetapi juga memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengawasan jarak jauh. Pengguna dapat merespons lebih cepat terhadap kondisi kritis, sehingga potensi kerusakan tanaman akibat perubahan lingkungan yang ekstrem dapat diminimalkan.

2.8 Sistem Pendukung Keputusan

Sistem Pendukung Keputusan merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk membantu pengambilan keputusan dalam situasi yang kompleks. menyediakan informasi yang relevan dan analisis data untuk membantu pengambil keputusan dalam membuat keputusan yang lebih tepat dan efisien. Menurut Turban et al. (2018), Sistem pendukung keputusan berfungsi

untuk mendukung, bukan menggantikan, pengambil keputusan dengan menyediakan informasi yang relevan, analisis, dan pemodelan data.

Dalam konteks pertanian, khususnya dalam penelitian ini yang berkaitan dengan pemantauan kondisi tanaman hortikultura, sistem pendukung Keputusan dapat berperan penting dalam mengelola data yang dihasilkan dari teknologi Internet of Things (IoT) dan menghasilkan prediksi serta rekomendasi untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Misalnya, sistem ini dapat menganalisis data suhu dan kelembaban tanah untuk memberikan rekomendasi apakah hari berikutnya tepat untuk menyiram tanaman (Pereira et al., 2020).

2.8.1 Machine Learning dalam Sistem Pendukung Keputusan

Dalam konteks Sistem pendukung keputusan yang digunakan dalam pertanian, teknologi machine learning memainkan peranan penting dalam meningkatkan kemampuan prediksi dan pengambilan keputusan secara otomatis. Algoritma machine learning seperti Random Forest dapat digunakan untuk menganalisis pola data historis yang dikumpulkan oleh sensor-sensor IoT, seperti data suhu dan kelembaban tanah. Random Forest adalah algoritma yang menggunakan kumpulan pohon keputusan untuk membuat prediksi. Dalam kasus ini, algoritma ini dapat memprediksi kondisi kelembaban tanah atau suhu yang optimal untuk pertumbuhan tanaman.

2.9 Penelitian Terdahulu

1. Saputra et al. (2021)

Dalam penelitiannya, Saputra dan tim mengembangkan sistem pemantauan kelembaban tanah berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor kelembaban tanah tipe

resistif. Data yang diperoleh dikirim ke aplikasi Blynk agar dapat dipantau secara real-time melalui ponsel. Penelitian ini berhasil menyajikan informasi kelembaban secara langsung, namun sistem hanya bersifat monitoring dan belum dilengkapi dengan fitur prediktif atau sistem pendukung keputusan yang cerdas.

2. Ariyanto et al. (2021)

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah menggunakan sensor DHT11 dan sensor kelembaban resistif, dengan pengiriman data menggunakan ESP8266 ke platform ThingSpeak. Fokus utama penelitian ini adalah pada aspek pengumpulan dan visualisasi data, tanpa adanya fitur pengolahan data lebih lanjut atau integrasi dengan kecerdasan buatan. Kelemahan utama dari sistem ini adalah akurasi sensor yang terbatas serta tidak adanya fungsi analisis lanjutan untuk mendukung pengambilan keputusan oleh petani.

3. Sabarina et al. (2023)

Sabarina dan rekan melakukan penelitian tentang pemantauan lingkungan tanaman hortikultura di daerah dengan curah hujan rendah. Mereka memanfaatkan ESP32 dan sensor kelembaban untuk memberikan informasi kondisi lingkungan tanaman secara daring. Antarmuka yang digunakan berupa sistem berbasis web, yang cukup informatif. Namun demikian, sistem ini juga hanya menyediakan informasi pemantauan tanpa fitur rekomendasi atau pembelajaran mesin yang mampu menganalisis pola data historis.

2.9.1 Perbedaan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 *Perbedaan Penelitian ini dengan Penelitian Terdahulu*

No	Peneliti	Perbedaan Utama
1	Saputra et al. (2021)	Hanya monitoring, tanpa prediksi atau DSS
2	Ariyanto et al. (2021)	Visualisasi real-time tanpa pengolahan data lanjutan
3	Sabarina et al. (2023)	Tidak ada fitur prediksi atau pembelajaran mesin
4	Penelitian ini	Dilengkapi prediksi Random Forest dan notifikasi Telegram

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam proses pengembangan alat pada penelitian ini adalah Research and Development (R&D). R&D adalah metode yang digunakan dalam kegiatan penelitian untuk merancang, mengembangkan, dan sekaligus menguji keefektifan suatu produk tertentu sebelum produk tersebut diterapkan secara luas. Dengan kata lain, metode ini tidak hanya fokus pada penciptaan produk semata, tetapi juga memperhatikan aspek evaluasi dan perbaikan agar produk yang dihasilkan benar-benar layak untuk digunakan sesuai dengan kebutuhan target pengguna. Berdasarkan kedua pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa Research and Development merupakan metode penelitian yang sistematis dan berorientasi pada penciptaan inovasi, baik dalam bentuk produk fisik maupun sistem digital. Proses dalam metode ini mencakup tahap identifikasi masalah, perancangan, pembuatan purwarupa, pengujian, hingga evaluasi dan revisi produk. Hal ini menjadikan metode R&D sangat relevan dalam pengembangan teknologi di bidang pertanian, khususnya dalam menghadirkan solusi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu menjawab tantangan modern dalam pengelolaan lingkungan pertanian (Akhyar Miftahul, 2022).

Dalam konteks penelitian ini, metode R&D digunakan untuk merancang dan mengembangkan sebuah sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis teknologi IoT, yang dirancang khusus untuk mendukung kegiatan budidaya tanaman hortikultura. Sistem ini menggabungkan berbagai sensor seperti DHT11

untuk suhu dan kelembaban udara, sensor kapasitif untuk kelembaban tanah, dan ESP8266 sebagai mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi terintegrasi, sehingga data dapat dikirimkan secara real-time ke perangkat mobile. Dengan adanya sistem ini, diharapkan petani dapat memperoleh informasi lingkungan secara cepat, akurat, dan mudah diakses, sehingga pengambilan keputusan dalam proses perawatan tanaman dapat dilakukan secara lebih tepat waktu dan efisien.

3.2 Subjek, Objek, Waktu Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah perkebunan hortikultura yang berada di Kampung Darul Amin Glugur Rimbun kecamatan kutalimbaru, kabupaten deli serdang. Objek penelitian adalah tanaman hortikultura sayuran yaitu bayam. Waktu penelitian akan berlangsung selama 3 Bulan.

3.3 Perancangan Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis IoT

Perancangan sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT bertujuan untuk membantu petani dalam mengelola kondisi lingkungan secara lebih efektif, guna meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi tanah secara real-time, yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Berikut adalah langkah-langkah yang dapat diambil dalam perancangan sistem:

1. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi tantangan yang dihadapi oleh petani dalam pengelolaan kelembaban tanah, seperti kesulitan dalam memantau kelembaban tanah secara manual, terutama pada lahan yang luas dan di daerah dengan curah hujan rendah

Tanpa sistem pemantauan yang efisien, petani sering kali kesulitan menentukan kapan waktu yang tepat untuk menyiram tanaman, yang dapat mengarah pada kekeringan atau pemborosan air.

2. Pengembangan Prototipe

Merancang dan mengembangkan prototipe sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis IoT, yang meliputi pemilihan sensor yang sesuai, seperti sensor DHT11 untuk memantau suhu dan kelembaban udara, serta sensor kapasitif untuk mengukur kelembaban tanah. Perangkat lunak yang digunakan akan mengelola data dari sensor secara real-time dan menampilkan informasi yang dibutuhkan oleh petani untuk mengambil keputusan. Sistem ini akan dilengkapi dengan antarmuka pengguna yang intuitif, yang memungkinkan petani untuk memantau kondisi lingkungan tanaman melalui aplikasi mobile atau web. Dengan informasi yang akurat, petani dapat menentukan kebutuhan penyiraman yang tepat.

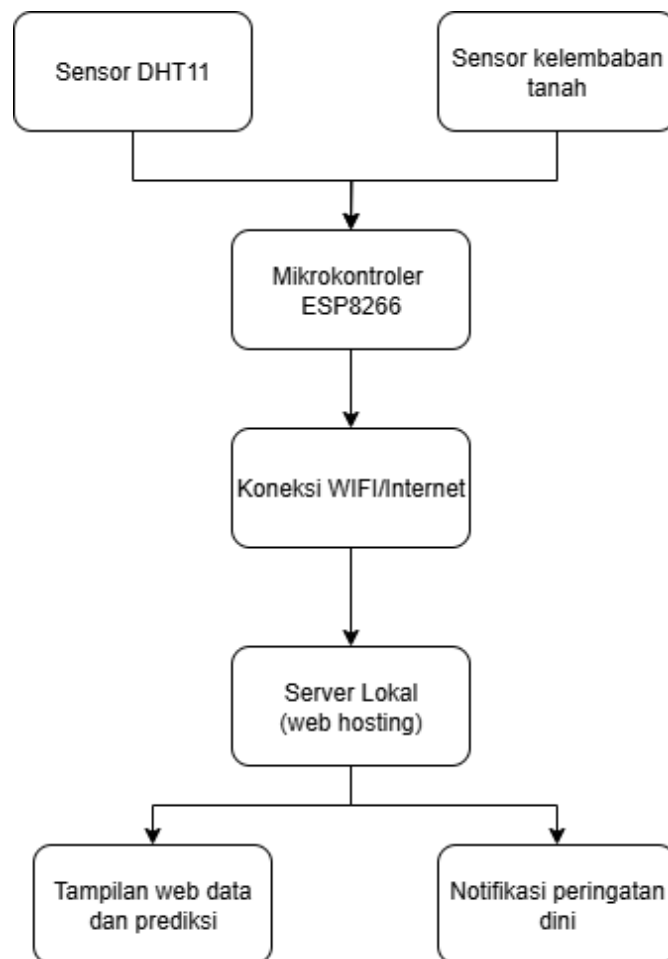
3. Integrasi dengan Sistem Pengolahan Data dan Pengambilan Keputusan

Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi, sistem ini akan dilengkapi dengan algoritma machine learning yang berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan. Data historis mengenai suhu dan kelembaban tanah dapat dianalisis untuk memprediksi kebutuhan air dan memberikan rekomendasi mengenai apakah keesokan harinya adalah waktu penyiraman yang optimal. Sistem ini juga dapat memberikan peringatan dini jika kondisi kelembaban tanah terlalu rendah atau terlalu tinggi, yang memungkinkan petani untuk segera mengambil Tindakan.

4. Penerapan dalam Lingkungan Pertanian

Sistem ini akan diuji dalam lingkungan pertanian hortikultura, dengan fokus pada tanaman sayuran seperti bayam, yang sensitif terhadap kondisi kelembaban tanah. Dengan pemantauan kondisi tanah yang lebih akurat, petani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi risiko gagal panen, dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

5. Diagram Blok Sistem



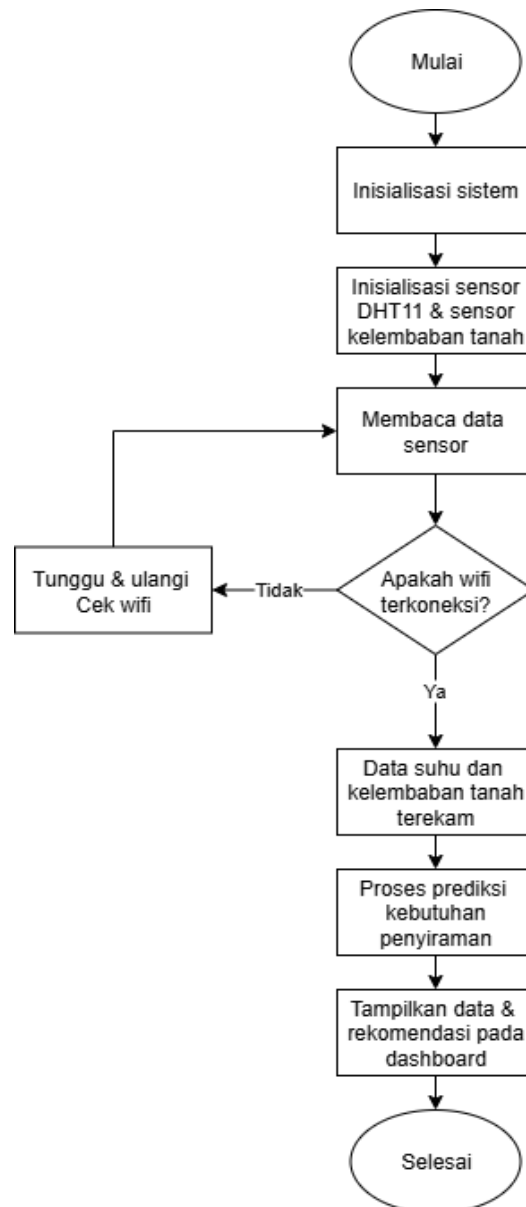
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Sistem ini dimulai dari dua sensor, yaitu sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kadar air dalam media tanam. Data dari kedua sensor dikirim ke mikrokontroler ESP8266, yang kemudian menghubungkannya ke jaringan internet melalui WiFi. Informasi yang diterima akan diteruskan ke server lokal untuk diolah. Dari server ini, data ditampilkan dalam bentuk antarmuka web dan digunakan untuk melakukan prediksi kebutuhan penyiraman tanaman menggunakan algoritma machine learning. Selain itu, jika kondisi lingkungan dianggap kritis, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis melalui Telegram Bot.

Alur ini memungkinkan pengguna mendapatkan informasi cepat dan akurat, baik melalui tampilan web maupun pesan notifikasi. Sistem ini dimulai dari dua sensor, yaitu sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kadar air dalam media tanam. Data dari kedua sensor dikirim ke mikrokontroler ESP8266, yang kemudian menghubungkannya ke jaringan internet melalui WiFi.

Informasi yang diterima akan diteruskan ke server lokal untuk diolah. Dari server ini, data ditampilkan dalam bentuk antarmuka web dan digunakan untuk melakukan prediksi kebutuhan penyiraman tanaman menggunakan algoritma machine learning. Selain itu, jika kondisi lingkungan dianggap kritis, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis melalui Telegram Bot. Alur ini memungkinkan pengguna mendapatkan informasi cepat dan akurat, baik melalui tampilan web maupun pesan notifikasi

6. Flowchart Sistem Pemantauan IoT untuk Hortikultura



Gambar 3.2 Flowchart Sistem Pemantauan IoT untuk Hortikultura

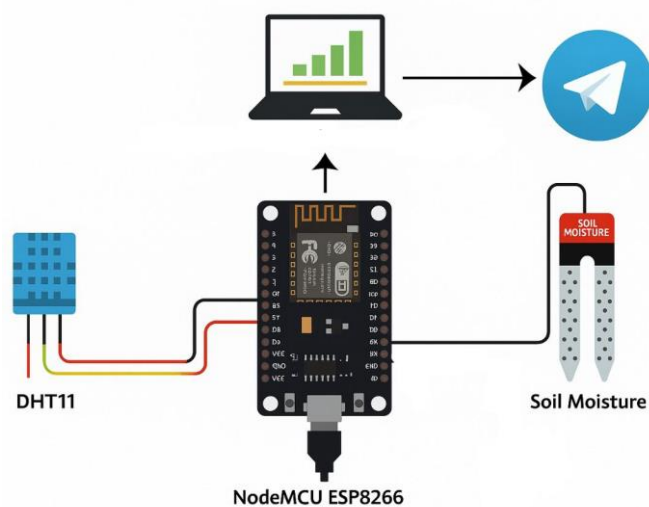
Flowchart tersebut menggambarkan alur kerja sistem monitoring dan prediksi kebutuhan penyiraman tanaman berbasis sensor suhu dan kelembaban tanah. Proses dimulai ketika sistem diaktifkan. Langkah pertama adalah melakukan inisialisasi sistem secara keseluruhan, dilanjutkan dengan inisialisasi sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara serta sensor kelembaban tanah. Setelah sensor berhasil diinisialisasi, sistem mulai membaca data dari kedua

sensor tersebut. Selanjutnya, sistem akan memeriksa apakah perangkat terhubung dengan jaringan wifi. Jika tidak terkoneksi, sistem akan masuk ke tahap menunggu dan mengulangi proses pengecekan wifi, kemudian kembali ke proses pembacaan data sensor.

Apabila koneksi wifi tersedia, data suhu dan kelembaban tanah yang terbaca akan direkam oleh sistem. Data ini kemudian diproses untuk memprediksi kebutuhan penyiraman tanaman, baik menggunakan metode logika tertentu maupun pendekatan berbasis machine learning. Setelah proses prediksi selesai, hasil berupa data dan rekomendasi penyiraman akan ditampilkan pada dashboard yang dapat diakses oleh pengguna.

Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara real-time dan mendapatkan saran penyiraman yang tepat. Proses ini kemudian dianggap selesai dan siap untuk mengulangi siklus berikutnya sesuai dengan interval yang ditentukan.

3.4 Rangkaian Alat Pemantauan Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things (IoT)



Gambar 3.3 Rangkaian Alat

NodeMCU ESP8266 sebagai komponen utama pengolah data. Terpasang sensor DHT11 yang digunakan untuk mengukur suhu serta kelembaban udara, dan ditempatkan pada sisi atas kanan. Selain itu, juga terdapat sensor kelembaban tanah kapasitif untuk mendeteksi kelembaban tanah secara langsung. Rangkaian ini memungkinkan sensor membaca data lingkungan secara terus-menerus, lalu mengirimkan informasi tersebut melalui jaringan WiFi ke server, untuk ditampilkan dalam antarmuka web dan dikombinasikan dengan sistem prediksi serta pengiriman notifikasi melalui Telegram.

3.5 Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian dan evaluasi merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT), khususnya dalam mendukung budidaya tanaman hortikultura. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa sistem yang telah dirancang tidak hanya berjalan sesuai dengan fungsinya, tetapi juga mampu memenuhi kebutuhan pengguna, yaitu petani, dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Proses pengujian ini dilakukan melalui dua pendekatan sebagai berikut:

1. Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen sistem bekerja sebagaimana mestinya. Hal ini mencakup sensor suhu dan kelembaban tanah, modul komunikasi berbasis WiFi, serta antarmuka pengguna yang menampilkan data real-time. Pada tahap ini, diuji apakah data dari sensor dapat terbaca dengan benar, dikirim ke server, serta ditampilkan dengan akurat pada

dashboard. Fungsi prediksi berbasis machine learning juga diuji untuk memberikan rekomendasi penyiraman yang sesuai.

2. Pengujian Kinerja

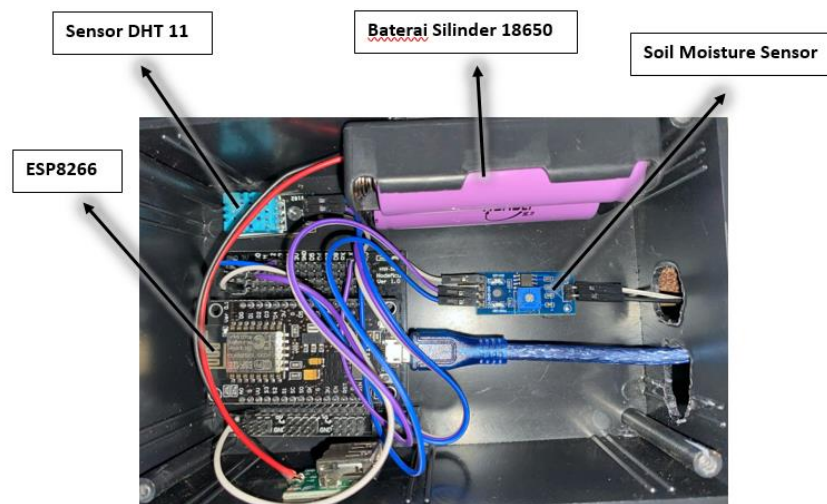
Dalam pengujian ini, sistem dioperasikan dalam lingkungan pertanian nyata, khususnya pada budidaya tanaman bayam sebagai objek penelitian. Sistem diuji terhadap berbagai kondisi suhu dan kelembaban untuk mengamati respon sensor, kecepatan pengiriman data, serta kemampuan dashboard menampilkan data secara real-time. Efisiensi penggunaan daya dan kestabilan koneksi internet juga menjadi bagian penting dalam pengujian ini untuk menjamin sistem dapat digunakan secara berkelanjutan di lahan pertanian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Alat dan Sistem

Sistem pemantauan suhu dan kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Tujuan dari sistem ini adalah untuk membantu petani hortikultura dalam memantau kondisi lingkungan secara real-time, serta memberikan prediksi penyiraman berdasarkan analisis data yang dikumpulkan. Berikut gambar perangkat utama yang digunakan dalam sistem.



Gambar 4.1 Perangkat utama sistem

Perangkat utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi NodeMCU ESP8266 sebagai pusat kontrol dan penghubung jaringan, sensor DHT11 untuk pengukuran suhu dan kelembaban udara, serta sensor kelembaban tanah kapasitif yang mampu mendeteksi kadar air pada media tanam secara lebih akurat dan tahan terhadap korosi. Seluruh perangkat tersebut dipasang dalam kotak pelindung tahan air untuk menjamin keandalan di lapangan.

Sumber daya sistem berasal dari dua buah baterai lithium 18650, menjadikannya mandiri dan portabel, sangat cocok untuk digunakan di lokasi pertanian yang jauh dari sumber listrik. Data yang dikumpulkan oleh sensor dikirimkan ke server lokal menggunakan koneksi WiFi, kemudian diolah dan ditampilkan melalui antarmuka web berbasis PHP. Sistem juga dilengkapi dengan pengiriman peringatan otomatis ke Telegram apabila ditemukan kondisi lingkungan ekstrem

4.2 Pengujian Alat

Tabel 4.1 *Pengujian Alat*

No	Suhu	Kelembaban Udara	Kelembaban Tanah	Hasil Pengujian Sistem	Keterangan
1	34.7	52	21	Sistem mengirim peringatan otomatis melalui bot Telegram karena tanah terlalu kering.	Sensor berhasil mendeteksi kondisi kritis (tanah kering < 30%) dengan akurat.
2	33.1	55	26	Sistem mengirim notifikasi peringatan melalui Telegram karena kelembaban tanah < 30%.	Tanah mulai mengering; sistem memicu peringatan otomatis sesuai ambang batas.
3	31.6	60	29	Sistem kembali memberikan notifikasi penyiraman karena nilai kelembaban tetap di bawah 30%.	Validasi sistem menunjukkan fungsi peringatan bekerja konsisten pada kondisi serupa.
4	30.2	65	36	Tidak ada notifikasi karena kelembaban tanah masih dalam batas normal, grafik sensor menurun.	Sensor membaca data dengan akurat, sistem tidak memicu peringatan karena belum melewati ambang batas.
5	28.5	75	48	Sistem tetap mengirimkan data ke server dan menampilkan grafik secara real-time. Tidak ada peringatan dikirim karena kondisi optimal.	Kondisi lingkungan lembap dan tanah basah. Sistem dalam keadaan stabil dan tidak memicu notifikasi.

4.3 Pengujian Sistem

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem, baik itu dari sisi fisik (hardware) maupun logika (software), dapat berjalan sesuai dengan fungsinya dan memberikan output yang akurat dan andal.

Metode pengujian yang digunakan mencakup pengamatan langsung terhadap respon perangkat, pencatatan hasil dari sensor, verifikasi komunikasi data ke server lokal, serta pemeriksaan terhadap sistem peringatan melalui notifikasi Telegram. Proses pengujian dilakukan secara berurutan untuk memastikan integrasi antar komponen berjalan dengan lancar dan sesuai dengan spesifikasi sistem yang telah dirancang.

4.3.1 Uji Fungsionalitas Perangkat

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak beroperasi sesuai fungsi yang telah ditentukan. Sensor DHT11 mampu mengukur suhu dan kelembaban udara dengan tingkat akurasi yang memadai. Sensor kelembaban tanah juga berhasil mendeteksi kadar air tanah dan memberikan output digital yang stabil.

NodeMCU ESP8266 mampu membaca data dari sensor, memprosesnya, dan mengirimkan hasilnya melalui WiFi ke server lokal. Data ini kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel pada dashboard antarmuka pengguna. Selain itu, sistem prediksi yang berbasis

algoritma Random Forest mampu menganalisis data historis dan memberikan rekomendasi waktu penyiraman tanaman dengan tingkat akurasi yang cukup baik.

Pengujian juga dilakukan terhadap fitur notifikasi Telegram. Saat sensor mendeteksi bahwa kelembaban tanah berada di bawah ambang batas (misalnya $<30\%$), sistem langsung mengirimkan pesan ke Telegram dengan peringatan seperti “ Kelembaban tanah rendah, segera siram tanaman.” Fitur ini terbukti berfungsi dengan baik dan menjadi nilai tambah dalam hal responsivitas sistem.

4.3.2 Uji Kinerja Lapangan

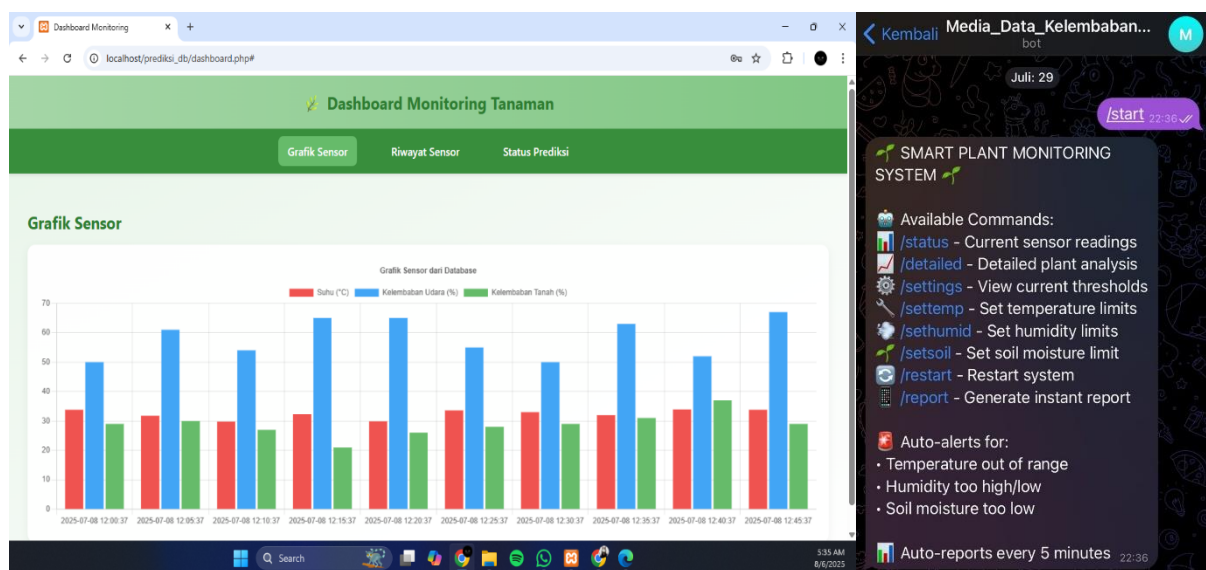
Sistem diuji secara langsung di lahan pertanian hortikultura yang terletak di Kampung Darul Amin Glugur Rimbun, Kecamatan Kutalimbaru, Kabupaten Deli Serdang. Tanaman yang menjadi objek utama dalam pengujian adalah bayam, yang dikenal cukup sensitif terhadap perubahan kelembaban tanah. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dalam kondisi lingkungan terbuka.

Data suhu dan kelembaban udara serta kelembaban tanah dapat dikumpulkan secara kontinyu dan ditampilkan di server lokal. Sistem dapat bekerja selama lebih dari 10 jam tanpa pengisian ulang baterai, dan mampu menangani fluktuasi suhu siang-malam serta perubahan tingkat kelembaban tanah setelah penyiraman atau hujan. Informasi ini sangat berguna bagi petani untuk menentukan waktu penyiraman yang optimal, serta memantau respons tanaman terhadap perubahan cuaca.

4.4 Analisis Perbandingan Dengan Sistem Tradisional

Jika dibandingkan dengan metode pemantauan manual yang selama ini digunakan petani, sistem berbasis IoT ini memberikan banyak keunggulan. Metode tradisional biasanya membutuhkan tenaga manusia untuk melakukan pengecekan langsung ke lapangan dan mencatat kondisi lingkungan. Hal ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga tidak efisien jika dilakukan di lahan yang luas. Dengan sistem otomatis, proses pemantauan menjadi lebih cepat, akurat, dan tidak memerlukan intervensi manusia secara langsung. Data yang dikumpulkan pun dapat disimpan untuk keperluan analisis lebih lanjut, yang sebelumnya sulit dilakukan dalam metode konvensional.

4.5 Tampilan Antarmuka Sistem



Gambar 4.2 Tampilan Antarmuka Sistem

Antarmuka sistem merupakan bagian penting dalam proses interaksi antara pengguna dan sistem monitoring yang telah dibangun. Antarmuka ini dirancang agar dapat menyajikan informasi secara informatif, ringkas, dan mudah dipahami oleh pengguna, khususnya petani atau operator lapangan.

Dalam sistem ini, antarmuka mencakup visual yang ditampilkan melalui dashboard website dan aplikasi Telegram.

Pada bagian perangkat lunak, sistem menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang diprogram melalui Arduino IDE bertugas untuk membaca data dari sensor suhu-kelembaban udara (DHT11) dan kelembaban tanah, kemudian mengirimkan data tersebut ke server lokal melalui koneksi WiFi. Selain itu, NodeMCU juga terintegrasi dengan sistem notifikasi Telegram yang secara otomatis mengirimkan peringatan ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Sedangkan pada sisi tampilan visual, antarmuka berbasis web digunakan untuk menampilkan data lingkungan yang telah dikumpulkan dalam bentuk grafik dan tabel, serta menyediakan fitur prediksi waktu penyiraman tanaman dengan bantuan algoritma Random Forest. Pengguna dapat mengakses dashboard ini melalui perangkat komputer selama terhubung ke jaringan lokal yang sama dengan server. Berikut adalah penjabaran lebih rinci dari masing-masing antarmuka yang telah diimplementasikan dalam sistem:

4.5.1 Kode Program Arduino (NodeMCU ESP8266)

Implementasi perangkat keras dikendalikan melalui pemrograman mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang melalui Arduino IDE. Program bertugas membaca data dari sensor, mengirim ke server lokal, serta mengaktifkan notifikasi Telegram. Berikut adalah potongan kode utama yang digunakan dalam sistem

Tabel 4.2 Penjelasan Program ESP8266

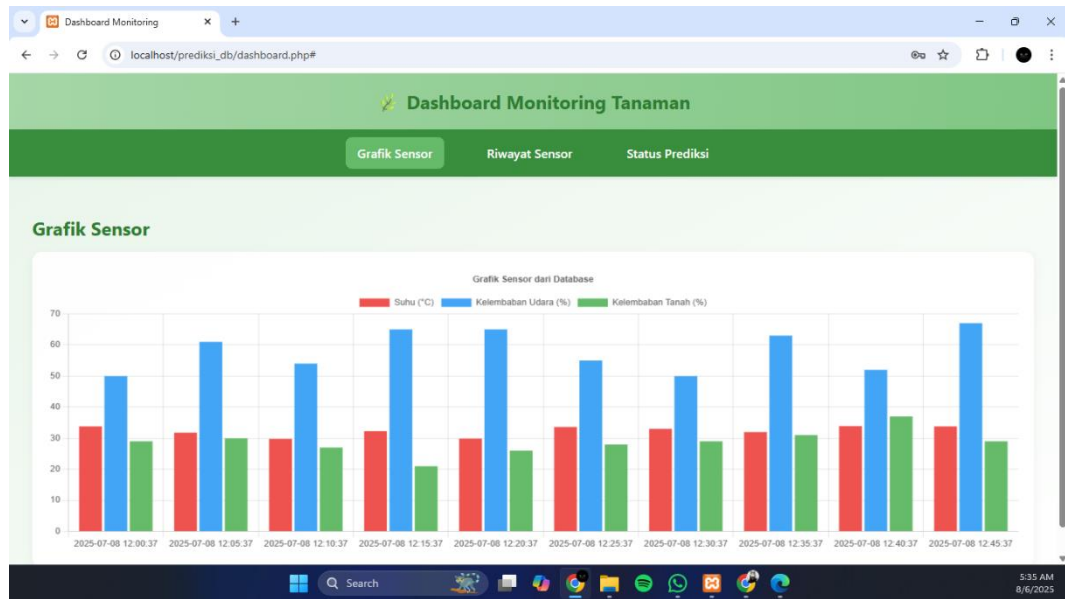
No	Bagian Kode	Deskripsi	Kode Implementasi
1	Koneksi WiFi dan Telegram Bot	Menghubungkan NodeMCU ESP8266 ke jaringan WiFi serta menginisialisasi bot Telegram agar dapat mengirim dan menerima pesan.	WiFi.begin(ssid, password); clientTCP.setInsecure(); UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, clientTCP);
2	Inisialisasi Sensor DHT dan Kelembaban Tanah	Mengatur pin dan jenis sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11) serta sensor kelembaban tanah pada pin A0.	#define DHT_PIN D4 #define DHT_TYPE DHT11 DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE); #define SOIL_PIN A0
3	Pembacaan Sensor Suhu, Kelembaban, dan Tanah	Membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT11 serta kelembaban tanah dari sensor analog.	temperature = dht.readTemperature(); humidity = dht.readHumidity(); soilMoisture = analogRead(SOIL_PIN); soilMoisturePercent = map(soilMoisture, 1024, 300, 0, 100);
4	Kirim Data ke Server PHP	Mengirimkan data sensor suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah ke server lokal melalui metode HTTP POST dengan format parameter: temperature, humidity, dan soil.	http.begin(client, serverName); http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded"); String httpRequestData = "temperature=" + String(temperature, 1) + "&humidity=" + String(humidity, 1) + "&soil=" + String(soilMoisturePercent, 1); http.POST(httpRequestData);
5	Cek dan Kirim Peringatan Telegram	Memeriksa apakah nilai sensor melampaui ambang batas dan mengirim peringatan otomatis ke Telegram jika perlu.	if (temperature < tempMin temperature > tempMax) { ... bot.sendMessage(chatId, alert, ""); }
6	Auto Report ke Telegram	Mengirim laporan berkala setiap 5 menit ke Telegram yang memuat kondisi suhu, kelembaban, dan tanah.	sendAutoReport(); pada loop() report += " ⚡ Temperature: " + String(temperature) + "°C";
7	Perintah Telegram Bot (Command Handler)	Menangani perintah dari pengguna seperti /status, /detailed, /report, dll., dan memberikan respon sesuai kondisi tanaman.	if (text == "/status") { ... bot.sendMessage(chatId, status, ""); } if (text == "/report") { sendAutoReport(); }

4.5.2 Dashboard Web Monitoring

Salah satu fitur utama dalam sistem monitoring ini adalah antarmuka berbasis web yang dirancang untuk menampilkan informasi secara real-time dan terstruktur. Dashboard web ini bertindak sebagai jembatan komunikasi antara perangkat monitoring dan pengguna, di mana semua data sensor yang dikumpulkan akan divisualisasikan agar mudah dipahami. Melalui dashboard ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan pertanian secara langsung tanpa perlu berinteraksi langsung dengan perangkat keras. Pengembangan antarmuka web dilakukan dengan mempertimbangkan aspek fungsionalitas, kemudahan akses, dan kenyamanan visual. Sistem ini mengandalkan teknologi client-server di mana data dari NodeMCU ESP8266 dikirim ke server lokal, kemudian ditampilkan dalam format grafis dan tabel melalui browser di perangkat computer maupun laptop selama masih berada dalam jaringan yang sama dengan server lokal. Berikut adalah elemen-elemen informasi yang disajikan dalam dashboard web:

1. Grafik suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah

Data sensor ditampilkan dalam bentuk grafik agar pengguna dapat memantau tren perubahan kondisi lingkungan secara lebih intuitif dan visual.



Gambar 4.3 Grafik suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah

2. Riwayat pembacaan sensor dalam bentuk tabel

Selain grafik, sistem juga menyediakan tampilan tabel yang mencatat hasil pembacaan sensor untuk memudahkan pengguna dalam melakukan penelusuran data historis.

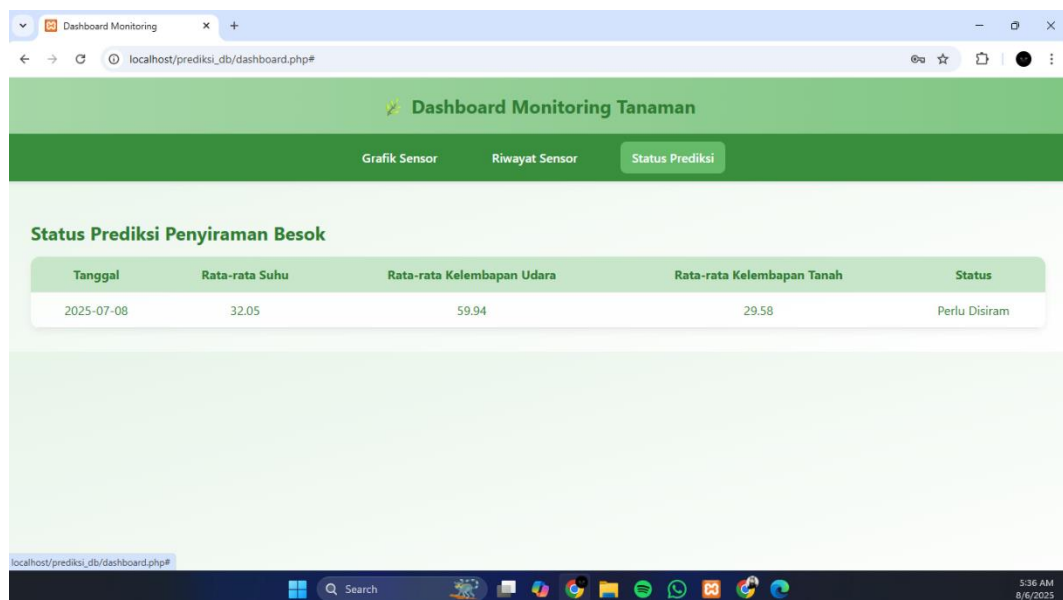
Riwayat Pembacaan Sensor

Waktu	Suhu	Kelembapan Udara	Kelembapan Tanah
2025-07-08 12:45:37	33.8	67	29
2025-07-08 12:40:37	33.9	52	37
2025-07-08 12:35:37	32	63	31
2025-07-08 12:30:37	33	50	29
2025-07-08 12:25:37	33.6	55	28
2025-07-08 12:20:37	29.9	65	26
2025-07-08 12:15:37	32.3	65	21
2025-07-08 12:10:37	29.8	54	27

Gambar 4.4 Riwayat pembacaan sensor dalam bentuk tabel

3. Status prediksi kebutuhan penyiraman

Sistem akan menampilkan informasi prediksi dengan status seperti “Perlu disiram” atau “Tidak Perlu disiram” berdasarkan hasil analisis menggunakan algoritma Random Forest yang berjalan di sisi server.



Gambar 4.5 *Status prediksi kebutuhan penyiraman*

Seluruh tampilan ini dibuat dengan desain yang ramah pengguna dan mendukung penggunaan di lapangan, sehingga petani atau operator dapat memantau kondisi tanaman secara efisien dan cepat hanya melalui perangkat yang mereka miliki.

4.6 Notifikasi Telegram Bot

Dalam sistem monitoring ini, Telegram dimanfaatkan sebagai media komunikasi untuk menyampaikan peringatan secara langsung kepada pengguna. Integrasi dengan Telegram bot bertujuan untuk meningkatkan kecepatan respons pengguna terhadap kondisi lingkungan tanaman yang memerlukan perhatian segera, seperti kekurangan air di tanah.

Bot Telegram dihubungkan langsung dengan NodeMCU ESP8266 melalui koneksi internet. Ketika sensor kelembaban tanah mendeteksi bahwa nilai pembacaan berada di bawah ambang batas kritis (contohnya $<30\%$), sistem secara otomatis akan mengirimkan pesan peringatan ke akun Telegram pengguna. Pesan yang dikirim bersifat informatif dan disusun dalam format yang mudah dipahami agar pengguna dapat segera melakukan tindakan, seperti menyiram tanaman. Contoh pesan yang dikirim oleh sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Notifikasi Telegram Bot

Fitur ini memberikan keuntungan dari sisi efisiensi dan kepraktisan, karena pengguna tidak perlu terus-menerus memantau dashboard web. Dengan sistem notifikasi otomatis ini, pengguna akan tetap mendapatkan pembaruan penting secara langsung melalui aplikasi Telegram yang bisa diakses dari smartphone, sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan berbasis data

real-time. Penggunaan Telegram juga bersifat fleksibel, mudah dikonfigurasi, dan tidak membutuhkan biaya tambahan, menjadikannya solusi ideal untuk sistem monitoring berbasis IoT yang memerlukan pengiriman pesan cepat dan akurat.

4.7 Cara Kerja Algoritma Random Forest

4.7.1 Nilai Rata-Rata Data Sensor

Sebagai contoh cara kerja. Nilai rata-rata diambil dari 20 data terakhir pembacaan sensor suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah.

Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Sensor

Tanggal dan Waktu	Suhu	Kelembapan udara	Kelembapan Tanah
7/8/2025 12:45	33.8	67	29
7/8/2025 12:40	33.9	52	37
7/8/2025 12:35	32	63	31
7/8/2025 12:30	33	50	29
7/8/2025 12:25	33.6	55	28
7/8/2025 12:20	29.9	65	26
7/8/2025 12:15	32.3	65	21
7/8/2025 12:10	29.8	54	27
7/8/2025 12:05	31.8	61	30
7/8/2025 12:00	33.8	50	29
7/8/2025 11:55	32.2	54	22
7/8/2025 11:50	30.9	66	20
7/8/2025 11:45	36	59	36
7/8/2025 11:40	30.8	62	22
7/8/2025 11:35	35.7	56	20
7/8/2025 11:30	29.6	57	26
7/8/2025 11:25	33.7	53	30
7/8/2025 11:20	31.8	60	29
7/8/2025 11:15	31	57	38
7/8/2025 11:10	35.2	68	34
Nilai Rata-rata	32.05	59.94	29.58

4.7.2 Ambang Batas Klasifikasi

Ambang batas diambil dari pengaturan yang telah diprogram pada ESP8266:

- Suhu: $18^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
- Kelembapan Udara: $40\% - 80\%$
- Kelembapan Tanah: minimal 30%

4.7.3 Rumus Dasar Decision Tree

Setiap pohon dalam Random Forest mengikuti struktur:

IF $x_j \leq \theta \Rightarrow$ Cabang Kiri, ELSE $\Rightarrow$ Cabang Kanan

x_k : fitur (suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah)

θ : threshold (ambang batas)

Cabang kiri dan kanan mengarah ke hasil klasifikasi.

- **Rumusan Pemisahan Berdasarkan Suhu**

IF Suhu $> 35 \Rightarrow$ Suhu terlalu tinggi, ELSE $\Rightarrow$ Lanjut ke fitur lain

Ambang batas 35°C ditentukan berdasarkan batas atas

kenyamanan suhu tanaman menurut konfigurasi sistem.

- **Rumusan Pemisahan Berdasarkan Kelembapan Udara**

IF (Kelembapan Udara < 40) $\vee$ (Kelembapan Udara > 80) $\Rightarrow$

Kelembapan udara di luar batas ideal, ELSE $\Rightarrow$ Lanjut ke fitur

lain

Rentang $40\% - 80\%$ dipilih sebagai kisaran ideal kelembapan

udara untuk tanaman dalam sistem ini.

- **Rumusan Pemisahan Berdasarkan Kelembapan Tanah**

IF Kelembapan Tanah $< 30 \Rightarrow$ Tanah terlalu kering,

ELSE $\Rightarrow$ Kelembapan tanah dalam batas normal

Ambang batas 30% digunakan karena kondisi kelembapan di bawah angka tersebut dianggap sebagai tanda bahwa tanah terlalu kering dan tanaman perlu disiram.

4.7.4 Struktur Pohon Keputusan

Agar perhitungan mudah dipahami, digunakan tiga pohon (decision tree) dengan kombinasi fitur berbeda:

- Pohon 1 – Evaluasi Suhu dan Kelembapan Tanah:

$$T_1(x) = \begin{cases} \text{Suhu terlalu tinggi,} & \text{jika Suhu} > 35 \\ \text{Tanah terlalu kering,} & \text{jika Kelembapan Tanah} < 30 \\ \text{Kondisi suhu dan kelembapan normal,} & \text{lainnya} \end{cases}$$

- Pohon 2 – Evaluasi Kelembapan Udara dan Tanah:

$$T_2(x) = \begin{cases} \text{Kelembapan udara terlalu kering,} & \text{jika Kelembapan Udara} < 40 \\ \text{Kelembapan udara terlalu tinggi,} & \text{jika Kelembapan Udara} > 80 \\ \text{Tanah terlalu kering,} & \text{jika Kelembapan Tanah} < 30 \\ \text{Kondisi kelembapan normal,} & \text{lainnya} \end{cases}$$

- Pohon 3 – Evaluasi Suhu dan Kelembapan Udara

$$T_3(x) = \begin{cases} \text{Suhu terlalu tinggi,} & \text{jika Suhu} > 35 \\ \text{Kelembapan udara terlalu kering,} & \text{jika Kelembapan Udara} < 40 \\ \text{Kondisi suhu dan kelembapan normal,} & \text{lainnya} \end{cases}$$

4.7.5 Substitusi Nilai Rata-Rata ke Setiap Pohon

Evaluasi Pohon 1:

- Suhu $< 35 \rightarrow$ lanjut
- Kelembapan Tanah $= 29.58 < 30 \rightarrow \text{X}$

$$T_1(x) = \text{Tanah terlalu kering}$$

Evaluasi Pohon 2:

- Kelembapan Udara normal $\rightarrow$ lanjut
- Kelembapan Tanah = $29.58 < 30 \rightarrow \text{✗}$

$$T_2(x) = \text{Tanah terlalu kering}$$

Evaluasi Pohon 3:

- Suhu < 35
- Kelembapan Udara > 40

$$T_3(x) = \text{Kondisi suhu dan kelembapan udara normal}$$

4.7.6 Voting Mayoritas

$$\begin{aligned} \text{Hasil Akhir} &= \text{Mode}(\{T_1(x), T_2(x), T_3(x)\}) \\ &= \text{Mode}(\{\text{Tanah terlalu kering, Tanah terlalu kering, Kondisi suhu dan kelembapan udara normal}\}) \\ &= \text{Tanah terlalu kering} \end{aligned}$$

4.7.7 Hasil Klasifikasi

Dengan menggunakan tiga pohon keputusan dalam struktur Random Forest, dan mengacu pada hasil voting mayoritas, maka klasifikasi manual menyimpulkan bahwa tanaman dalam kondisi tidak aman. Artinya, walaupun suhu dan kelembapan udara berada dalam batas normal, kelembapan tanah yang berada sedikit di bawah ambang batas menjadi faktor dominan yang menyebabkan status tanaman diklasifikasikan sebagai Tidak Aman. Oleh karena itu, tindakan seperti penyiraman perlu segera dilakukan untuk menjaga kesehatan tanaman.

4.8. Analisis dan Pembahasan

Sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan berhasil diuji langsung pada lahan

hortikultura di Kampung Darul Amin, Kecamatan Kutalimbaru, Kabupaten Deli Serdang. Pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT11 dan sensor kelembaban tanah kapasitif mampu membaca data lingkungan secara cukup akurat dan stabil. Data yang diperoleh dari sensor dikirim secara real-time melalui jaringan WiFi menuju server lokal dan divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel pada antarmuka web, sehingga memudahkan petani dalam memantau kondisi lahan secara langsung. Selain itu, sistem mampu mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram Bot ketika kelembaban tanah berada di bawah batas minimum. Fitur ini terbukti berfungsi dengan baik dan dapat memberikan informasi cepat kepada pengguna.

Algoritma Random Forest yang diterapkan juga dapat memberikan prediksi kebutuhan penyiraman berdasarkan pola data historis, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih efisien. Jika dibandingkan dengan metode manual yang masih dilakukan secara langsung oleh petani di lapangan, sistem ini lebih unggul dari segi kecepatan, ketepatan, dan efisiensi waktu. Sistem dapat bekerja secara otomatis tanpa pengawasan terus-menerus dan mampu menyimpan data secara berkala. Meskipun sistem masih terbatas pada penggunaan jaringan lokal dan menggunakan sensor dengan akurasi menengah, secara umum sistem ini sudah cukup membantu petani dalam meningkatkan efektivitas penyiraman dan menjaga kondisi lingkungan tanaman tetap optimal

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring berbasis ESP8266 berhasil dikembangkan untuk memantau suhu dan kelembaban tanah secara real-time menggunakan sensor DHT11 dan sensor kelembaban tanah. Sistem ini mampu mengirimkan data ke server lokal serta memberikan peringatan otomatis kepada pengguna melalui Telegram Bot.
2. Sistem yang dibangun dapat memberikan data lingkungan secara aktual dan membantu petani dalam pengambilan keputusan penyiraman. Dengan adanya algoritma Random Forest yang diterapkan, sistem juga mampu memprediksi kebutuhan penyiraman tanaman secara lebih akurat.
3. Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem ini memberikan solusi yang efisien untuk memantau kondisi tanaman hortikultura, terutama di daerah dengan keterbatasan sumber daya. Sistem ini masih sebatas pemantauan, tanpa dilengkapi dengan pengendalian otomatis terhadap perangkat penyiraman atau aktuator lain.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem yang lebih optimal ke depannya, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Sistem sebaiknya ditingkatkan dengan menambahkan fitur pengendalian otomatis seperti aktivasi pompa air berdasarkan hasil prediksi penyiraman.
2. Diperlukan pengujian lebih lanjut pada berbagai jenis tanaman hortikultura, tidak hanya bayam, agar sistem ini dapat diterapkan secara lebih luas di berbagai jenis lahan pertanian.
3. Perlu dikembangkan integrasi dengan penyimpanan cloud agar data sensor dapat diakses secara global tanpa keterbatasan jaringan lokal, serta memungkinkan analisis data lebih lanjut secara historis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, P., Iskandar, A., & Darussalam, U. (2021). Rancang Bangun Internet of Things (IoT) Pengaturan Kelembaban Tanah untuk Tanaman Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 5(2), 2021. <https://doi.org/10.35870/jti>
- Hapsari, H., Wulandari, E., Suminartika, E., & Karyani, T. (2021). The family welfare of horticulture farmers: Case in Pegalengan District, Bandung Regency, West Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 653(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012092>
- Hutabarat, B., Setiyanto, A., Kustiari, R., Sulser, T. B., & Hutabarat, B. (2012). Conjecturing Production, Imports and Consumption of Horticulture in Indonesia in 2050: A Gams Simulation Through Changes in Yields Induced by Climate Change. *ICAPES*.
- Ilhamsyah, Jawahir, & Akhyar, M. (2022). Pemanfaatan Alat Pendeteksi Kelembaban Tanah dan Suhu Pohon Mangrove Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Informatika STMIK Antar Bangsa*.
- Juwariyah, T., Prayitno, S., & Mardhiyya, A. (2018). Perancangan Sistem Deteksi Dini Pencegah Kebakaran Rumah Berbasis IoT(Internet of Things). In *Sistem Informasi Dan Keamanan Siber (SEINASI-KESI) Jakarta-Indonesia*. <http://docs.blynk.cc>
- Keoh, S. L., Kumar, S. S., & Tschofenig, H. (2014). Securing the internet of things: A standardization perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(3), 265–275. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2323395>
- Parjito, Rahmawati, O., & Ulum, F. (2022). Rancang Bangun Aplikasi E-Agribisnis Untuk Meningkatkan Penjualan Hasil Tanaman Hortikultura. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Perangkat Lunak (JATIKA)*. <http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/informatika>
- Sabarina, N., Zahara, M., Jannah, M., & Artikel, H. (2023). Sistem IoT (Internet of Things) Untuk Mendeteksi Kelembapan Tanah Pada Tanaman Cabai Berbasis Node MCU Info Artikel ABSTRAK. *Jurnal Sains Dan Teknologi 4.0 (JST 4.0)*, 1(1), 28–35. <https://jurnal.komputasi.org/index.php/jst>
- Saputra, R., Kuantan Singingi, I., Jl Gatot Subroto, I. K., Nenas, K., Jake, D., & Kuantan Singingi, K. (2021). Sistem Monitoring Kelembaban Tanah dan Suhu Greenhouse Tanaman Bawang Merah Berbasis IOT. *Jurnal Perencanaan, Sains, Teknologi, Dan Komputer*, 4(1), 981–990.
- Sarvina, Y. (2019). Dampak Perubahan Iklim dan Strategi Adaptasi Tanaman Buah dan Sayuran di Daerah Tropis/ Climate Change Impact and Adaptation Strategy for Vegetable and Fruit Crops in the Tropic Region. *Jurnal*

Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, 38(2), 65.
<https://doi.org/10.21082/jp3.v38n2.2019.p65-76>

- Sasmito, G. W. (2017). Sistem Pakar Diagnosis Hama dan Penyakit Tanaman Hortikultura dengan Teknik Inferensi Forward dan Backward Chaining. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*.
<https://doi.org/10.14710/jtsiskom.5.2.2017.69-74>
- Setyawan, D. Y., Warsito, Marjunus, R., & Sumaryo. (2024). *Automasi dan Internet of Things (IoT) pada Pertanian Cerdas: review artikel pada Jurnal Terakreditasi Kemenristek*. <https://www.zotero.org/>
- Sumarudin, A., Putra, W. P., Ismantohadi, E., & Qomarrudin, M. (2019). Sistem Monitoring Tanaman Hortikultura Pertanian di Kabupaten Indramayu Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Teknologi Dan Informasi*.
- Susanti, E., Surmaini, E., Buono, A., & Heryani, N. (2015). Prototipe Sistem Informasi Sebaran Hama dan Penyakit Tanaman Hortikultura Prototype of Information System for Horticulture Pest and Disease Distribution. *Informatika Pertanian*.
- Udayana, I. G. B., Kartini, L., Situmeang, Y. P., & Sunadra, I. K. (2019). The modeling system of horticultural commodity development in Pinggan village, Bangli regency, Bali Province. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033075>
- Wang, X., Gao, Q., Wang, C., & Yu, M. (2017). Spatiotemporal patterns of vegetation phenology change and relationships with climate in the two transects of East China. *Global Ecology and Conservation*, 10, 206–219.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.010>
- Winarni, I. (2014). *Ruang Lingkup dan Perkembangan Hortikultura*.