

**PENERAPAN SPK PENENTUAN KECOCOKAN PUPUK
DENGAN TANAMAN CABAI RAWIT CAPLAK
MENGUNAKAN METODE RULE BASED
BERBASIS IOT**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

ANDRE COSTER BANGUN

2109020117



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

MEDAN

2025

**PENERAPAN SPK PENENTUAN KECOCOKAN PUPUK
DENGAN TANAMAN CABAI RAWIT CAPLAK
MENGUNAKAN METODE RULE BASED
BERBASIS IOT**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi pada
Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara**

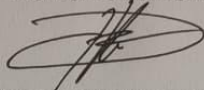
**ANDRE COSTER BANGUN
NPM. 2109020117**

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

LEMBAR PENGESAHAN

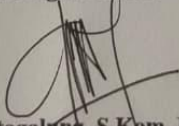
Judul Skripsi : Penerapan SPK Penentuan Kecocokan Pupuk Dengan
Tanaman Cabai Rawit Caplak Menggunakan Metode Rule
Based Berbasis IoT
Nama Mahasiswa : Andre Coster Bangun
NPM : 2109020117
Program Studi : Teknologi Informasi

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Mahardika Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0117088902

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0117019301

Dekan



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

PERNYATAAN ORISINALITAS

**PENERAPAN SPK PENENTUAN KECOCOKAN PUPUK
DENGAN TANAMAN CABAI RAWIT CAPLAK
MENGUNAKAN METODE RULE BASED
BERBASIS IOT**

SKRIPSI

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

Medan, 10 September 2025

Yang membuat pernyataan


25400ANX075624876
Anda Gester Bangun
NPM. 2109020117

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

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

Nama	: Andre Coster Bangun
NPM	: 2109020117
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:

**PENERAPAN SPK PENENTUAN KECOCOKAN PUPUK
DENGAN TANAMAN CABAI RAWIT CAPLAK
MENGUNAKAN METODE RULE BASED
BERBASIS IOT**

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, 10 September 2025

Yang membuat pernyataan



Andre Coster Bangun

NPM. 2109020117

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : ANDRE COSTER BANGUN
Tempat dan Tanggal Lahir : KABANJAHE, 14 OKTOBER 2002
Alamat Rumah : Jl. Kutabuluh Desa Nari Gunung 2 No 118
Telepon/Faks/HP : +62-859-2132-6157
E-mail : andrecoster2134@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SUMATER UTARA
Alamat Kantor : Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur
Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan,
Sumatera Utara 20238

DATA PENDIDIKAN

SD	: SDIT AL-HALIMIYAH	TAMAT: 2013
SMP	: MTS ALIYAH AISYIYAH	TAMAT: 2016
SMA	: SMKN 1 KUTALIMBARU	TAMAT: 2019

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Alhamdulillah, puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir yaitu penulisan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta beriringkan salam senangtiawsa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW. Yang telah membawa kita semua dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat wajib yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar sarjana pada jenjang Strata Satu (S1) di Jurusan Teknologi, Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Pelaksanaan tugas ini merupakan salah satu kuliah wajib dari Jurusan Teknologi, Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan menjadi sarana penulis untuk menambah ilmu pengetahuan serta pengalaman dalam menerapkan keilmuan sesuai bidang yang sebelumnya sudah didapatkan pada proses perkuliahan.

Adapun pembahasan terkait skripsi ini adalah Penerapan SPK Penentuan Kecocokan Pupuk Dengan Tanaman Cabai Rawit Caplak Menggunakan Metode Rule Based Berbasis IoT. Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom. Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si., M.Kom. Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi
5. Pak Mahardika Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom. Pembimbing Skripsi yang telah membantu dalam membimbing saya yang penuh dengan kesabaran agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu dan Bapak saya yang telah membesarkan saya, bersabar menghadapi saya dan memberi doa kepada saya untuk penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman kelas TI C1 Stambuk 2021 terutama buat saudara Ahsanu Rizal, Setyo Fahmi, Mirza, Aidil, Rosaldi, Farhan, Robby, Andika Wardana dan teman-teman lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang sudah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis sedari awal perkuliahan hingga akhir perjalanan kuliah.
8. Kepada sahabat saya bernama Mutiara Siregar yang telah mau menjadi sahabat saya di masa bangku MTS hingga saat ini dan terimakasih telah memberikan dukungan kepada penulis.
9. Kepada Ade Ginting saudara saya mengucapkan terimakasih telah mau membantu mengerjakan skripsi ini dan terus memberikan semangat kepada penulis.

10. Kepada Ray Setiawan Ginting teman saya, penulis mengucapkan terimakasih telah menemani saya dalam mengerjakan skripsi ini.
11. Terimakasih juga kepada teman kos saya yang ada di kos Nenek Juriah.
12. Ucapan terima kasih yang tulus juga saya sampaikan kepada seseorang yang pernah hadir dalam perjalanan hidup saya. Walaupun pertemuan itu berlangsung singkat, kehadirannya telah meninggalkan kesan yang mendalam serta membawa banyak pelajaran berharga bagi saya. Dari pengalaman itu, saya belajar bagaimana menghadapi berbagai hal dengan hati yang lebih lapang, pikiran yang lebih matang, serta sikap yang lebih dewasa dalam menyikapi segala keadaan. Saya menyadari bahwa tidak semua yang hadir akan menetap, namun setiap pertemuan memiliki arti tersendiri yang membentuk siapa diri saya hari ini. Meskipun saya tidak dapat menyebutkan namanya secara langsung, rasa terima kasih yang saya miliki tetaplah besar, karena melalui kehadirannya, saya belajar tentang arti kesabaran, ketulusan, dan penerimaan dalam hidup.
13. Dan yang terakhir, terimakasih buat diri sendiri yang telah mampu bertahan sampai saat ini walaupun terkadang perjalanan tidak selalu berjalan mulus yang dimana terkadang ada masa naik dan turun nya.

PENERAPAN SPK PENENTUAN KECOCOKAN PUPUK DENGAN TANAMAN CABAI RAWIT CAPLAK MENGUNAKAN METODE RULE BASED BERBASIS IOT

ABSTRAK

Penelitian ini membahas penerapan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dalam penentuan kecocokan pupuk untuk tanaman cabai rawit caplak dengan menggunakan metode *rule-based* berbasis Internet of Things (IoT). Permasalahan utama dalam budidaya cabai rawit adalah penentuan jenis pupuk dan dosis yang tepat berdasarkan kondisi lingkungan serta umur tanaman. Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT11 untuk memantau suhu udara dan sensor kelembapan tanah FC-28 untuk mengukur kadar air dalam tanah. Data yang diperoleh dikirim secara real-time ke basis data Firebase, kemudian diolah oleh sistem pendukung keputusan berbasis aturan (*rule-based system*) untuk memberikan rekomendasi pupuk yang sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara real-time, akurat dalam membaca data sensor, serta memberikan rekomendasi pupuk yang relevan berdasarkan aturan yang telah ditetapkan. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu petani dalam mengoptimalkan proses pemupukan, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, serta mendukung pertumbuhan tanaman cabai rawit caplak secara lebih baik.

Kata Kunci: Sistem Pendukung Keputusan, Rule-Based System, Internet of Things, Cabai Rawit Caplak, Pemupukan

IMPLEMENTATION OF SPK TO DETERMINE FERTILIZER SUITABILITY WITH CAPLAK CHILI PLANTS USING THE IOT-BASED RULE-BASED METHOD

ABSTRACT

This research discusses the implementation of a Decision Support System (DSS) for determining fertilizer suitability in chili pepper (*cabai rawit caplak*) cultivation using a rule-based method integrated with the Internet of Things (IoT). The main challenge in chili farming is determining the appropriate type and dosage of fertilizer based on environmental conditions and plant age. In this study, an ESP32 microcontroller was utilized, connected with a DHT11 sensor to monitor air temperature and an FC-28 soil moisture sensor to measure soil water content. The collected data were transmitted in real time to the Firebase database and then processed by a rule-based decision support system to provide suitable fertilizer recommendations. The results show that the system is capable of operating in real time, accurately reading sensor data, and generating relevant fertilizer recommendations based on predefined rules. Therefore, this system can assist farmers in optimizing fertilization processes, improving fertilizer efficiency, and supporting better growth of chili pepper plants.

Keywords: Decision Support System, Rule-Based System, Internet of Things, Chili Pepper, Fertilization

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Internet Of Things	7
2.2 Sistem Pendukung Keputusan	8
2.3 Rule Based Decision Support System	8
2.4 Monitoring.....	9
2.5 Tanaman Cabai.....	10
2.6 Mikrokontroler ESP32	11
2.7 Soil Moisture Sensor	13
2.8 DHT11	14
2.9 Kabel Jumper.....	16
2.10 Real Time Clock.....	17
2.11 Tools.....	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN DAN PERCANCANGAN	20
3.1 Metode Penelitian.....	20
3.2 Metode Pengumpulan Data	20
3.2.1 Observasi	20
3.2.2 Wawancara.....	21
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	22

3.3.1 Tahap Penelitian	22
3.3.2 Peralatan yang digunakan	25
3.4 Desain Sistem	26
3.5 Pembuatan Alat	28
3.5.1 Rangkaian	28
3.6 Flowchart Sistem	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Penelitian.....	32
4.2 Hasil Rancangan Alat	32
4.3 Perancangan Perangkat Lunak	34
4.4 Pemrograman Mikrokontroler ESP32	34
4.5 Rancangan Aplikasi Web	36
4.6 Implementasi Perangkat Keras	39
4.7 Implementasi Coding IoT	40
4.8 Implementasi Website	45
4.9 Implementasi Pengujian	61
4.10 Hasil Perbedaan Pupuk.....	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ESP32	12
Gambar 2.2 PIN OUT ESP32.....	12
Gambar 2.3 Soil Moisture	14
Gambar 2.4 DHT11	15
Gambar 2.5 Kabel Jumper.....	17
Gambar 2.6 Real Time Clock	18
Gambar 2.7 Aplikasi Arduino IDE.....	19
Gambar 3.1 Wawancara	21
Gambar 3.2 Tahap Penelitian	23
Gambar 3.3 Desain Sistem	27
Gambar 3.4 Rangkaian Alat	28
Gambar 3.5 Flowchart Sistem	30
Gambar 4.1 Rangkaian Pin.....	33
Gambar 4.2 Implementasi Alat.....	39
Gambar 4.3 Website Monitoring.....	40
Gambar 4.4 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 1	52
Gambar 4.5 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 3.....	53
Gambar 4.6 Kelembapan Tanah Tinggi Minggu Ke 3	54
Gambar 4.7 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 3 Ideal.....	55
Gambar 4.8 Memberikan Pupuk Cabai Di Umur 14 Dikocor.....	55
Gambar 4.9 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 4 Kelembapan Tinggi.....	56
Gambar 4.10 Kelembapan Tanah Tinggi Minggu Ke 4	57
Gambar 4.11 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 4 Kelembapan Rendah	58
Gambar 4.12 Kelembapan Tanah Rendah Minggu Ke 4.....	59
Gambar 4.13 Hasil Website Minggu ke 4 Ideal	59
Gambar 4.14 Memberikan Pupuk Cabai Di Umur 21 Dikocor.....	60
Gambar 4.15 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 15-15-15.....	63
Gambar 4.16 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 15-10-12.....	64
Gambar 4.17 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 10-10-15.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hubungan Pin ESP32 ke sensor DHT11, FC28, RTC	34
--	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang sangat bergantung pada sektor pertanian sebagai salah satu pilar utama perekonomian. Beragam komoditas pertanian dihasilkan dari berbagai daerah, mulai dari tanaman pangan, hortikultura, hingga perkebunan(Ummah, 2011). Salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang stabil adalah tanaman cabai (*Capsicum spp*)(Ferdynan Harahap, 2013). Tanaman ini digunakan secara luas dalam kebutuhan rumah tangga, industri makanan, serta memiliki nilai ekspor yang menjanjikan. Namun demikian, produktivitas tanaman cabai masih sering terkendala oleh berbagai faktor. Salah satunya adalah kesalahan dalam pengelolaan waktu pemupukan akibat pengambilan keputusan yang kurang tepat.

Pertumbuhan tanaman cabai sangat bergantung pada kondisi lingkungan, terutama suhu udara dan kelembapan tanah. Suhu optimal bagi pertumbuhan cabai berkisar antara 25–30°C, sementara kelembapan tanah yang ideal berada dalam rentang 60–80% kapasitas lapang(Lestari & Antony, 2023). Ketidaksesuaian kondisi lingkungan saat pemupukan dapat menyebabkan tanaman tidak menyerap nutrisi secara maksimal. Akibatnya, pemupukan menjadi tidak efektif dan dapat menyebabkan penurunan hasil panen. Oleh karena itu, pemupukan harus dilakukan pada waktu yang tepat dan sesuai dengan kondisi tanah dan suhu udara.

Untuk itu, diperlukan pendekatan berbasis data agar pengambilan keputusan tidak hanya berdasarkan intuisi. Sayangnya di berbagai daerah pertanian, pengambilan keputusan seperti waktu pemupukan masih dilakukan secara konvensional. Petani sering kali hanya mengandalkan pengalaman pribadi tanpa dukungan data akurat terkait kondisi lingkungan lahannya. Hal ini menjadikan proses pemupukan rawan kesalahan, baik dalam hal waktu maupun dosis kondisi tersebut juga terjadi di Desa Nari Gunung 2, Kecamatan Tiganderket, Kabupaten Karo, dimana mayoritas petani cabai masih mengandalkan metode tradisional. Keputusan pemupukan sering dilakukan berdasarkan kebiasaan lama, tanpa pertimbangan suhu udara dan kelembapan tanah yang sebenarnya. Akibatnya, hasil panen sering tidak optimal dan penggunaan pupuk menjadi tidak efisien.

Seiring dengan kemajuan teknologi, pendekatan berbasis sistem mulai diterapkan dalam sektor pertanian. Internet of Things (IoT) memungkinkan penggunaan sensor untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time dan dapat menghubungkan berbagai alat dengan koneksi internet (Ambarwari et al., 2021), sehingga memberikan data yang akurat untuk mendukung pengambilan keputusan. Dalam sistem ini, suhu udara dimonitor menggunakan sensor DHT11, kelembapan tanah diukur menggunakan sensor FC-28, dan waktu aktual atau usia tanaman dicatat dengan modul RTC (Real-Time Clock). Integrasi ketiga parameter ini membantu mengatasi masalah pengambilan keputusan yang tidak akurat dalam proses pemupukan dan pemeliharaan tanaman cabai secara lebih efisien dan tepat waktu. Salah satu solusi teknologi yang relevan adalah Sistem Pendukung Keputusan (SPK). SPK adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk membantu pengguna dalam membuat keputusan berdasarkan data dan aturan

tertentu (Iswahyudi et al., 2025). Dalam konteks pertanian, SPK dapat dimanfaatkan untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan pemupukan. Dengan bantuan sistem ini, petani tidak perlu lagi mengandalkan perkiraan semata dalam mengelola lahannya. Sistem ini juga mampu mengurangi kesalahan yang berdampak pada hasil produksi.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengembangan SPK adalah metode Rule-Based. Rule-Based merupakan pendekatan berbasis aturan logika IF-THEN sistem akan memeriksa kondisi IF yang menyatakan suatu kondisi yang harus terpenuhi dan bagian THEN menyatakan aksi yang harus diambil kesimpulannya yang dapat diatarik jika kondisi IF terpenuhi yang disusun berdasarkan pengalaman pakar, literatur pertanian, dan kondisi lapangan. Metode ini mudah diterapkan dan sangat cocok untuk masalah pengambilan keputusan yang bersifat rutin seperti pemupukan. Dalam sistem ini, kondisi lingkungan seperti suhu udara, kelembapan tanah dan RTC, outputnya berupa rekomendasi pemupukan, jenis pupuk yang direkomendasikan dan rekomendasi tindakan. Dengan aturan yang jelas dan berbasis data, metode ini dapat memberikan hasil keputusan yang konsisten dan objektif. Selain itu, rule-based mudah diintegrasikan dalam sistem sederhana di lingkungan pertanian.

Sebagai contoh penerapan metode *Rule-Based*, penelitian ini dilakukan oleh Ardhi Supratman dengan judul Penerapan Metode Rule Based System Untuk Menentukan Jenis Tanaman Pertanian Berdasarkan Ketinggian Dan Curah Hujan telah berhasil mengembangkan sistem untuk menentukan jenis tanaman pertanian berdasarkan ketinggian dan curah hujan. Dalam kasus tersebut, sistem menggunakan data ketinggian dan curah hujan dari Badan Pusat Statistik (BPS)

Kabupaten Tegal, serta pengetahuan ahli pertanian untuk menghasilkan rekomendasi tanaman. Aturan-aturan IF-THEN diterapkan, misalnya: "IF Curah Hujan BETWEEN 25-250 mm/bulan AND Ketinggian Tempat BETWEEN 0-450 mdpl AND Bulan Tanam adalah April, Mei, Juli, Agustus, Oktober, November THEN Rekomendasi Tanaman adalah Bawang Merah".

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan Sistem Pendukung Keputusan berbasis Rule-Based yang dapat membantu petani di Desa Nari Gunung 2 dalam menentukan pemupukan tanaman cabai secara tepat, jenis pupuk dan rekomendasi tindakan. Melalui sistem ini, diharapkan petani tidak hanya mendapatkan kemudahan dalam mengambil keputusan, tetapi juga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan hasil panen. Penggunaan sistem ini juga menjadi langkah awal menuju pertanian cerdas berbasis teknologi informasi. Maka dari itu, pengembangan sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas pertanian di daerah tersebut secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan yang sudah dijelaskan pada bagian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sistem pendukung keputusan yang mampu memberikan rekomendasi pemupukan, jenis pupuk dan rekomendasi tindakan yang sesuai untuk tanaman cabai rawit caplak berdasarkan kondisi suhu udara, kelembapan tanah dan umur tanaman.

2. Bagaimana metode rule based diterapkan untuk menentukan kecocokan jenis pupuk berdasarkan data suhu, kelembapan tanah, dan umur tanaman cabai.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan ruang lingkup penelitian, batasan-batasan yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Sistem ini tidak menganalisis kandungan unsur hara tanah, melainkan hanya merekomendasikan jenis pupuk, waktu pemberian pupuk dan tindakan berdasarkan kondisi lingkungan.
2. Sensor yang digunakan untuk pengambilan data adalah sensor kelembapan tanah(*soil moisture sensor*) seperti fc-28, sensor suhu seperti dht11, serta RTC sebagai pencatat waktu yang diintegrasikan dengan mikrontroler berbasis IoT.
3. Sistem pendukung keputusan menggunakan *rule-based* dengan aturan yang ditentukan berdasarkan referensi dari ahli pertanian atau studi literatur terkait, dan tidak mencakup algoritma pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan.
4. Sistem hanya digunakan untuk tanaman cabai rawit caplak dan tidak mencakup jenis tanaman lainnya.
5. Objek penelitian terbatas tiga sampel tanaman cabai rawit caplak yang masing-masing diberikan dengan tiga jenis pupuk berbeda.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem pendukung keputusan berbasis rule based yang mampu memberikan rekomendasi jenis dan waktu pemupukan yang tepat untuk tanaman cabai rawit caplak.
2. Mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis *rule-based* yang mampu memberikan rekomendasi waktu pemupukan.
3. Menguji efektivitas sistem dalam mendukung pengambilan keputusan waktu pemupukan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi petani memberikan solusi praktis dan efisien untuk memantau kondisi tanaman dan menentukan waktu pemupukan secara tepat, jenis pupuk, dan rekomendasi tindakan.
2. Bagi akademisi dan peneliti menjadi referensi dalam pengembangan sistem pertanian berbasis teknologi informasi, khususnya IoT dan SPK.
3. Bagi Pemerintah daerah memberikan masukan dalam pengembangan program pertanian cerdas (*smart farming*), yang berkelanjutan di wilayah pedesaan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Internet Of Things

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi di mana berbagai perangkat fisik dapat terhubung dan saling bertukar data melalui jaringan internet. Seiring kemajuan teknologi, IoT tidak lagi terbatas pada perangkat digital seperti komputer atau ponsel pintar, melainkan telah berkembang hingga mencakup berbagai objek nyata yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, termasuk di sektor pertanian.

Dalam penerapannya, arsitektur IoT terdiri atas sistem jaringan yang saling terintegrasi dan didukung oleh sistem keamanan yang memadai. Ketika semua komponen ini berjalan secara optimal, IoT mampu menyediakan otomatisasi dan kontrol sistem yang efisien serta dapat dioperasikan dalam jangka panjang. Hal ini menjadikan IoT sebagai solusi yang potensial untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, termasuk dalam kegiatan budidaya tanaman (Susanto et al., 2022).

Tujuan utama dari IoT dalam konteks pertanian adalah memungkinkan perangkat seperti sensor tanah dan suhu untuk terhubung ke internet guna mengirimkan data secara real-time. Dengan demikian, kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah dan suhu udara dapat dimonitor secara otomatis, sehingga petani dapat mengambil keputusan yang tepat, seperti menentukan waktu pemupukan tanaman cabai rawit caplak secara efisien dan berbasis data.

2.2 Sistem Pendukung Keputusan

Sistem Pendukung Keputusan (SPK) adalah sistem berbasis komputer yang membantu pengambilan keputusan dalam situasi semi-terstruktur dan tidak terstruktur. Sistem ini menggabungkan penggunaan data, model, dan aturan logika untuk menghasilkan rekomendasi yang informatif (Ramadhani et al., 2021). SPK dalam penelitian ini digunakan untuk memberikan rekomendasi pemupukan, jenis pupuk dan rekomendasi tindakan berdasarkan data suhu dan kelembapan tanah tanaman cabai rawit caplak berdasarkan data lingkungan yang dikumpulkan oleh sistem IoT. Model yang digunakan dalam SPK ini adalah *rule-based*, yaitu sistem yang mengambil keputusan berdasarkan aturan (*rules*) yang telah ditetapkan sebelumnya oleh ahli atau dari literatur.

2.3 Rule Based Decision Support System

Sistem berbasis aturan (*rule based*) merupakan bentuk implementasi logika *if-then*. Sistem ini sangat cocok digunakan dalam skenario yang memiliki parameter input yang terbatas dan dapat didefinisikan dengan aturan yang mudah dipahami (Supratman et al., 2024). Dalam penelitian ini, aturan ditentukan berdasarkan literatur pertanian mengenai batas optimal suhu dan kelembapan tanah untuk tanaman cabai. Contoh aturan yang digunakan yaitu :

1. IF umur tanaman < 7 hari THEN belum perlu pemupukan.
2. IF umur 8-14 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan pupuk dasar NPK 5g.
3. IF umur 15-30 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan pupuk NPK 10g ditambah pupuk organik.

4. IF umur 31-45 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan NPK 15g ditambah KNO₃.
5. IF umur 46-60 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan NPK, KNO₃ 15g dan pupuk daun(foliar) 2-4g lakukan disore hari agar tidak cepat menguap.
6. IF umur 61-75 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan pupuk K tinggi contoh MKP 20g.
7. IF umur > 75 hari AND suhu 25-30°C AND kelembapan 60-80% THEN berikan pupuk pemeliharaan NPK seimbang 10-15g. dilakukan 1-2 minggu sekali atau sesuai kondisi tanaman.

2.4 Monitoring

Monitoring merupakan salah satu fungsi utama dalam penerapan teknologi Internet of Things (IoT). Secara umum, monitoring dalam IoT adalah proses pemantauan dan pengumpulan data secara otomatis dan real-time dari berbagai perangkat atau sensor yang saling terhubung melalui jaringan internet (Rafly Juliyan et al., 2023). Proses ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi fisik atau lingkungan tertentu tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung di lapangan.

Dalam sistem IoT, monitoring dilakukan dengan bantuan perangkat-perangkat seperti sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi nirkabel yang dikonfigurasi untuk mendeteksi parameter-parameter tertentu, seperti suhu, kelembapan tanah, dan lainnya. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirim ke platform penyimpanan berbasis cloud melalui jaringan internet untuk dianalisis dan divisualisasikan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami.

Dalam konteks pertanian, khususnya pada budidaya tanaman cabai, monitoring digunakan untuk mengamati kondisi lingkungan seperti suhu udara dan kelembapan tanah yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Data yang diperoleh dari proses pemantauan ini kemudian dapat dijadikan dasar untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan pemupukan (Sari et al., 2024). Dengan adanya sistem monitoring berbasis IoT, petani dapat mengelola lahan secara lebih efisien, responsif terhadap perubahan iklim, serta meningkatkan hasil dan kualitas panen.

2.5 Tanaman Cabai

Tanaman cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dibudidayakan di berbagai daerah di Indonesia. Cabai termasuk dalam Keluarga *Solanaceae* dan Genus *Capsicum*, yang dikenal luas karena buahnya memiliki rasa pedas yang khas (Nalendra et al., 2020). Tanaman ini banyak digunakan sebagai bahan utama dalam berbagai masakan tradisional, pengobatan herbal, hingga industri pengolahan makanan. Selain itu, cabai juga berkontribusi besar terhadap pendapatan petani skala kecil hingga menengah. Oleh karena itu, budidaya cabai memiliki peran strategis dalam ketahanan pangan dan ekonomi pertanian nasional.

Tanaman cabai akan tumbuh optimal apabila suhu udara berada dalam kisaran 25–30°C dan kelembapan tanah antara 60–80% (Pertiwi et al., 2021). Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat memperlambat laju fotosintesis dan merusak jaringan tanaman. Demikian pula, kelembapan tanah yang terlalu kering atau terlalu basah dapat menyebabkan akar membusuk atau tanaman mengalami kekeringan. Kondisi lingkungan yang tidak ideal juga meningkatkan risiko serangan penyakit

dan menurunkan daya tahan tanaman terhadap stres. Jika tidak ditangani, hal ini dapat berujung pada penurunan produktivitas, kualitas buah yang rendah, bahkan kegagalan panen total.

2.6 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dirancang oleh *espressif systems*, yang telah menjadi salah satu pilihan utama dalam pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) karena memiliki kemampuan komunikasi nirkabel yang terintegrasi, performa tinggi, serta konsumsi daya rendah.

Mikrokontroler ini merupakan generasi lanjutan dari ESP8266 dan menawarkan peningkatan signifikan dalam hal jumlah pin, kecepatan prosesor, serta dukungan konektivitas bluetooth dan wi-fi (Widodo, 2025).

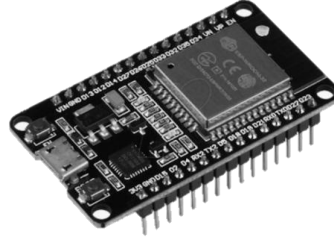
Dalam konteks pertanian berbasis teknologi, ESP32 sangat ideal digunakan untuk membangun sistem monitoring suhu dan kelembapan. Modul ini mampu membaca data dari sensor seperti *dht11* untuk suhu dan *soil moisture sensor* untuk kelembapan tanah. Kemampuan ESP32 untuk menjalankan koneksi nirkabel secara langsung tanpa perlu modul tambahan menjadikan sistem lebih sederhana dan hemat biaya selain itu, fitur *deep sleep* pada ESP32 memungkinkan perangkat bekerja secara efisien dan hemat energi.

Keunggulan ESP32 dibandingkan mikrokontroler lain sebagai berikut:

1. Memiliki konektivitas *wifi* dan *bluetooth* langsung pada chip, tanpa modul tambahan.
2. Dilengkapi dengan banyak *general purpose input output* dan mendukung berbagai protokol komunikasi sensor

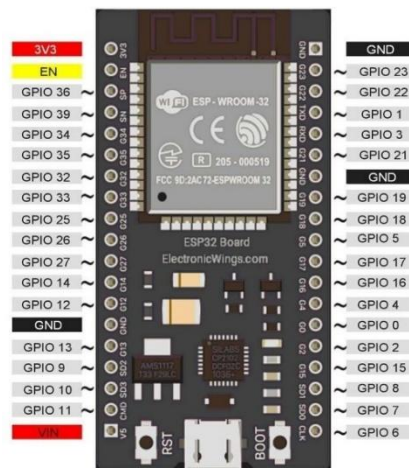
3. Harga terjangkau sangat cocok untuk proyek mahasiswa dan implementasi skala kecil hingga besar.

Adapun bentuk fisik dari ESP32 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 ESP32
(Sumber : ozami.co.id)

Berikut ilustrasi *pinout* dari ESP32 yang dapat kita lihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 PIN OUT ESP32
(Sumber : www.researchgate.net)

Speksifikasi ESP32 adalah sebagai berikut:

1. Prosesor dual core tensilica LX6 hingga 240 Mhz
2. Memori 520 KB SRAM, hingga 16 MB tergantung modul
3. Konektivitas Wifi 2.4 Ghz, Bluetooth Classic dan BLE
4. GPIO hingga 34 pin input atau output
5. Tegangan Operasi 3.3V
6. Konsumsi Daya mendukung mode deep sleep

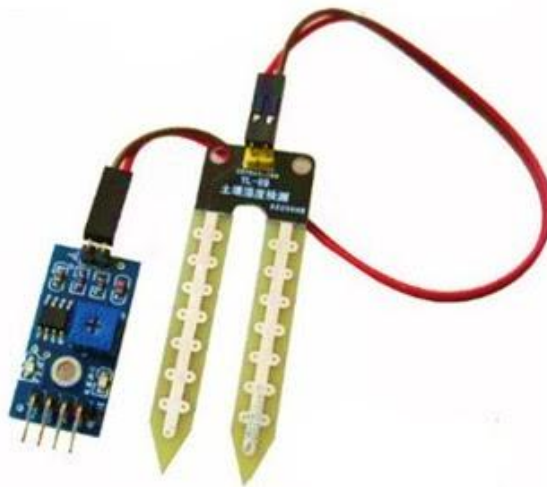
2.7 Soil Moisture Sensor

Sensor kelembapan tanah, yang dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *soil moisture sensor*, merupakan salah satu komponen utama yang memiliki peran penting dalam sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT), khususnya dalam penerapan di bidang pertanian modern (Indriani et al., 2025). Perangkat ini memiliki fungsi utama untuk mendeteksi dan mengukur tingkat kadar air yang terkandung di dalam tanah secara waktu nyata (*real-time*).

Sehingga memungkinkan pengguna khususnya petani, untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai kondisi kelembapan media tanam. Informasi ini sangat bermanfaat dalam mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih tepat, seperti menentukan waktu yang paling sesuai dan efisien untuk melakukan kegiatan penyiraman atau pemberian pupuk pada tanaman, guna mendukung pertumbuhan yang optimal serta mencegah pemborosan sumber daya.

Prinsip kerja sensor kelembapan tanah berdasarkan prinsip perubahan resistansi listrik atau kapasitansi tanah terhadap kandungan air yang ada di dalamnya. Salah satu jenis sensor yang paling umum digunakan YL-69 atau FC-28. Sensor ini terdiri atas dua probe logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana ketika tegangan diberikan, sensor akan mendeteksi nilai resistansi antara kedua probe tersebut. Ketika tanah basar, air sebagai konduktor akan meningkatkan konduktivitas listrik, sehingga resistansi antara kedua elektroda akan menurun. Hal ini menghasilkan nilai tegangan analog yang tinggi.

Sebaliknya ketika tanah kering, konduktivitas listrik akan menurun karena tidak banyak molekul air yang menghantarkan listrik. Akibatnya resistansi meningkat dan tegangan analog yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Nilai tegangan analog ini kemudian dibaca oleh mikrokontroler dan dikonversi menjadi nilai kelembapan tanah dalam skala tertentu. Berikut adalah Gambar Soil Moisture Sensor yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

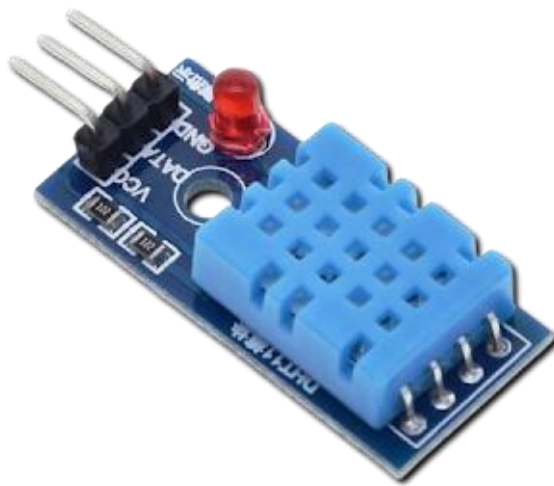


Gambar 2.3 Soil Moisture
(sumber : www.algorista.com)

2.8 DHT11

DHT11 merupakan salah satu jenis sensor digital yang umum digunakan dalam sistem pemantauan lingkungan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor ini banyak digunakan dalam proyek Internet of Things (IoT) karena bentuknya yang ringkas, harganya yang terjangkau, dan kemudahan integrasinya dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32.

Sensor ini dirancang sebagai sensor digital terintegrasi, yang berarti di dalam satu komponen terdapat dua sensor sekaligus, yaitu sensor suhu berbasis termistor dan sensor kelembapan berbasis kapasitor, serta dilengkapi dengan chip pengolah sinyal digital yang menghasilkan output data dalam format digital yang dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler(Hakiki et al., 2020). Berikut adalah bentuk fisik dari dht11 yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 DHT11
(sumber : www.arduinoindonesia.id)

Prinsip kerja dht11 bekerja dalam dua tahapan utama, yaitu pengukuran fisik dan pengolahan data digital, pengukuran suhu dilakukan menggunakan *thermistor resistor* yang nilai resistansinya berubah tergantung suhu. Perubahan suhu menyebabkan perubahan resistansi, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik dan diproses oleh chip internal menjadi data suhu digital dalam satuan derajat celsius.

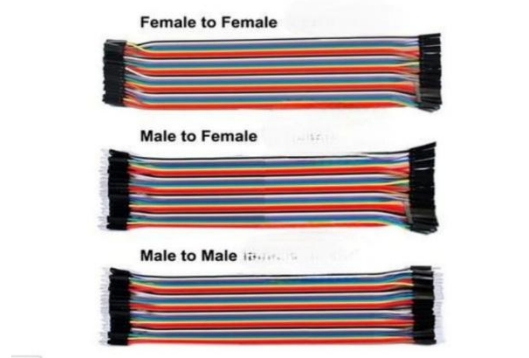
Pengukuran kelembapan dht11 menggunakan kapasitansi sensor, dimana nilai kapasitansi akan berubah berdasarkan jumlah uap air diudara. Semakin lembap udara semakin besar nilai kapasitansinya. Nilai ini kemudian dikonversi oleh chip internal menjadi presentase kelembapan relatif atau disebut *relative humidity*. Setelah proses pengukuran, sensor mengirimkan data suhu dan kelembapan secara serial digital melalui satu pin data ke mikrokontroler.

2.9 Kabel Jumper

Kabel jumper adalah salah satu komponen penting dalam bidang elektronika, khususnya dalam tahap perancangan dan pengujian prototipe. Kabel ini berfungsi sebagai media penghubung antar komponen elektronik yang dipasang pada breadboard, tanpa memerlukan proses penyolderan permanen seperti pada rangkaian elektronik konvensional (Tantowi & Kurnia, 2020). Dengan demikian, kabel jumper sangat ideal digunakan dalam proses eksperimental dan pengembangan perangkat karena fleksibilitas dan kemudahan penggunaannya dalam merangkai dan membongkar sistem.

Secara fisik, kabel jumper terdiri dari kabel serabut fleksibel yang dilengkapi dengan konektor pada masing-masing ujungnya. Terdapat dua jenis konektor utama, yaitu male connector, yang berbentuk seperti pin dan digunakan untuk ditancapkan ke lubang breadboard atau port female pada perangkat, serta female connector, yang berbentuk lubang untuk menerima pin dari konektor male. Berdasarkan kombinasi konektornya, kabel jumper diklasifikasikan menjadi tiga tipe utama, yaitu Male to Male, Male to Female, dan Female to Female. Masing-masing jenis ini digunakan sesuai dengan kebutuhan dalam menyambungkan berbagai jenis perangkat atau modul elektronik.

Dalam praktiknya, kabel jumper banyak digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler seperti Arduino Uno, Raspberry Pi, maupun ESP32 dengan sensor, aktuator, dan komponen pendukung lainnya melalui breadboard. Misalnya pada proyek berbasis IoT (Internet of Things), kabel jumper sangat berguna untuk menghubungkan pin GPIO (General Purpose Input/Output) dari ESP32 ke berbagai sensor seperti DHT11 sensor suhu dan kelembapan. Berikut adalah bentuk fisik dari kabel jumper yang dapat dilihat di gambar 2.5.

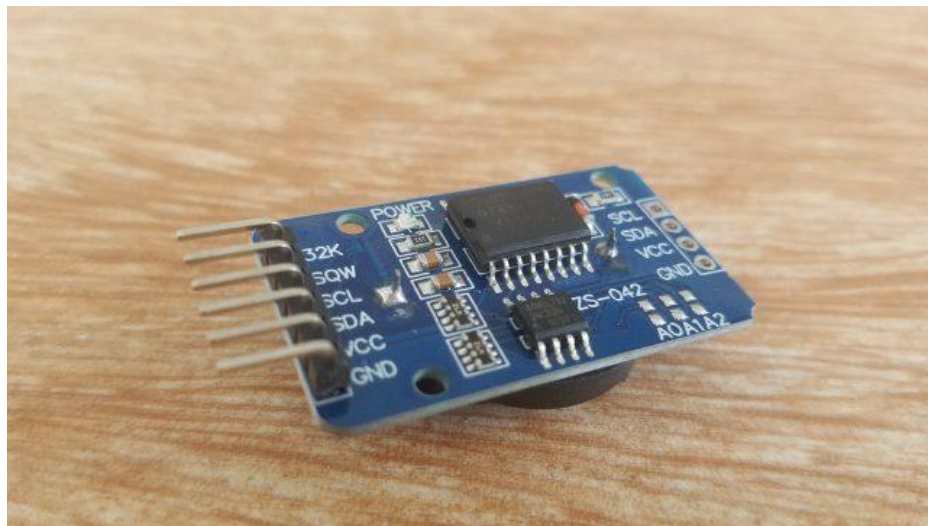


Gambar 2.5 Kabel Jumper
(Sumber : musbikhin.com)

2.10 Real Time Clock

Real Time Clock (RTC) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem elektronik yang membutuhkan pengelolaan waktu secara akurat dan berkelanjutan. RTC adalah perangkat keras yang dirancang untuk menyimpan dan mengelola informasi waktu nyata, seperti jam, menit, detik, hari, tanggal, bulan, dan tahun (Kusumawati & Wiryanto, 2020). Keunggulan utama dari RTC adalah kemampuannya untuk tetap berjalan meskipun sistem utama dimatikan, karena didukung oleh baterai cadangan seperti baterai koin tipe CR2032. RTC berperan dalam memberikan penanda waktu (*time stamp*) pada data sensor, menjadwalkan tindakan otomatis, serta memastikan sistem tetap mengetahui waktu aktual meskipun terjadi gangguan daya listrik atau restart perangkat. Kemampuan ini

sangat penting dalam sistem yang bergantung pada waktu, seperti sistem pendukung keputusan pemupukan tanaman. Pada sistem ini, RTC digunakan untuk mencatat waktu pemupukan terakhir serta menghitung interval waktu menuju pemupukan berikutnya. Hal ini membantu menghindari kesalahan dalam penjadwalan, seperti pemupukan yang terlalu sering atau terlalu jarang. Dengan demikian, keputusan pemupukan dapat dibuat secara lebih tepat waktu, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan tanaman cabai. Dan dibawah ini adalah bentuk fisik dari RTC yang dapat kita lihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Real Time Clock
(sumber : www.electronicclinic.com)

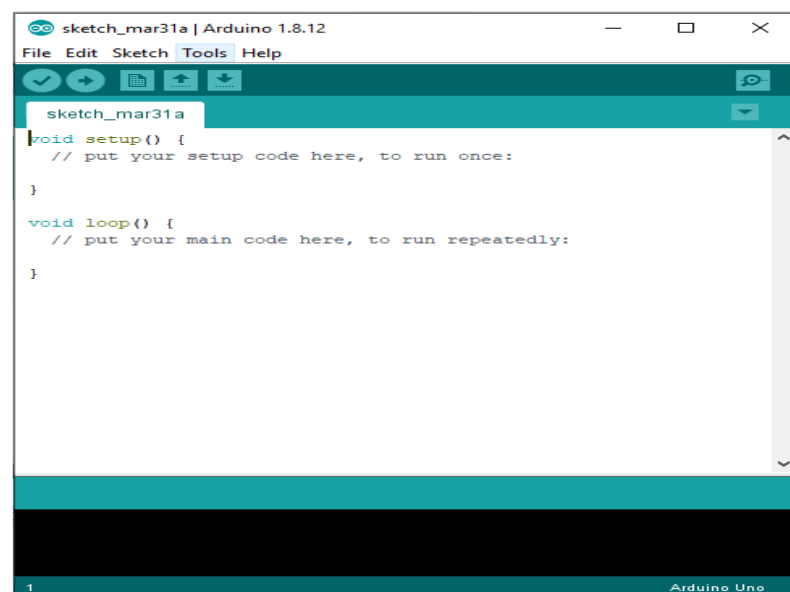
2.11 Tools

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan sebuah lingkungan pengembangan terpadu berbasis perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memfasilitasi proses pemrograman papan mikrokontroler ESP32 dan mikrokontroler lainnya. Arduino IDE menyediakan antarmuka pengguna yang sederhana dan yang memungkinkan pengguna untuk melakukan berbagai tahapan pengembangan perangkat lunak, mulai dari penulisan kode program (*sketch*),

kompilasi atau penerjemahan kode sumber menjadi kode mesin (*binary*), hingga proses unggah kode langsung ke dalam memori mikrokontroler yang terpasang di papan Arduino (Sitorus & Saragih, 2020).

Platform ini mendukung berbagai jenis mikrokontroler, tidak hanya Arduino Uno, tetapi juga perangkat lain seperti ESP8266 dan ESP32, dengan menambahkan pustaka dan board manager yang sesuai. Arduino IDE juga dilengkapi dengan fitur serial monitor untuk memantau data dari mikrokontroler secara real-time, serta mendukung berbagai pustaka (*libraries*) yang mempermudah integrasi sensor dan aktuator dalam sistem berbasis IoT.

Selain itu, Arduino IDE bersifat lintas platform dan dapat dijalankan di berbagai sistem operasi utama seperti Windows, macOS, Linux, hingga versi ringan berbasis Android, sehingga memberikan fleksibilitas bagi pengguna dari berbagai kalangan—baik pemula maupun profesional—untuk mengembangkan proyek-proyek mikrokontroler dengan lebih efisien. Berikut adalah tampilan Arduino IDE yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Aplikasi Arduino IDE
(sumber : robotics.instiperjogja.ac.id)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN DAN PERCANCANGAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D), yaitu metode yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji keefektifan suatu produk atau sistem baru (Aziz & Suharjo, 2024). Model R&D dinilai sesuai karena dalam penelitian ini dilakukan proses perancangan, pengembangan, dan pengujian sistem monitoring berbasis IoT serta sistem pendukung keputusan (SPK) dalam menentukan waktu pemupukan tanaman cabai.

Metode R&D merupakan metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut. Dalam konteks penelitian ini, produk yang dikembangkan adalah sistem IoT terintegrasi dengan SPK berbasis aturan (rule-based system) untuk meningkatkan efisiensi waktu pemupukan tanaman cabai.

3.2 Metode Pengumpulan Data

3.2.1 Observasi

Metode pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap lokasi objek yang menjadi fokus penelitian, dengan tujuan untuk memperoleh data yang diperlukan dalam mendukung proses perancangan dan pembuatan produk secara lebih tepat. Lokasi observasi dilakukan di Desa Nari Gunung 2.

3.2.2 Wawancara

Dalam penelitian ini, salah satu teknik pengumpulan data lainnya adalah dengan melakukan wawancara dengan narasumber bernama Pak Teger Bangun selaku petani tanaman cabai untuk mendapatkan berbagai informasi terkait tentang tanaman cabai termasuk dari teknik pemberian pupuk yang masih mayoritas petani masih menggunakan metode tradisional dalam proses budidaya. Keputusan pemberian pupuk biasanya hanya didasarkan pada pengalaman dan perkiraan pribadi tanpa didukung data lingkungan yang akurat seperti suhu dan kelembapan tanah. Pendekatan seperti ini rawan kesalahan, dari segi waktu dalam memberikan pupuk ke tanaman.



Gambar 3.1 Wawancara

Menurut Pak Teger selaku narasumber, tanaman cabai lebih mudah melakukan perawatannya dibandingkan tanaman buah lainnya. Tanaman cabai tidak bisa berada di suhu terlalu panas yang dapat menyebabkan tanaman cabai layu atau keriting jika terlalu dingin tanaman cabai mengalami hambatan dalam proses perkembangan, dan juga kelembapan tanahnya tidak bisa yang terlalu kering atau

basah. Tanaman cabai ini dapat tumbuh optimal di suhu 25–30°C dan kelembapan tanah 60-80%, diluar dari suhu dan kelembapan tersebut bisa menyebabkan tanaman cabai keriting atau layu.

3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Nari Gunung 2, yang terletak di Kecamatan Tiganderket, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena sebagian besar masyarakatnya berprofesi sebagai petani, namun masih menerapkan metode tradisional dalam kegiatan budidaya, khususnya dalam pemberian pupuk di suhu dan kelembapan tanah yang tidak tepat.

Hal ini menjadikan Desa Nari Gunung 2 sebagai lokasi yang tepat untuk mengimplementasikan teknologi Internet of Things (IoT) dan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) guna meningkatkan efisiensi pertanian.

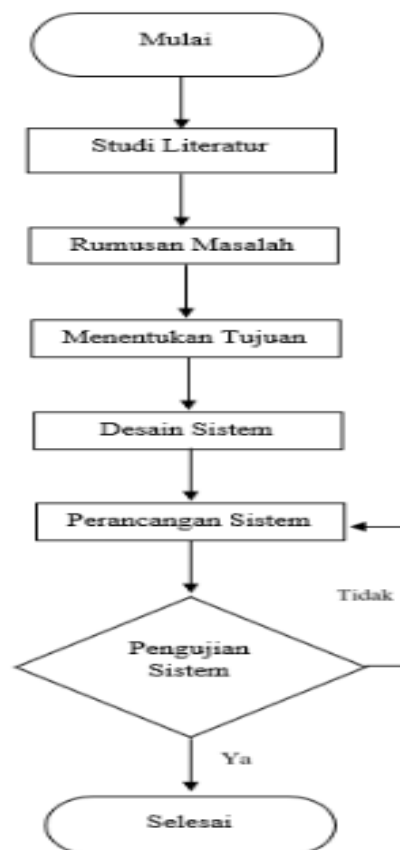
Survei ini dilakukan pada bulan Mei 2025. Penelitian ini mencakup beberapa tahap kegiatan, yaitu: observasi lapangan, pengumpulan data pendukung, perancangan dan pengembangan sistem, instalasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem secara langsung di lahan pertanian milik warga setempat.

3.3.1 Tahap Penelitian

Penelitian merupakan suatu proses ilmiah yang kompleks dan memerlukan perencanaan yang matang serta waktu pelaksanaan yang tidak singkat untuk memastikan setiap tahapannya dapat terlaksana dengan baik. Proses ini tidak hanya sekedar kegiatan pengumpulan data atau implementasi sistem, melainkan melibatkan serangkaian langkah sistematis yang harus dirancang secara cermat sejak awal.

Perencanaan menjadi hal penting dalam penelitian karena akan menentukan arah, fokus, serta kualitas hasil akhir dari penelitian yang dilakukan. Sebagaimana ungkapan bijak yang menyatakan bahwa “semua membutuhkan persiapan yang matang” maka perencanaan yang tidak tepat dapat berdampak langsung terhadap validitas, efektivitas, dan kebermanfaatan hasil penelitian itu sendiri.

Dalam konteks penelitian ini, peneliti menyusun tahapan kegiatan secara berurutan dan terstruktur, dimulai dari studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat, hingga tahap akhir berupa pengujian sistem yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat yang telah dikembangkan.



Gambar 3.2 Tahap Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari setiap tahapan-tahapan penelitian dari gambar diatas.

1. Studi Literatur

Peneliti melakukan studi literatur dengan mengumpulkan dan memahami referensi teori dari buku, jurnal penelitian dan sumber lainnya yang relevan dengan topik penelitian. Studi ini mencakup teori *Internet Of Things*(IoT), Sistem pendukung keputusan, Sensor DHT11, *Soil Moisture Sensor*, RTC, Mikrokontroler ESP32, *Firebase* serta Arduino. Studi literatur ini menjadi dasar dalam merancang sistem monitoring suhu dan kelembapan tanah serta sistem rekomendasi waktu pemupukan tanaman cabai.

2. Perumusan Masalah

Pada tahap ini peneliti merumuskan masalah utama yang menjadi fokus penelitian, yaitu rendahnya efisiensi pemupukan tanaman cabai akibat tidak adanya sistem monitoring lingkungan yang terintegrasi dengan sistem pengambilan keputusan. Perumusan masalah ini bertujuan agar penelitian berjalan fokus dan terarah dalam mencari solusi berbasis teknologi.

3. Menentukan Tujuan

Peneliti telah menentukan tujuan penelitian, yaitu untuk merancang dan membangun sistem monitoring suhu dan kelembapan tanah berbasis IoT serta mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis *rule-based* yang mampu memberikan rekomendasi waktu pemupukan secara otomatis kepada petani cabai di Desa Nari Gunung 2

4. Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem secara umum dalam bentuk diagram blok dan gambaran alur kerja sistem. Desain ini menjelaskan hubungan antar komponen seperti sensor, mikrokontroler ESP32, koneksi ke *firebase*, serta bagaimana data dianalisis oleh SPK untuk menghasilkan rekomendasi.

5. Perancangan Sistem

Peneliti mulai merancang produk dalam bentuk perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi pemasangan sensor DHT11 dan *Soil Moisture* pada ESP32. Sedangkan perangkat lunak meliputi pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE, pengiriman data ke *firebase*, dan implementasi logika *rule-based* pada sistem pendukung keputusan.

6. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dibangun. Terdapat dua jenis pengujian yaitu, pengujian perangkat keras untuk memastikan sensor dan mikrokontroler bekerja sesuai spesifikasi, serta pengujian perangkat lunak untuk memastikan data dapat dikirim dan diproses dengan benar, termasuk validasi output rekomendasi pemupukan yang diberikan oleh SPK.

3.3.2 Peralatan yang digunakan

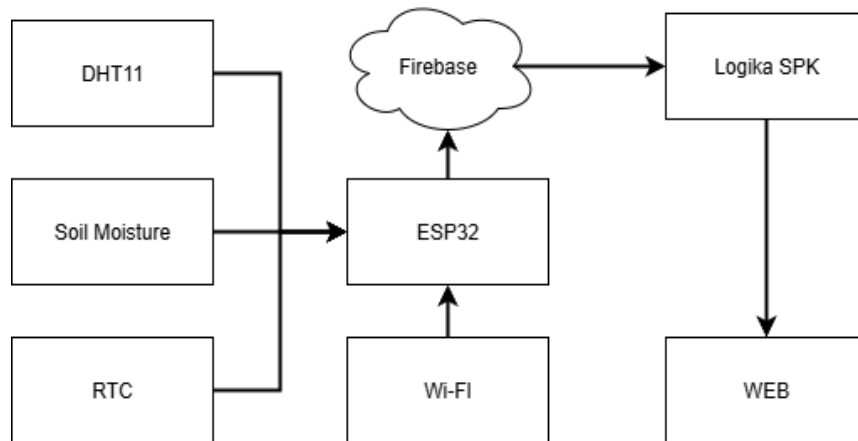
Pada perancangan sistem ini, diperlukan beberapa alat, bahan, dan aplikasi pendukung yang dikelompokkan menjadi tiga bagian utama, yaitu perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), dan alat penunjang. Perangkat keras yang digunakan antara lain mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembapan DHT11,

soil moisture sensor, RTC, modul konektor kabel jumper, serta laptop sebagai media akses monitoring. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari sensor, sementara sensor-sensor tersebut digunakan untuk membaca kondisi suhu dan kelembapan tanah secara real-time.

Untuk perangkat lunak, digunakan sistem operasi Windows 11, Arduino IDE versi 1.8.19 sebagai platform pemrograman mikrokontroler, dan Firebase Realtime Database sebagai tempat penyimpanan data berbasis cloud. Data yang dikirimkan oleh ESP32 ke Firebase selanjutnya ditampilkan pada antarmuka web. Pada tampilan web tersebut, data suhu dan kelembapan disajikan secara real-time dan diolah menggunakan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) berbasis *rule-based* yang telah ditentukan sebelumnya. Web ini menjadi media utama bagi pengguna (petani) untuk memantau kondisi lahan dan menerima rekomendasi waktu pemupukan, jenis pupuk dan rekomendasi tindakan yang dilakukan.

3.4 Desain Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung untuk melakukan pemantauan suhu, kelembapan tanah dan RTC serta mendukung pengambilan keputusan terkait waktu pemupukan tanaman cabai, jenis pupuk dan tindakan yang dilakukan sesuai kondisi suhu udara, kelembapan tanah dan umur tanaman menggunakan metode *rule-based*.



Gambar 3.3 Desain Sistem

Gambar 3.3 Gambar tersebut menunjukkan rancangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini dirancang untuk membantu petani dalam memantau kondisi lingkungan dan memberikan rekomendasi pemupukan tanaman cabai rawit, jenis pupuk dan rekomendasi tindakan secara otomatis berdasarkan data yang dikumpulkan melalui perangkat IoT dan diolah menggunakan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) berbasis metode *rule-based*.

Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman, sedangkan sensor kelembapan tanah berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembapan media tanam. Kedua sensor ini terhubung dengan mikrokontroler ESP32, yang juga menerima input waktu dari modul RTC (Real-Time Clock). RTC digunakan untuk mencatat waktu aktual dan menghitung umur tanaman sejak tanam, sehingga sistem dapat menyesuaikan jenis dan dosis pupuk sesuai fase pertumbuhan tanaman.

Data yang diperoleh dari ketiga sensor tersebut dikirimkan oleh ESP32 ke Firebase, sebuah platform penyimpanan cloud yang memungkinkan data disimpan dan diakses secara real-time. Dari Firebase, data selanjutnya diolah oleh modul

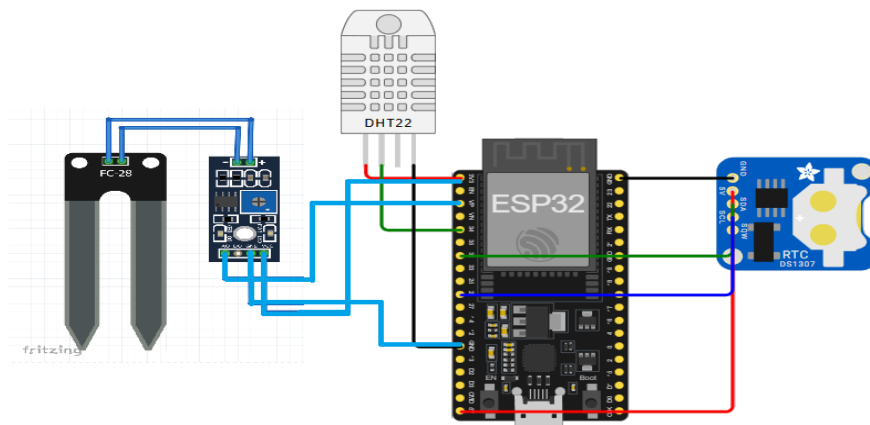
Logika SPK, yang telah dirancang berdasarkan aturan-aturan (rule) tertentu sesuai rekomendasi ahli pertanian, kondisi suhu, kelembapan tanah, dan umur tanaman.

Hasil analisis logika SPK kemudian ditampilkan pada antarmuka web, yang dapat diakses oleh petani untuk melihat rekomendasi pemupukan secara langsung. Rekomendasi tersebut meliputi jenis pupuk, dosis, serta waktu pemberian yang disarankan, atau peringatan untuk menunda pemupukan apabila kondisi lingkungan belum ideal.

3.5 Pembuatan Alat

3.5.1 Rangkaian

Perancangan rangkaian yang memiliki fungsi spesifik dan saling terintegrasi merupakan elemen penting dalam membangun sistem yang mendukung penelitian ini. Rangkaian alat pada penelitian ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, yang terhubung dengan sensor DHT11, *sensor soil moisture* dan RTC.



Gambar 3.4 Rangkaian Alat
(sumber : www.hackster.io)

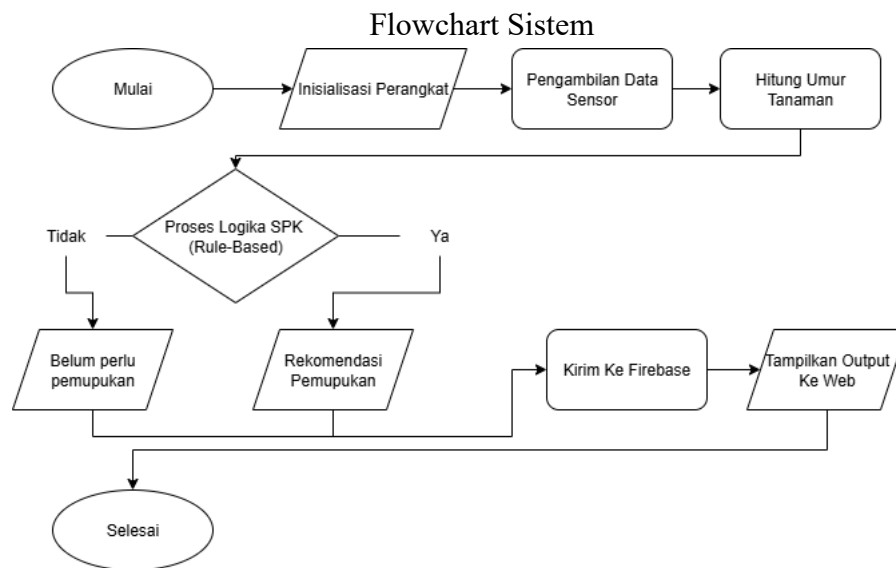
Rancangan ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat sensor yang mendukung petani dalam mengoptimalkan hasil panen dengan memantau kelembapan tanah dan kondisi cuaca. Sistem ini memanfaatkan tiga komponen utama, yaitu sensor DHT22, sensor kelembapan tanah FC-28, dan modul RTC DS1307, yang semuanya terhubung dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan pemrosesan data.

Sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, dan dihubungkan ke ESP32 melalui pin GPIO 34 sebagai jalur data digital. Sensor kelembapan tanah FC-28 digunakan untuk mendeteksi kadar air dalam tanah dan dihubungkan melalui pin GPIO (VP/A0) sebagai input analog. Sedangkan modul RTC DS1307, yang digunakan untuk mencatat waktu tanam dan waktu pemupukan secara real-time, terhubung menggunakan komunikasi I2C, yaitu melalui pin GPIO 32 (SDA) dan GPIO 26 (SCL) pada ESP32.

Dengan konfigurasi ini, seluruh data lingkungan sekitar tanaman cabai rawit caplak akan dipantau secara otomatis. Data suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah akan diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke database Firebase secara real-time melalui koneksi WiFi. Sistem ini mendukung integrasi dengan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) berbasis metode rule-based untuk merekomendasikan waktu dan dosis pemupukan yang tepat berdasarkan parameter yang terukur serta waktu tanam yang tercatat dari RTC.

3.6 Flowchart Sistem

Berikut ini adalah flowchart sistem yang menggunakan ESP32, sensor DHT11, sensor kelembapan tanah, dan sistem pendukung keputusan (SPK) untuk menentukan waktu pemupukan tanaman cabai. Dan berikut ini adalah gambar flowchart sistem yang dapat kita lihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Flowchart Sistem

Berikut ini penjelasan dari flowchart sistem diatas:

1. Mulai: Proses Sistem dimulai saat alat dinyalakan.
2. Inisialisasi Perangkat: ESP32 menginisialisasi sensor DHT11, *Soil Moisture* dan RTC DS1307.
3. Pengambilan Data Sensor: Sensor DHT11 membaca suhu udara, Sensor *Soil Moisture* membaca kelembapan tanah, dan RTC membaca tanggal dan waktu saat ini.
4. Hitung Umur Tanaman: Sistem menghitung umur tanaman berdasarkan tanggal tanam dan waktu saat ini dari RTC.
5. Proses Logika SPK (*Rule Based*): sistem memproses data sebagai berikut jika umur tanaman masuk dalam rentang tertentu, dan jika suhu

udara, dan kelembapan tanah sesuai dengan syarat pemupukan, maka sistem memberikan rekomendasi pemupukan jenis dan dosis pupuk.

6. Jika tidak memenuhi syarat, maka sistem menyarankan belum perlu pemupukan.
7. Kirim Data ke Firebase: Semua data suhu udara, kelembapan tanah, umur tanaman, hasil rekomendasi SPK dikirim ke firebase untuk ditampilkan ke web.
8. Tampilkan Output: Output dapat berupa status rekomendasi pemupukan dan data lingkungan tanaman.
9. Selesai: Proses selesai.

BAB 4

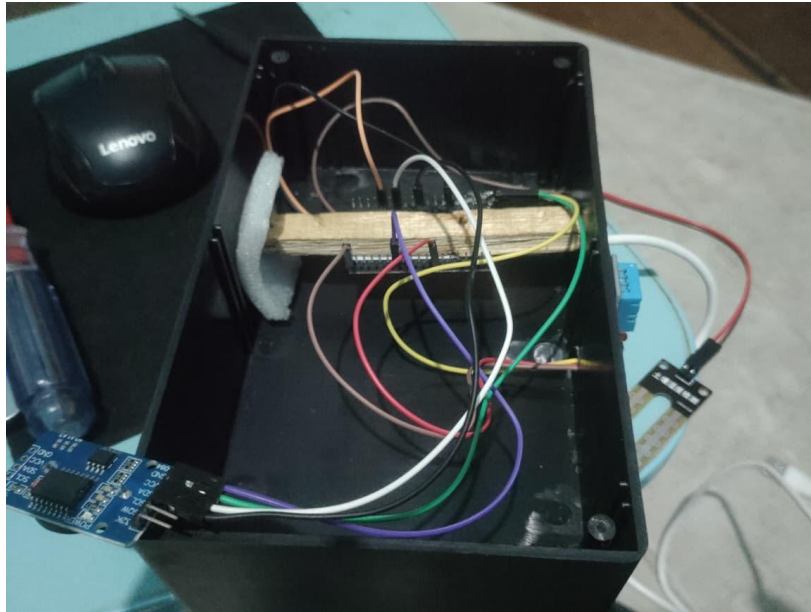
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pendukung keputusan (SPK) berbasis IoT yang mampu memantau kondisi lingkungan suhu udara dan kelembapan tanah serta memberikan rekomendasi waktu, jenis, dan dosis pemupukan yang tepat untuk tanaman cabai rawit caplak. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada pengamatan manual dan intuisi petani dengan menyediakan data yang akurat dan real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan hasil panen.

4.2 Hasil Rancangan Alat

Pada proses ini dibahas secara rinci langkah-langkah perakitan sistem monitoring kondisi lingkungan untuk pemupukan yang menggunakan modul ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Sistem ini dilengkapi dengan sensor DHT11 untuk suhu dan kelembapan udara, sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*) seperti FC-28, dan modul RTC (Real-Time Clock) untuk pencatatan waktu. Untuk sumber daya dan komunikasi data, sistem dapat menggunakan sambungan kabel USB dari ESP32 ke komputer untuk pemrograman dan logging data awal. Pembahasan ini akan mencakup perakitan fisik komponen-komponen tersebut, pengaturan pin pada ESP32, serta pengujian awal untuk memastikan bahwa semua sensor berfungsi dengan baik dan dapat membaca data yang akurat.



Gambar 4.1 Rangkaian Pin

Berdasarkan Gambar 4.1 diagram rangkaian memperlihatkan konfigurasi koneksi antara setiap sensor dan modul ESP32. Pin data sensor suhu DHT11 terhubung ke pin GPIO 16, sementara output sensor kelembapan tanah (*soil moisture*) dihubungkan ke pin GPIO 34 yang berfungsi sebagai input analog. Modul RTC terhubung menggunakan antarmuka I2C, dengan pin SCL terhubung ke GPIO 26 dan pin SDA ke GPIO 32. Seluruh modul sensor dan RTC memperoleh suplai daya dari pin 5V dan *ground* (GND) pada board ESP32. Proses penyambungan seluruh kabel dilakukan menggunakan kabel jumper yang disekrup pada terminal block yang tersedia di masing-masing modul sensor. Dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini hubungan pin sensor ke ESP32 dan beserta warna kabel jumper nya.

Sensor	Pin Sensor	Pin ESP32	Warna Kabel
Sensor Suhu DHT11	GND	GND	Coklat
	DAT	GPIO 16	Merah
	VCC	VCC	Kuning
Sensor Soil Moisture(FC-28)	GND	GND	Hitam
	AO	GPIO 34	Jingga
	VCC	VCC	Coklat
Real Time Clock (RTC)	GND	GND	Unggu
	SDA	GPIO 32	Putih
	SCL	26	Hitam
	VCC	VCC	Hijau

Tabel 4.1 Hubungan Pin ESP32 ke sensor DHT11, FC28, RTC

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada sistem pendukung keputusan pemupukan tanaman cabai ini, perangkat lunak dirancang untuk mengelola pengambilan data dari sensor DHT11 dan *soil moisture* melalui mikrokontroler ESP32 dan menampilkan hasil rekomendasi pemupukan secara interaktif pada antarmuka web. Sistem terdiri dari dua komponen utama: pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE dan pengembangan aplikasi web dengan integrasi database Firebase untuk menampilkan data serta rekomendasi.

4.4 Pemrograman Mikrokontroler ESP32

Pemrograman mikrokontroler ESP32 dilakukan menggunakan Arduino IDE, yang berfungsi sebagai platform pengembangan terpadu untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode (sketch) ke perangkat. Pada penelitian ini, ESP32 diprogram untuk membaca data dari sensor-sensor yang terpasang, yaitu sensor DHT11 (pembaca suhu dan kelembapan udara), sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*), dan modul RTC (*Real-Time Clock*) untuk pencatatan waktu.

Berikut adalah tahapan tahapan dalam pemrograman di Arduino IDE ke ESP 32:

1. Untuk mendefinisikan jenis board, sensor kelembapan tanah, sensor suhu udara, RTC, dan untuk mengirim data ke firebase digunakan kode sebagai berikut:

```
#include <WiFi.h>

#include <DHT.h>

#include <Firebase_ESP_Client.h>

#include <Wire.h>

#include "RTCLib.h"
```

2. Untuk menghubungkan ESP32 ke wifi dibutuhkan konfigurasi menggunakan kode sebagai berikut:

```
#define WIFI_SSID "NAMA_JARINGAN"

#define WIFI_PASSWORD "PASSWORD_WIFI"
```

3. Untuk menghubungkan ESP32 ke firebase dibutuhkan konfigurasi menggunakan kode sebagai berikut:

```
#define API_KEY "API_KEY_FIREBASE"

#define DATABASE_URL "URL_DATABASE_FIREBASE"

#define USER_EMAIL "EMAIL_AUTENTIKASI"

#define USER_PASSWORD "PASSWORD_AUTENTIKASI"
```

4. Untuk menghubungkan ESP32 ke masing-masing sensor menggunakan kode sebagai berikut:

```
#define DHTPIN 16 // Pin Data Sensor Suhu

#define SOIL_PIN 34 // pin analog FC-28 (AO ke pin 34 ESP32)
```

5. Agar ESP32 bisa membaca dan mengambil data dari sensor menggunakan kode sebagai berikut:

```
float h = dht.readHumidity();

float t = dht.readTemperature();

if (!isnan(h) && !isnan(t) // Sensor DHT11

int soilValue = analogRead(SOIL_PIN); // nilai analog 0–4095

int soilPercent = map(soilValue, 0, 4095, 100, 0); // ubah ke % sensor soil moisture

DateTime now = rtc.now();

String timestamp = String(now.year()) + "-" +

String(now.month()) + "-" +

String(now.day()) + " " + String(now.hour()) + ":" +

String(now.minute()) + ":" + String(now.second()); // RTC
```

4.5 Rancangan Aplikasi Web

Aplikasi web pada sistem pendukung keputusan pemupukan ini dibangun dengan arsitektur client-server, di mana data hasil pembacaan sensor dari perangkat IoT ESP32 diproses menggunakan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) berbasis aturan (*rule-based*) yang telah ditentukan berdasarkan studi literatur dan ahli pertanian. Hasil pengolahan berupa rekomendasi pemupukan kemudian ditampilkan melalui antarmuka web yang responsif dan informatif. Perancangan sistem ini terdiri dari beberapa komponen, antara lainnya:

1. Perumusan Aturan Sistem Pendukung Keputusan

Sebelum sistem dapat memberikan rekomendasi pemupukan, dibutuhkan aturan-aturan logika (*rule-based*) yang ditetapkan berdasarkan studi literatur dan

pengetahuan ahli pertanian. Untuk itu, digunakan referensi dari berbagai sumber seperti jurnal pertanian dan wawancara dengan pakar sebagai dasar penyusunan aturan. Aturan-aturan ini mempertimbangkan parameter suhu udara, kelembapan tanah, dan umur tanaman, yang masing-masing mewakili kondisi lingkungan dan fase pertumbuhan tanaman. Berdasarkan aturan-aturan ini, sistem pendukung keputusan (SPK) dirancang menggunakan logika *rule-based* tanpa melibatkan machine learning. Contoh kode SPK nya sebagai berikut:

```
if (umur <= 7) {
    fase = "Pra Tanam";
    pupuk = "Pupuk kandang fermentasi";
    dosis = "1–2 kg";
    cara = "Dicampur ke bedengan";}
let tindakan = "";
if (suhu > 30) “tindakan Suhu tinggi, tunda pemupukan.”;
if (suhu < 20) “Suhu rendah, tunggu suhu ideal.”;
if (soil < 60) “tindakan Kelembapan tanah rendah, segera lakukan penyiraman disore hari.”;
if (soil > 80) “tindakan Tanah terlalu basah, tunggu hingga kelembapan optimal.”;
File konfigurasi aturan disimpan dalam bentuk kode program yang terintegrasi dengan sistem, dan hanya perlu diperbarui jika terdapat perubahan rekomendasi pupuk berdasarkan perkembangan studi atau masukan dari ahli pertanian.
```

2. Integrasi Firebase dan Logika Rule-Based

Setelah aturan-aturan pemupukan ditetapkan berdasar studi literatur dan pengetahuan ahli, aturan-aturan pemupukan kemudian diimplementasikan ke dalam

logika berbasis aturan (*rule-based*) menggunakan JavaScript pada antarmuka web. Logika ini bertugas menghasilkan rekomendasi pemupukan dengan memproses parameter suhu udara, kelembapan tanah, dan umur tanaman. Dalam arsitektur ini, Firebase Realtime Database berfungsi sebagai *backend* terkelola (*managed backend*) yang menyimpan dan menyinkronkan data sensor secara *real-time*, sedangkan seluruh pemrosesan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dilakukan sepenuhnya di sisi *client* (*client-side*).

3. Antarmuka Pengguna

Antarmuka aplikasi web ini dikembangkan dengan memanfaatkan HTML dan framework Tailwind CSS untuk menghasilkan desain yang adaptif terhadap berbagai perangkat dan mudah dipahami oleh pengguna. Data pembacaan sensor diperlihatkan secara langsung melalui elemen `<p>` yang nilainya terus menerus diperbarui secara dinamis melalui integrasi Firebase Realtime Database.

4. Pembacaan Data Dari Sensor

Mikrokontroler ESP32 diprogram untuk membaca data dari sensor suhu DHT11 dan sensor kelembapan tanah FC-28, kemudian mengirimkannya secara langsung ke Firebase Realtime Database menggunakan library Firebase Arduino. Pada sisi aplikasi web, data tersebut diambil secara *real-time* dari Firebase menggunakan SDK JavaScript tanpa memerlukan backend perantara seperti Flask atau Python serial reader, sehingga memungkinkan update data secara instan dan efisien. Contoh kode pembacaan data sensor dari firebase sebagai berikut:

```
// Ambil data sensor dari Firebase
db.ref("sensors/dht11").on("value", snap => {
  if (snap.exists()) {
```

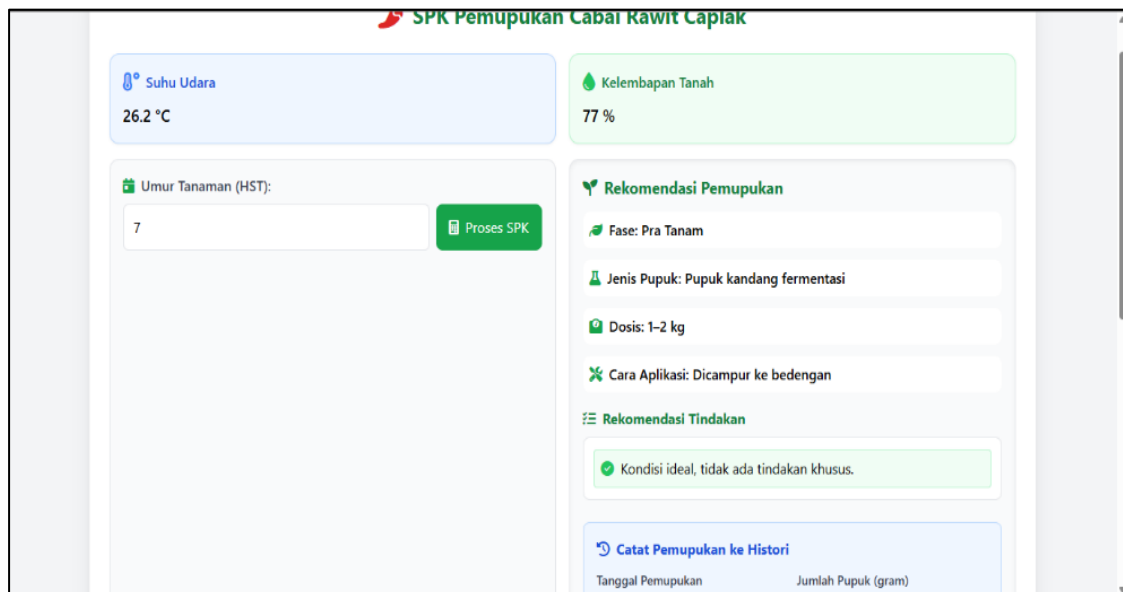
```
suhu = snap.val().temperature || 0;  
  
document.getElementById("suhu").innerText = suhu + " °C";  
  
} else {  
  
document.getElementById("suhu").innerText = "Data tidak tersedia";}
```

4.6 Implementasi Perangkat Keras



Gambar 4.2 Implementasi Alat

Berdasarkan gambar rangkaian pada Gambar 4.2, alat IoT digunakan untuk memantau kondisi tanaman cabai rawit caplak. Tanaman tersebut berada pada suhu udara 26.2°C dan kelembapan tanah 77%. Data ini kemudian dikirim dan ditampilkan pada antarmuka web, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Website menampilkan pembacaan data sensor secara real-time.



Gambar 4.3 Website Monitoring

Data dari kebun cabai rawit ciplak dengan kondisi suhu dan kelembapan tanah yang normal ditampilkan pada antarmuka web, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Website secara real-time menampilkan nilai-nilai yang terbaca saat perangkat IoT dipasang pada media tanam. Berdasarkan gambar rangkaian pada Gambar 4.3, terlihat kondisi tanaman cabai rawit ciplak yang optimal dengan suhu mencapai 26.2°C dan kelembapan tanah hanya 77%, yang berhasil terdeteksi oleh alat IoT. Seperti pada kondisi normal, data hasil monitoring ini juga dikirimkan dan ditampilkan pada antarmuka web.

4.7 Implementasi Coding IoT

Implementasi pemrograman untuk sistem pemantau kondisi lingkungan cuaca dan kelembapan tanah berbasis IoT dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Kode program dikembangkan menggunakan Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan terpadu yang memungkinkan penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode (sketch) ke

mikrokontroler ESP32. Platform ini menyediakan antarmuka yang user-friendly serta dukungan berbagai library yang mempermudah integrasi dengan sensor DHT11, soil moisture sensor, modul RTC, dan layanan Firebase untuk penyimpanan data cloud. Arduino IDE dipilih karena kemampuannya yang lintas platform dan kompatibilitasnya yang baik dengan berbagai mikrokontroler, termasuk ESP32 yang digunakan dalam penelitian sistem pendukung keputusan pemupukan tanaman cabai rawit caplak ini. Berikut adalah pseudocode:

```
// PROGRAM: Pemantauan Sensor IoT dengan ESP32, Firebase, DHT11,
Kelembapan Tanah, dan RTC

// --- BAGIAN 1: KONFIGURASI AWAL ---

MULAI KONFIGURASI

// Pengaturan Jaringan WiFi

DEFINISIKAN NAMA_WIFI sebagai "NAMA WIFI"

DEFINISIKAN KATA_SANDI_WIFI sebagai "PASSWORD WIFI"

// Pengaturan Database Firebase

DEFINISIKAN KUNCI_API_FIREBASE sebagai "AIzaSyC1JA-
tMd_6s6cmzhRCe2kXi0EkKQ7SbTU"

DEFINISIKAN URL_DATABASE_FIREBASE sebagai "https://iot-fc28-rtc-
dht11-andre-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"

DEFINISIKAN EMAIL_PENGGUNA sebagai "contoh123@gmail.com"

DEFINISIKAN KATA_SANDI_PENGGUNA sebagai "contoh123"

// Pengaturan Pin Sensor

DEFINISIKAN PIN_SENSOR_DHT sebagai 16

DEFINISIKAN TIPE_SENSOR_DHT sebagai DHT11
```



```

DEFINISIKAN PIN_SENSOR_TANAH sebagai 34 (pin analog)

DEFINISIKAN PIN_I2C_SDA sebagai 32 // Untuk komunikasi dengan RTC

DEFINISIKAN PIN_I2C_SCL sebagai 26 // Untuk komunikasi dengan RTC

// Pengaturan Variabel Umum

DEFINISIKAN INTERVAL_PENGIRIMAN_DATA sebagai 5000 milidetik (5
detik) BUAT VARIABEL waktuPengirimanTerakhir, beri nilai awal 0

AKHIRI KONFIGURASI

// --- BAGIAN 2: PROSEDUR INISIALISASI (SETUP) ---

MULAI PROSEDUR INISIALISASI

// Mulai komunikasi serial untuk menampilkan pesan di Serial Monitor

MULAI Serial Monitor pada kecepatan 115200

// Siapkan sensor

MULAI sensor DHT

MULAI komunikasi I2C menggunakan PIN_I2C_SDA dan PIN_I2C_SCL

MULAI modul RTC

// Hubungkan ke jaringan WiFi

CETAK "Menghubungkan WiFi"

HUBUNGKAN ke WiFi menggunakan NAMA_WIFI dan KATA_SANDI_WIFI

SELAMA koneksi WiFi belum berhasil:

CETAK "." TUNGGU sebentar (500 milidetik)

AKHIRI SELAMA

CETAK "WiFi Tersambung, Alamat IP: " + alamat IP perangkat

// Hubungkan ke Firebase

```

KONFIGURASI Firebase dengan KUNCI_API, URL_DATABASE,
EMAIL_PENGGUNA, dan KATA_SANDI_PENGGUNA

MULAI koneksi ke Firebase

CETAK "Firebase berhasil diinisialisasi."

// Periksa dan atur waktu pada RTC

JIKA modul RTC tidak terdeteksi:

CETAK "RTC tidak ditemukan!"

HENTIKAN program dalam perulangan tanpa akhir

AKHIRI JIKA

JIKA RTC kehilangan daya (misalnya, baterai habis):

CETAK "RTC kehilangan daya, set waktu default."

ATUR waktu RTC sesuai dengan waktu saat kode ini di-compile

AKHIRI JIKA

AKHIRI PROSEDUR INISIALISASI

// --- BAGIAN 3: PERULANGAN UTAMA (LOOP) ---

MULAI PERULANGAN UTAMA

// Cek apakah sudah waktunya mengirim data lagi (setiap 5 detik) dan koneksi

Firestore siap JIKA (koneksi Firestore sudah siap DAN (waktu sekarang -
waktuPengirimanTerakhir > INTERVAL_PENGIRIMAN_DATA)):

// Perbarui waktu pengiriman terakhir ke waktu sekarang

ATUR waktuPengirimanTerakhir menjadi waktu sekarang

// --- Langkah 1: Baca dan Kirim Data Sensor DHT11 (Suhu & Kelembapan Udara)

--- BACA nilaiKelembapanUdara dari sensor DHT

BACA nilaiSuhu dari sensor DHT

JIKA nilaiKelembapanUdara DAN nilaiSuhu adalah angka yang valid:

BUAT objek data JSON baru untuk DHT11

TAMBAHKAN data "temperature" dengan nilai dari nilaiSuhu ke JSON

TAMBAHKAN data "humidity" dengan nilai dari nilaiKelembapanUdara ke JSON

JIKA berhasil mengirim JSON DHT11 ke alamat "/sensors/dht11" di Firebase:

CETAK "DHT11 terkirim: " + nilaiSuhu + " °C, " + nilaiKelembapanUdara + " %"

LAINNYA:

CETAK "Gagal kirim DHT11. Alasan: " + pesan error dari Firebase

AKHIRI JIKA

AKHIRI JIKA

// --- Langkah 2: Baca dan Kirim Data Sensor Kelembapan Tanah (FC-28) ---

BACA nilaiMentahTanah dari PIN_SENSOR_TANAH (nilai analog antara 0–4095)

UBAH rentang nilaiMentahTanah (0–4095) menjadi nilaiPersentaseTanah (100–0)

BUAT objek data JSON baru untuk sensor tanah

TAMBAHKAN data "raw" dengan nilai dari nilaiMentahTanah ke JSON

TAMBAHKAN data "percent" dengan nilai dari nilaiPersentaseTanah ke JSON

JIKA berhasil mengirim JSON sensor tanah ke alamat "/sensors/fc28" di Firebase:

CETAK "Soil Moisture terkirim: " + nilaiMentahTanah + " (raw), " + nilaiPersentaseTanah + "%"

CETAK "Gagal kirim Soil Moisture. Alasan: " + pesan error dari Firebase

AKHIRI JIKA

// --- Langkah 3: Baca dan Kirim Data Waktu dari RTC ---

DAPATKAN waktuSekarang dari modul RTC

FORMAT waktuSekarang menjadi sebuah teks (String) dengan format "TAHUN-BULAN-TANGGAL JAM:MENIT:DETIK"

BUAT objek data JSON baru untuk RTC

TAMBAHKAN data "last_update" dengan nilai dari teks waktu yang sudah diformat ke JSON

JIKA berhasil mengirim JSON RTC ke alamat "/sensors/rtc" di Firebase:

CETAK "RTC terkirim: " + teks waktu

LAINNYA:

CETAK "Gagal kirim RTC. Alasan: " + pesan error dari Firebase

AKHIRI JIKA

AKHIRI JIKA // Akhir dari blok pengiriman data berkala

AKHIRI PERULANGAN UTAMA

4.8 Implementasi Website

Implementasi pengembangan aplikasi web untuk sistem pemantauan kondisi lingkungan suhu udara dan kelembapan tanah serta pemberian rekomendasi pemupukan tanaman cabai berbasis IoT memanfaatkan beberapa teknologi frontend modern. Arsitektur aplikasi web dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript vanilla untuk membangun antarmuka pengguna yang responsif dan interaktif. Untuk *styling* dan tampilan visual, digunakan TailwindCSS yang menyediakan utility-class yang efisien serta komponen UI yang konsisten untuk mempercepat pengembangan.

Komunikasi data real-time ditangani melalui Firebase JavaScript SDK yang berfungsi untuk menerima update data secara instan dari Firebase Realtime Database setiap kali terdapat perubahan data sensor. Mekanisme

listener on("value") ini memastikan tampilan pada aplikasi web selalu menampilkan data sensor yang terbaru tanpa perlu melakukan refresh manual.

Kode program aplikasi web tersebut terintegrasi langsung dengan Firebase Realtime Database untuk menampilkan data sensor DHT11 suhu dan kelembapan udara, sensor kelembapan tanah FC-28, serta informasi waktu dari RTC yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32. Selain itu, aplikasi web juga mengimplementasikan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) berbasis rule-based secara client-side untuk menghasilkan rekomendasi pemupukan yang tepat berdasarkan parameter suhu udara, kelembapan tanah, dan umur tanaman.

Berikut adalah kode lengkap untuk sistem ini:

```
// PROGRAM: Sistem Pendukung Keputusan (SPK) Pemupukan Cabai Rawit
Caplak
```

```
// TUJUAN: Memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan umur tanaman dan
data sensor, serta mencatat riwayat pemupukan.
```

```
// --- BAGIAN 1: STRUKTUR TAMPILAN (ANTARMUKA PENGGUNA) --- //
```

Halaman web ini terdiri dari beberapa komponen visual utama:

Judul Aplikasi: "SPK Pemupukan Cabai Rawit Caplak" dengan ikon cabai.

Panel Data Sensor:

Kartu untuk menampilkan "Suhu Udara" (diperbarui secara real-time dari Firebase).

Kartu untuk menampilkan "Kelembapan Tanah" (diperbarui secara real-time dari Firebase).

Panel Input Pengguna:

Kolom input untuk memasukkan "Umur Tanaman" dalam satuan Hari Setelah Tanam (HST).

Tombol "Proses SPK" untuk memicu analisis.

Pesan error yang akan muncul jika input tidak valid.

Indikator Loading: Animasi berputar yang muncul saat SPK sedang diproses.

Panel Hasil SPK (Awalnya tersembunyi):

Rekomendasi Pemupukan: Menampilkan Fase Pertumbuhan, Jenis Pupuk, Dosis, dan Cara Aplikasi.

Rekomendasi Tindakan: Memberikan saran tambahan berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan tanah (misalnya, "segera siram" atau "tunda pemupukan").

Form Pencatatan Histori:

Input tanggal pemupukan.

Area teks untuk keterangan tambahan.

Tombol "Simpan ke Histori".

Panel Histori Pemupukan:

Judul dan tombol "Muat Ulang".

Tabel yang menampilkan daftar riwayat pemupukan, berisi kolom: Tanggal, Pupuk, Dosis, Keterangan, dan Aksi (Edit/Hapus).

Jendela Pop-up (Modal) untuk Edit:

Formulir untuk mengedit data histori yang sudah ada.

Tombol "Simpan Perubahan" dan "Batal".

// --- BAGIAN 2: VARIABEL UTAMA (STATE APLIKASI) --- DEFINISIKAN variabel global:

suhu: untuk menyimpan nilai suhu terakhir dari Firebase.

kelembapanTanah: untuk menyimpan nilai kelembapan tanah terakhir dari Firebase.

koneksiFirebaseSiap: penanda (boolean) apakah koneksi ke Firebase berhasil.

database: objek koneksi ke Firebase Realtime Database.

kunciEditSaatIni: untuk menyimpan kunci (ID unik) dari data histori yang sedang diedit.

// --- BAGIAN 3: ALUR LOGIKA & FUNGSI-FUNGSI ---

// --- A. Inisialisasi Saat Halaman Pertama Kali Dimuat ---

MULAI PROSES UTAMA:

KONFIGURASI koneksi ke Firebase menggunakan kredensial yang diberikan.

COBA LAKUKAN: Inisialisasi aplikasi Firebase. Jika berhasil,

atur koneksiFirebaseSiap menjadi BENAR.

DAPATKAN koneksi ke Realtime Database dan simpan di variabel database.

Pasang Pendengar Data Real-time: - Untuk path `"/sensors/dht11"`:

Setiap kali data suhu berubah di Firebase, perbarui variabel suhu dan tampilkan di elemen HTML `"suhu"`.

Untuk path `"/sensors/fc28"`: Setiap kali data kelembapan tanah berubah, perbarui variabel kelembapanTanah dan tampilkan di elemen HTML `"soil"`.

PANGGIL FUNGSI `muatHistoriPemupukan()` untuk menampilkan data riwayat pertama kali.

JIKA GAGAL (koneksi error):

Tampilkan pesan error di konsol dan di panel data sensor.

// --- B. Fungsi Utama: `prosesSPK()` --- //

Dipanggil saat tombol `"Proses SPK"` diklik.

FUNGSI `prosesSPK`:

AMBIL elemen-elemen HTML yang relevan (input umur, pesan error, panel hasil).

AMBIL nilai dari input umur tanaman.

VALIDASI: JIKA umur kosong atau kurang dari 0, tampilkan pesan error dan HENTIKAN fungsi.

SEMBUNYIKAN pesan error dan panel hasil, lalu

TAMPILKAN indikator loading.

LAKUKAN PENUNDAAN (simulasi waktu proses):

TENTUKAN fase, pupuk, dosis, dan cara berdasarkan rentang umur tanaman (menggunakan struktur JIKA-MAKA).

JIKA umur ≤ 7 MAKA fase = "Pra Tanam",

JIKA umur ≤ 14 MAKA fase = "Pupuk Dasar",

DAN SETERUSNYA...

TAMPILKAN hasil rekomendasi pemupukan di panel hasil.

Buat Rekomendasi Tindakan Tambahan:

BUAT variabel tindakan kosong.

JIKA suhu > 30 , TAMBAHKAN pesan "Suhu tinggi, tunda pemupukan" ke tindakan.

JIKA kelembapanTanah < 60 , TAMBAHKAN pesan "Tanah kering, segera siram" ke tindakan.

DAN SETERUSNYA... –

JIKA tindakan tetap kosong, tampilkan pesan "Kondisi ideal".

TAMPILKAN tindakan di panel hasil.

SEMBUNYIKAN indikator loading

TAMPILKAN panel hasil.

Geser layar (scroll) ke panel hasil agar terlihat oleh pengguna.

// --- C. Fungsi-Fungsi untuk Mengelola Histori (CRUD) ---

FUNGSI muatHistoriPemupukan():

AMBIL semua data dari path `"/histori_pemupukan"` di Firebase.

JIKA data ada:

URUTKAN data berdasarkan tanggal (dari yang terbaru ke terlama).

BUAT string HTML kosong untuk tabel.

UNTUK SETIAP data histori:

Buat satu baris tabel (`<tr>`).

Isi sel-selnya (`<td>`) dengan data tanggal, pupuk, dosis, dan keterangan.

Buat tombol "Edit" dan "Hapus" yang menyertakan kunci unik dari data tersebut.

GABUNGKAN baris tabel ini ke string HTML.

MASUKKAN string HTML yang sudah jadi ke dalam badan tabel di halaman.

LAINNYA (jika tidak ada data): Tampilkan pesan "Belum ada data histori".

FUNGSI simpanHistoriPemupukan():

AMBIL nilai dari input tanggal dan keterangan.

VALIDASI: Jika tanggal kosong, tampilkan pesan error.

AMBIL data pupuk dan dosis dari panel hasil rekomendasi saat ini.

BUAT objek data baru yang berisi: tanggal, pupuk, dosis, keterangan, dan waktu simpan.

KIRIM (push) objek data baru ini ke path `"/histori_pemupukan"` di Firebase.

Jika berhasil: Tampilkan pesan sukses, kosongkan form, dan panggil `muatUlangHistori()`.

Jika gagal: Tampilkan pesan error.

FUNGSI bukaModalEdit(kunci):

Simpan kunci data yang akan diedit ke variabel kunciEditSaatIni.

AMBIL data spesifik dari Firebase menggunakan kunci tersebut.

Jika data ditemukan, ISI form di dalam modal edit dengan data tersebut.

TAMPILKAN modal edit.

FUNGSI updateHistoriPemupukan():

AMBIL nilai-nilai yang sudah diubah dari form di modal edit.

BUAT objek data yang sudah diperbarui.

PERBARUI (update) data di Firebase pada path

"/histori_pemupukan/[kunciEditSaatIni]" dengan objek data baru.

Jika berhasil: Tampilkan pesan sukses, tutup modal, dan panggil muatUlangHistori().

FUNGSI hapusHistori(kunci):

TAMPILKAN kotak konfirmasi "Apakah Anda yakin?".

JIKA pengguna setuju:

HAPUS data dari Firebase pada path "/histori_pemupukan/[kunci]".

Jika berhasil: Tampilkan pesan sukses dan panggil muatUlangHistori().

// --- D. Fungsi Bantu dan Event Listener Tambahan ---

Event Listener untuk Tombol 'Enter': Jika pengguna menekan 'Enter' di kolom input umur, panggil prosesSPK().

Event Listener untuk Modal: Jika pengguna mengklik area gelap di luar modal edit, panggil fungsi untuk menutup modal.

Pengaturan Default: Atur nilai default input tanggal pencatatan ke hari ini.

Fungsi formatTanggal: Ubah format tanggal dari web.

Hasil website:



Gambar 4.4 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 1

Sistem Pendukung Keputusan (SPK) pemupukan cabai rawit ciplak merupakan sebuah aplikasi berbasis web yang dirancang untuk memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi lingkungan dan fase pertumbuhan tanaman. Pada minggu pertama tanggal 14 Agustus 2025 tampilan yang terlihat, sistem sedang menampilkan data real-time dari sensor yang terpasang di lahan, yaitu suhu udara sebesar 26.2 °C dan kelembapan tanah sebesar 77%. Kedua nilai ini berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan cabai rawit, di mana suhu ideal berkisar antara 25-30°C dan kelembapan tanah ideal antara 60-80%.

Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 7 HST (Hari Setelah Tanam) dan menekan tombol "Proses SPK" untuk menghasilkan rekomendasi. Berdasarkan umur tersebut, sistem mengklasifikasikan tanaman berada dalam fase "Pra Tanam" dan merekomendasikan penggunaan pupuk kandang fermentasi dengan dosis 1-2 kg. Cara aplikasi yang disarankan adalah dengan mencampurkan pupuk ke dalam bedengan secara merata sebelum atau setelah penanaman.

Karena kondisi suhu dan kelembapan tanah termasuk ideal, sistem tidak memberikan peringatan atau tindakan khusus dan menampilkan pesan "Kondisi ideal, tidak ada tindakan khusus."

Di bagian bawah, terdapat form untuk mencatat pelaksanaan pemupukan ke dalam histori. Form ini memungkinkan pengguna untuk memilih tanggal pemupukan dan mencatat jumlah pupuk yang digunakan dalam gram. Dengan demikian, sistem tidak hanya memberikan rekomendasi tetapi juga membantu petani dalam mendokumentasikan setiap aktivitas pemupukan yang dilakukan untuk keperluan monitoring dan evaluasi lebih lanjut.



Gambar 4.5 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 3

Berdasarkan tampilan antarmuka sistem pendukung keputusan (SPK) pemupukan cabai rawit caplak pada minggu ketiga tanggal 28 Agustus 2025, sistem sedang memproses rekomendasi pemupukan berdasarkan data sensor dan input pengguna. Data lingkungan menunjukkan suhu udara sebesar 25.3 °C yang berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan cabai rawit, sementara kelembapan tanah menunjukkan nilai 86% yang melebihi batas ideal 60-80%.

Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 14 HST (Hari Setelah Tanam). Berdasarkan parameter ini, sistem merekomendasikan fase "Pupuk Dasar" dengan menggunakan NPK 15-15-15 sebanyak 5–10g yang diaplikasikan dengan cara "Dikocor/Diberikan sekitar akar".



Gambar 4.6 Kelembapan Tanah Tinggi Minggu Ke 3

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat kelembapan tanah terlalu basah, sistem juga memberikan peringatan penting melalui rekomendasi tindakan: "Tanah terlalu basah, tunggu hingga kelembapan optimal." Peringatan ini muncul karena kelembapan tanah saat ini 86% berada di atas kisaran ideal, yang dapat menyebabkan pupuk tidak terserap dengan baik atau bahkan memicu pembusukan akar jika pemupukan dipaksakan.



Gambar 4.7 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 3 Ideal

Berdasarkan tampilan antarmuka sistem pendukung keputusan (SPK) pemupukan cabai rawit caplak, sistem memberikan rekomendasi pemupukan setelah menganalisis data sensor dan input pengguna. Data lingkungan menunjukkan suhu udara sebesar 27.6 °C dalam kisaran optimal 25-30°C dan kelembapan tanah sebesar 67% dalam kisaran ideal 60-80%. Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 14 HST (Hari Setelah Tanam).



Gambar 4.8 Memberikan Pupuk Cabai Di Umur 14 Dikocor

Berdasarkan parameter tersebut, sistem merekomendasikan fase "Pupuk Dasar" dengan menggunakan NPK 15-15-15 sebanyak 5–10g yang diaplikasikan dengan cara "Dikocor/Diberikan sekitar akar". Sistem juga menyimpulkan bahwa "Kondisi ideal, tidak ada tindakan khusus" karena kedua parameter lingkungan suhu dan kelembapan tanah berada dalam rentang yang optimal untuk pemupukan.

Namun, apabila kondisi kelembapan tanah tidak ideal seperti pada gambar 4.6 sebelumnya yang mencapai 86%, sistem akan menganjurkan untuk menunda pemupukan dan melakukan pengecekan ulang hingga kelembapan tanah mencapai kisaran ideal. Pengecekan ulang dilakukan pada sore hari dikarenakan pagi hingga siang cuaca mendung ditambah malam hari hujan deras.



Gambar 4.9 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 4 Kelembapan Tinggi

Berdasarkan tampilan antarmuka sistem pendukung keputusan (SPK) pemupukan cabai rawit caplak pada minggu keempat tanggal 4 September 2025, sistem memberikan rekomendasi pemupukan setelah menganalisis data sensor dan input pengguna.

Data lingkungan menunjukkan suhu udara sebesar 28.7 °C masih dalam kisaran optimal 25-30°C, namun kelembapan tanah mencapai 83% yang melebihi batas ideal 60-80%. Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 21 HST (Hari Setelah Tanam).

Berdasarkan parameter umur tanaman, sistem merekomendasikan fase "Pertumbuhan Awal" dengan menggunakan NPK + ZA sebanyak 10g NPK + 5g ZA yang diaplikasikan dengan cara "Disiram/Diberikan tiap 10–14 hari". Namun, sistem memberikan peringatan penting: "Tanah terlalu basah, tunggu hingga kelembapan optimal."



Gambar 4.10 Kelembapan Tanah Tinggi Minggu Ke 4

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat tingginya kelembapan tanah ini disebabkan oleh hujan deras yang terjadi sejak pagi hari di jam 06.00 – 07.00, sehingga tanah masih dalam kondisi sangat basah. Sistem menganjurkan untuk menunda pemupukan dan melakukan pengecekan ulang terlebih dahulu.



Gambar 4.11 Hasil Monitoring Di Web Minggu Ke 4 Kelembapan Rendah

Berdasarkan tampilan antarmuka Sistem Pendukung Keputusan (SPK) pemupukan cabai rawit caplak, sistem memberikan rekomendasi pemupukan setelah menganalisis data sensor dan input pengguna terkini. Data lingkungan menunjukkan suhu udara sebesar 29.8 °C (masih dalam kisaran optimal 25-30°C), namun kelembapan tanah hanya 33% yang berada di bawah batas ideal (60-80%). Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 21 HST (Hari Setelah Tanam).

Berdasarkan parameter umur tanaman, sistem merekomendasikan fase "Pertumbuhan Awal" dengan menggunakan NPK + ZA sebanyak 10g NPK + 5g ZA yang diaplikasikan dengan cara "Disiram/Diberikan tiap 10-14 hari". Namun, sistem memberikan peringatan penting: "Kelembapan tanah rendah, segera lakukan penyiraman disore hari."



Gambar 4.12 Kelembapan Tanah Rendah Minggu Ke 4

Pada gambar 4.12 rendahnya kelembapan tanah ini terdeteksi setelah dilakukan pengecekan ulang pada siang hari, di mana kondisi tanah mengalami pengeringan yang signifikan. Sistem menganjurkan untuk segera melakukan penyiraman pada sore hari guna mengoptimalkan kondisi media tanam sebelum pemupukan dilakukan, sehingga pupuk dapat diserap dengan efisien dan tidak menyebabkan stres pada tanaman.



Gambar 4.13 Hasil Website Minggu ke 4 Ideal

Berdasarkan tampilan antarmuka Sistem Pendukung Keputusan (SPK) Pemupukan Cabai Rawit Caplak, sistem telah menganalisis data sensor dan input pengguna. Data lingkungan menunjukkan suhu udara sebesar 27.1°C dalam kisaran optimal $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan tanah sebesar 73% dalam kisaran ideal 60-80%. Pengguna telah memasukkan umur tanaman sebesar 21 HST (Hari Setelah Tanam).



Gambar 4.14 Memberikan Pupuk Cabai Di Umur 21 Dikocor

Berdasarkan parameter tersebut, sistem merekomendasikan fase "Pertumbuhan Awal" dengan menggunakan NPK + ZA sebanyak 10 g NPK + 5 g ZA yang diaplikasikan dengan cara "Disiram/Diberikan tiap 10–14 hari". Sistem juga menyimpulkan "Kondisi ideal, tidak ada tindakan khusus" karena kedua parameter lingkungan suhu dan kelembapan tanah berada dalam rentang optimal untuk pemupukan tidak seperti pada gambar 4.10 dan 4.12.

4.9 Implementasi Pengujian

Untuk memastikan sistem IoT pendeteksi suhu udara dan kelembapan tanah berfungsi sesuai dengan rancangan, dilakukan serangkaian pengujian implementasi. Pengujian ini bertujuan untuk meminimalkan kemungkinan kesalahan atau penyimpangan serta mengevaluasi kesesuaian antara desain awal dan hasil yang dicapai.

Pengujian dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu pengujian perangkat keras, perangkat lunak, dan integrasi sistem. Setiap tahap difokuskan untuk memverifikasi kinerja masing-masing komponen dan fungsi sistem secara keseluruhan.

1. Pengujian Perangkat Keras

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan semua komponen perangkat keras, termasuk sensor DHT11 suhu udara, sensor kelembapan tanah FC-28, mikrokontroler ESP32, dan modul RTC, beroperasi sesuai dengan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor berhasil membaca data dengan tingkat keberhasilan 100%, serta mikrokontroler ESP32 dapat memproses dan mengirim data dengan baik.

2. Pengujian Perangkat Lunak

Pada tahap ini, diuji kemampuan sistem dalam melakukan koneksi WiFi dan integrasi dengan Firebase Realtime Database. Sistem berhasil mengirimkan data ke server dalam waktu 1–2 detik, menunjukkan responsivitas yang baik dan kestabilan koneksi.

3. Pengujian Integrasi Sistem

Pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terpadu. Sistem mampu merekam dan mengolah data dengan akurat, serta memberikan rekomendasi pemupukan berdasarkan aturan *rule-based* yang telah ditetapkan. Setiap skenario penggunaan diuji secara komprehensif untuk memvalidasi keandalan sistem.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem dinyatakan berfungsi dengan baik dan telah memenuhi semua tujuan yang ditetapkan dalam penelitian. Oleh karena itu, sistem pemantau suhu udara dan kelembapan tanah berbasis IoT ini diharapkan mampu diimplementasikan secara nyata di lapangan dengan tingkat efektivitas dan efisiensi yang tinggi, serta memberikan kontribusi positif berupa kemudahan bagi petani dalam menentukan waktu, jenis, dan dosis pemupukan yang tepat untuk tanaman cabai rawit caplak.

4.10 Hasil Perbedaan Pupuk

Berdasarkan hasil penerapan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) dengan metode rule-based, pemupukan tanaman cabai rawit caplak umumnya disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman, kondisi suhu, serta kelembapan tanah. Pada penelitian ini, salah satu pupuk yang diuji adalah NPK 15-15-15, yaitu pupuk majemuk dengan kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam komposisi seimbang.



Gambar 4.15 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 15-15-15

Pada Gambar 4.15 dapat diamati bahwa tanaman cabai rawit caplak yang dipupuk dengan kandungan NPK 15-15-15 menunjukkan pertumbuhan vegetatif yang baik. Daun terlihat melebar dengan warna hijau segar, menandakan proses fotosintesis berjalan optimal akibat ketersediaan nitrogen dalam jumlah seimbang. Kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa unsur fosfor turut berperan dalam memperkuat sistem perakaran sehingga penyerapan nutrisi berlangsung lebih efektif. Sementara itu, batang tanaman tampak mulai menguat sebagai respon terhadap kecukupan kalium yang terkandung dalam pupuk. Secara keseluruhan, pemupukan seimbang dengan NPK 15-15-15 mampu menjaga proporsi pertumbuhan daun, batang, dan akar secara harmonis pada fase vegetatif awal.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 4.16, terlihat adanya perbedaan dengan Gambar 4.15 yang dimana respon pertumbuhan tanaman cabai rawit caplak terhadap perlakuan pupuk yang berbeda. Tanaman yang dipupuk dengan NPK 15-15-15 menunjukkan daun lebih lebar dan hijau segar, dengan batang yang mulai menguat. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa pupuk dengan kandungan unsur hara seimbang lebih optimal dalam mendukung pertumbuhan vegetatif awal, khususnya pada pembentukan daun dan sistem perakaran. berikut adalah gambar tanaman cabai yang menggunakan pupuk NPK 15-10-12.



Gambar 4.16 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 15-10-12

Pada perlakuan dengan pupuk NPK 15-10-12, tanaman cabai rawit caplak menunjukkan daun berwarna hijau segar meskipun ukuran daunnya relatif lebih kecil dibandingkan perlakuan sebelumnya. Kondisi ini menandakan bahwa pertumbuhan vegetatif tetap berlangsung baik, tetapi tidak terlalu dominan pada pembesaran daun. Di sisi lain, batang tanaman tampak lebih kokoh dan tegak

meskipun terlihat lebih pendek dari gambar 4.15. tetap mampu menopang pertumbuhan selanjutnya. Hal ini disebabkan oleh kandungan kalium (K) yang lebih tinggi daripada fosfor (P) di dalam pupuk tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 4.17, terlihat dengan jelas adanya perbedaan yang lebih menonjol dibandingkan dengan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respon pertumbuhan tanaman cabai rawit caplak terhadap perlakuan pupuk yang digunakan memberikan hasil yang bervariasi.



Gambar 4.17 TANAMAN CABAI PUPUK NPK 10-10-15

Pada Gambar 4.17, tanaman memperlihatkan karakteristik pertumbuhan yang lebih spesifik, baik dari segi daun lebih sedikit, kekuatan batang, maupun kesiapan tanaman untuk memasuki fase pertumbuhan selanjutnya. Hal ini menegaskan bahwa formulasi pupuk dengan kandungan unsur hara berbeda dapat menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan tanaman cabai rawit caplak. Dengan demikian, perbandingan antar gambar tersebut memperlihatkan perbedaan nyata dalam efektivitas pupuk yang digunakan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai Penerapan SPK Penentuan Kecocokan Pupuk dengan Tanaman Cabai Rawit Caplak Menggunakan Metode Rule Based Berbasis IoT, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. Akurasi dan Keandalan Sistem Sensor: Sistem yang dibangun berhasil membaca dan merekam data dari sensor DHT11 (suhu udara) dan sensor FC-28 (kelembapan tanah) dengan tingkat akurasi yang tinggi. Kedua sensor tersebut menunjukkan kinerja yang konsisten dan andal dengan tingkat keberhasilan pembacaan data mencapai 100%, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam penelitian.
2. Kinerja Real-Time dan Responsivitas: Sistem IoT yang dikembangkan mampu mengirimkan data dari mikrokontroler ESP32 ke Firebase Realtime Database dalam waktu 1–2 detik. Aplikasi web berhasil menampilkan data tersebut secara real-time kepada pengguna, menunjukkan responsivitas dan efisiensi sistem yang tinggi dalam menyajikan informasi terkini.
3. Keberfungsian Perangkat Keras dan Integrasi Sistem: Seluruh komponen perangkat keras, termasuk mikrokontroler ESP32, sensor DHT11, sensor kelembapan tanah FC-28, dan modul RTC, berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi dan rancangan awal. Integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan platform cloud (Firebase) berjalan lancar, mendukung keseluruhan proses pengambilan data, pemrosesan, dan penyajian rekomendasi pemupukan.

4. Efektivitas Sistem Pendukung Keputusan (SPK): Sistem SPK berbasis *rule-based* berhasil memberikan rekomendasi pemupukan yang sesuai berdasarkan parameter suhu udara, kelembapan tanah, dan umur tanaman. Sistem ini tidak hanya membantu dalam menentukan waktu dan jenis pemupukan, tetapi juga memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi.

5. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan pertumbuhan tanaman pada perlakuan pupuk yang berbeda. Pupuk NPK 15-15-15 memberikan hasil terbaik dengan pertumbuhan daun yang lebar, hijau segar, dan batang yang kuat. Dibandingkan dengan pupuk NPK 15-10-12 dan NPK 10-10-15.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah saran yang dapat diberikan:

1. Pengembangan Sistem Pendukung Keputusan (SPK) Lebih Lanjut: Sistem yang telah dibangun dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan teknik machine learning atau algoritma cerdas lainnya guna meningkatkan akurasi rekomendasi pemupukan. Hal ini memungkinkan sistem tidak hanya bergantung pada aturan statis (*rule-based*), tetapi juga mampu belajar dari data historis dan kondisi lingkungan yang terus berubah.

2. Integrasi dengan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT: Sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan terintegrasi ke dalam sistem irigasi otomatis. Misalnya, ketika sensor kelembapan tanah mendeteksi kondisi kritis tanah terlalu kering, sistem dapat secara otomatis mengaktifkan penyiraman. Integrasi semacam ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung praktik pertanian presisi yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwari, A., Widyawati, D. K., & Wahyudi, A. (2021). Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 5(3), 496–503.
- Aziz, H., & Suharjo, I. (2024). Pengembangan Sistem Keamanan Gerbang Rumah Smart Home Berbasis IoT dengan Metode RnD. *JEKIN-Jurnal Teknik Informatika*, 4(3), 663–674.
- Ferdynan Harahap. (2013). 446 *EDAJ 2 (4) (2013) Economics Development Analysis Journal EFISIENSI PENGGUNAAN FAKTOR PRODUKSI USAHATANI CABAI DI KECAMATAN SUMOWONO KABUPATEN SEMARANG*. Dipublikasikan. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj>
- Hakiki, M. I., Darusalam, U., & Nathasia, N. D. (2020). Konfigurasi Arduino IDE Untuk Monitoring Pendeteksi Suhu dan Kelembapan Pada Ruang Data Center Menggunakan Sensor DHT11. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 7, 8.
- Indriani, M., Abduh, H., & Suppa, R. (2025). SISTEM PENGONTROLAN PENYIRAM TANAMAN BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1).
- Iswahyudi, M. S., Imam Radianto Anwar Setia Putra, M. M., Sihombing, T. M., Novita, F., Sos, S., Fuji Pratiwi, S. E., Edy Susanto, S. E., Ak, M., Putri, N. I., & Utsalina, D. S. (2025). *Sistem Pendukung Keputusan*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Kusumawati, D., & Wiryanto, B. A. (2020). Perancangan Bel Sekolah Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Avr Atmega 328 Dan Real Time Clock Ds3231. *Jurnal Elektronik Sistem Informasi Dan Komputer*, 4(1), 13–22.
- Lestari, P., & Antony, F. (2023). Sistem Penyiraman Budidaya Tanaman Cabai Berdasarkan Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Tanah. *Journal of Intelligent Networks and IoT Global*, 1(1), 20–32.
- Nalendra, A. K., Mujiono, M., Server, A., Komputer, J., Komunitas, A., Putra, N., & Fajar Blitar, S. (2020). Perancangan IoT (Internet of Things) pada Sistem Irigasi Tanaman Cabai. *Juli 2020 Generation Journal*, 4(2).
- Pertiwi, A., Kristianti, V. E., Jatnita, I., & Daryanto, A. (2021). SISTEM OTOMATISASI DRIP IRIGASI DAN MONITORING PERTUMBUHAN TANAMAN CABAI BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Sebatik*, 25(2), 739–747. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i2.1623>
- Rafly Juliyan, M., Pangaribuan, P., & Darlis, D. (2023). Sistem Pemantauan Tinggi Tanaman Cabai Berbasis Jaringan Menggunakan Modul ESP32-CAM Pada Sistem Akuaponik. *Jurnal Nasional SAINS Dan TEKNIK*, 1, 54–58. <https://doi.org/10.25124/logic.v1i1.6724>
- Ramadhani, F., Al-Khowarizmi, A., & Sari, I. P. (2021). Implementasi Metode Topsis Dalam Menangani Masalah Pengalokasian Dosen Pembimbing Skripsi Dilingkungan Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. *InfoTekJar: Jurnal Nasional Informatika Dan Teknologi Jaringan*, 6(1), 104–110.
- Sari, I. P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A.-K., Ramadhani, F., & Satria, A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan

- Arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(4), 337–343.
<https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i4.505>
- Sitorus, J. H. P., & Saragih, R. S. (2020). Perancangan Pengontrol Lampu Rumah Miniatur Dengan Menggunakan Micro Controler Arduino Berbasis Android. *Jurnal Bisantara Informatika*, 4(1), 11.
- Supratman, A., Nugroho, B. I., Syefudin, S., & Kurniawan, R. D. (2024). Penerapan Metode Rule Based System Untuk Menentukan Jenis Tanaman Pertanian Berdasarkan Ketinggian Dan Curah Hujan. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(2), 7879–7890.
- Susanto, F., Prasiani, N. K., & Darmawan, P. (2022). Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Jurnal Imagine*, 2(1), 35–40.
- Tantowi, D., & Kurnia, Y. (2020). Simulasi Sistem Keamanan Kendaraan Roda Dua Dengan Smartphone dan GPS Menggunakan Arduino. *Algor*, 1(2), 9–15.
- Ummah. (2011). Analisis Pengaruh Luas Panen, Harga Jual dan Produktivitas. In *AGRILAND Jurnal Ilmu Pertanian* (Vol. 10, Issue 3).
<https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/agriland>
- Widodo, A. (2025). *Prototipe Agretech berbasis Internet of Things (IoT) untuk Peningkatan Efisiensi dan Produktifitas Pertanian Modern*.

LAMPIRAN

```

iotskripandre.ino
1  #include <WiFi.h>
2  #include <DHT.h>
3  #include <Firebase_ESP_Client.h>
4  #include <Wire.h>
5  #include "RTClib.h"
6
7  // ===== KONFIGURASI WIFI =====
8  #define WIFI_SSID "SUMBANGAN YG MEMBUTUHKAN"
9  #define WIFI_PASSWORD "apaansih?"
10
11 // ===== KONFIGURASI FIREBASE =====
12 #define API_KEY "AIzaSyC1JA-tMd_6s6cmzhRCe2kXi0EkKQ7SbTU"
13 #define DATABASE_URL "https://iot-fc28-rtc-dht11-andre-default-rtdb.asia-southeast1.firebaseio.com/"
14
15 // Gunakan Authentication (Email/Password) dari Firebase Authentication
16 #define USER_EMAIL "contoh123@gmail.com"
17 #define USER_PASSWORD "contoh123@gmail.com"
18
19 // Firebase instance
20 FirebaseData fbdo;
21 FirebaseAuth auth;
22 FirebaseConfig config;
23
24 // ===== KONFIGURASI SENSOR =====
25 #define DHTPIN 16
26 #define DHTTYPE DHT11
27 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
28
29 #define SOIL_PIN 34 // pin analog FC-28 (AO ke pin 34 ESP32)
30
iotskripandre.ino
31 // RTC DS3231
32 RTC_DS3231 rtc;
33
34 // ===== VARIABEL UMUM =====
35 unsigned long sendDataPrevMillis = 0;
36 const long interval = 5000; // kirim data tiap 5 detik
37
38 // ===== SETUP =====
39 void setup() {
40   Serial.begin(115200);
41   dht.begin();
42
43   // Koneksi WiFi
44   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
45   Serial.print("Menghubungkan WiFi");
46   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
47     Serial.print(".");
48     delay(500);
49   }
50   Serial.println("\nWiFi Tersambung, IP: " + WiFi.localIP().toString());
51
52   // Konfigurasi Firebase
53   config.api_key = API_KEY;
54   config.database_url = DATABASE_URL;
55   auth.user.email = USER_EMAIL;
56   auth.user.password = USER_PASSWORD;
57
58   Firebase.reconnectWiFi(true);
59   Firebase.begin(&config, &auth);
60   Serial.println("Firebase initialized.");

```

iotskripandre.ino

```

62 // Inisialisasi RTC
63 Wire.begin(32, 26); // SDA, SCL
64 if (!rtc.begin()) {
65     Serial.println("RTC tidak ditemukan!");
66     while (1);
67 }
68 if (rtc.lostPower()) {
69     Serial.println("RTC kehilangan daya, set waktu default.");
70     rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); // Set waktu sesuai waktu compile
71 }
72 }
73
74 // ===== LOOP =====
75 void loop() {
76     if (Firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > interval || sendDataPrevMillis == 0)) {
77         sendDataPrevMillis = millis();
78
79         // ===== Baca DHT11 (Suhu & Kelembapan Udara) =====
80         float h = dht.readHumidity();
81         float t = dht.readTemperature();
82
83         if (!isnan(h) && !isnan(t)) {
84             String path = "/sensors/dht11";
85             FirebaseJson json;
86             json.set("temperature", t);
87             json.set("humidity", h);
88
89             if (Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo, path.c_str(), &json)) {
90                 Serial.printf("DHT11 terkirim: %.1f °C, %.1f %%\n", t, h);
91             } else {

```

iotskripandre.ino

```

96 // ===== Baca Soil Moisture (FC-28) =====
97 int soilValue = analogRead(SOIL_PIN); // nilai analog 0-4095
98 int soilPercent = map(soilValue, 0, 4095, 100, 0); // ubah ke %
99
100 String pathSoil = "/sensors/fc28";
101 FirebaseJson jsonSoil;
102 jsonSoil.set("raw", soilValue);
103 jsonSoil.set("percent", soilPercent);
104
105 if (Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo, pathSoil.c_str(), &jsonSoil)) {
106     Serial.printf("Soil Moisture terkirim: %d (raw), %d%%\n", soilValue, soilPercent);
107 } else {
108     Serial.println("Gagal kirim Soil Moisture: " + fbdo.errorReason());
109 }
110
111 // ===== Simpan RTC (waktu update) =====
112 DateTime now = rtc.now();
113 String timestamp = String(now.year()) + "-" + String(now.month()) + "-" +
114     String(now.day()) + " " + String(now.hour()) + ":" +
115     String(now.minute()) + ":" + String(now.second());
116
117 String pathRTC = "/sensors/rtc";
118 FirebaseJson jsonRTC;
119 jsonRTC.set("last_update", timestamp);
120
121 if (Firebase.RTDB.setJSON(&fbdo, pathRTC.c_str(), &jsonRTC)) {
122     Serial.println("RTC terkirim: " + timestamp);
123 } else {
124     Serial.println("Gagal kirim RTC: " + fbdo.errorReason());
125 }
126 }

```