

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Landasan Teori

1. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi yang memungkinkan perangkat seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler terhubung ke jaringan internet untuk berkomunikasi, saling bertukar data, dan melakukan tindakan otomatis. Menurut (Ananna & Saifuzzaman, 2024, p.1) menyatakan bahwa IoT telah merevolusi proses pengambilan keputusan di berbagai bidang dengan menggabungkan perangkat pintar dan teknologi otomasi, hingga mencakup sektor seperti pertanian, kesehatan, dan manufaktur. Oleh karena itu, IoT lebih dari sekadar “perangkat online” ia adalah ekosistem cerdas yang menghubungkan objek fisik dengan web untuk cerdas, otomatis, dan adaptif.

Dalam konteks pertanian termasuk sistem irigasi otomatis IoT memungkinkan integrasi sensor kelembapan tanah, mikrokontroler, dan aktuator pompa air untuk bekerja secara sinergis berdasarkan data real-time dan instruksi otomatis. (Morchid et al., 2024,p.1) menggambarkan bahwa jaringan IoT dipertanian memfasilitasi pemantauan kondisi tanah dan cuaca, serta otomatisasi irigasi yang efisien melalui kombinasi sensor dan aktuator dalam satu ekosistem terintegrasi. Hal ini menjadikan IoT sebagai landasan penting bagi sistem irigasi modern yang hemat air dan mudah dikendalikan bahkan dari jarak jauh via smartphone.

2. Sensor Kelembapan Tanah Kapasitif

Sensor kelembapan tanah merupakan komponen penting dalam sistem penyiraman otomatis karena berperan dalam menentukan kondisi tanah secara real time. Menurut (Suryana, 2021,p.4) sensor soil moisture adalah perangkat yang dapat mengukur kadar air atau kelembapan tanah, dan sangat berguna untuk tanaman yang sensitif terhadap kondisi tanah tertentu seperti jamur yang tidak boleh terlalu kering atau terlalu lembap. Oleh karena itu, sensor kelembapan tanah kapasitif menjadi pilihan utama karena keunggulannya dalam memberikan pembacaan yang lebih akurat dan tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, seperti suhu tinggi dan kelembapan tanah yang berlebihan.

Meskipun tergolong low-cost, sensor kapasitif menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi setelah dikalibrasi dalam berbagai jenis tanah. Studi oleh (Abdelmoneim et al., 2025, p.343) melaporkan bahwa sensor seperti SKU-SEN0193 mencapai R^2 antara 0,85–0,87 dan nilai RMSE sekitar 4,5–4,9 %

dalam tanah silt loamy, menunjukkan performa yang konsisten untuk aplikasi IoT pertanian. Berdasarkan fakta tersebut, sensor kapasitif menjadi pilihan utama dalam sistem otomasi irigasi, karena selain akurat juga tahan terhadap variasi suhu dan salinitas lingkungan. Sensor kapasitif yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sensor Capaitive Soil
Sumber: (Suryana, 2021,p.4)

3. Prediksi Hujan

Prediksi hujan merupakan salah satu penerapan ilmu meteorologi yang digunakan untuk memperkirakan kondisi atmosfer di masa mendatang berdasarkan data cuaca terkini dan pemodelan numerik. Menurut (Rozci, 2024, p.1-2) perubahan iklim telah menyebabkan pergeseran pola hujan yang berdampak signifikan terhadap sektor pertanian, sehingga dibutuhkan strategi adaptasi berupa pengembangan teknologi dan penyediaan informasi iklim yang responsif. Dengan memanfaatkan prediksi hujan dalam sistem penyiraman otomatis, terutama bila dikombinasikan dengan sensor kelembapan tanah, proses irigasi dapat dilakukan secara lebih efisien, akurat, dan sesuai kebutuhan tanaman.

4. NodeMCU ESP32

ESP32 merupakan chip mikrokontroler berbiaya rendah yang telah dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT) (Kurniawan, 2019, p.6). Menurut (Pratama & Kiswantono, 2023, p.1273) ESP32 merupakan penerus dari ESP8266, dilengkapi modul Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2, serta memiliki kemampuan pemrograman melalui Arduino IDE, sehingga memudahkan pengembangan sistem IoT. Dengan kemampuan ini, ESP32 cocok berfungsi sebagai pusat kendali dalam sistem penyiraman otomatis berbasis IoT.

Implementasi ESP32 dalam sistem pemantauan kelembapan tanah telah dibuktikan efektif melalui penelitian dari (Sudarmaji et al., 2024, p.1) yang menyampaikan bahwa ESP32 dengan ADC 12-bit dapat mengolah data dari sensor kapasitif dan mengirimkannya via Wi-Fi untuk mengontrol pompa secara otomatis. Sistem tersebut berhasil menghubungkan ESP32, sensor kelembapan, dan pompa air ke platform web berbasis Node-Red, memungkinkan pemantauan dan pengendalian irigasi jarak jauh. Hal ini membuktikan ESP32 tidak hanya andal dalam pengolahan data sensor, tetapi juga mendukung sistem otomasi yang hemat air dan ramah lingkungan. Berikut ini merupakan Gambar 2.2 NodeMCU ESP32.



Gambar 2. 2 NodeMCU ESP32

Sumber: (Pratama & Kiswantono, 2023)

5. Pompa Air DC5v

Pompa air berfungsi sebagai aktuator utama dalam sistem penyiraman otomatis IoT, yang mengalihkan air sesuai instruksi mikrokontroler berdasarkan kondisi kelembapan tanah. Sebagaimana dijelaskan oleh (Kumaran, 2023, p.b286), pompa hanya diaktifkan ketika sensor kelembapan menunjukkan bahwa kadar air di bawah ambang batas, sehingga air dialirkan secara presisi dan hemat. Pendekatan ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan responsif sesuai kondisi aktual lapangan.

Integrasi pompa air dalam sistem otomatis terbukti mengurangi pemborosan air dan beban kerja petani. Menurut meta-analisis oleh (Nsoh et al., 2024), sistem irigasi otomatis berbasis IoT mampu memangkas penggunaan air hingga 40 % dibanding metode konvensional, serta menghemat energi karena pengaktifan pompa yang lebih tepat waktu. Oleh karena itu, penggunaan pompa otomatis tidak hanya efisien sumber daya, tetapi juga berdampak positif dalam mendukung keberlanjutan pertanian dan mengurangi ketergantungan tenaga manusia. Berikut ini merupakan Gambar 2.3 pompa air DC5v



Gambar 2. 3 Pompa DC5v

Sumber: (Kumaran, 2023)

6. Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk merupakan platform yang dirancang untuk mengendalikan perangkat keras dalam proyek Internet of Things (IoT) secara jarak jauh. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk menampilkan data sensor, menyimpan data, dan menjalankan berbagai fungsi kendali melalui antarmuka yang mudah digunakan. Secara umum, Blynk terdiri atas tiga komponen utama, yaitu:

- (1) Blynk App, yaitu aplikasi seluler yang memungkinkan pengguna merancang antarmuka proyek menggunakan widget yang telah disediakan;
- (2) Blynk Server, yaitu komponen yang bertanggung jawab atas komunikasi data antara perangkat keras dan lunak, serta dapat dijalankan secara lokal maupun melalui Blynk Cloud;
- (3) Blynk Libraries, yaitu pustaka pemrograman yang memungkinkan perangkat keras seperti mikrokontroler berkomunikasi dengan server dan menjalankan perintah input/output.

Ketiga komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk mendukung pengoperasian sistem IoT dengan fleksibilitas tinggi, kompatibilitas lintas platform, dan kemampuan monitoring secara real-time (Fitriyah et al., 2021, p.1).

7. Fuzzy Logic

Salah satu metode dalam sistem cerdas yang dapat digunakan untuk melakukan peramalan adalah menggunakan logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 (Saelan, 2009, p.2). Metode ini memungkinkan sistem cerdas untuk menangani data yang tidak pasti dan kompleks melalui pendekatan linguistik. Dengan karakteristik tersebut, logika fuzzy menjadi alternatif penting dalam proses peramalan yang sulit dijangkau oleh metode berbasis nilai eksak.

Secara umum fuzzy logic adalah sebuah metode “berhitung” dengan variabel kata-kata (linguistic variable), sebagai pengganti berhitung dengan bilangan. Memang kata-kata yang digunakan dalam fuzzy tidak setepat bilangan, namun kata yang digunakan lebih dekat dengan intuisi manusia, seperti kata “merasakan”, “kira-kira”, “lebih kurang”, dan sebagainya (Saelan, 2009, p.2).

B. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini mengacu pada beberapa studi sebelumnya yang mendukung pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Setiap penelitian berikut memberikan kontribusi penting baik dari segi teknologi, metode, maupun pendekatan sistem yang digunakan:

- 1) **Penelitian dilakukan oleh (Effendi et al., 2022) dengan judul "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT"**. Berdasarkan penelitian ini, dikembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk. Sistem ini mampu memantau kadar kelembapan tanah secara real-time dan mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika kelembapan berada di bawah ambang batas. Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan IoT dalam penyiraman tanaman dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta memudahkan pemantauan jarak jauh.
- 2) **Penelitian dilakukan oleh (Wardhana et al., 2023) dengan judul "Mesin Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai dengan Modul NodeMCU ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT)"**. Penelitian ini merancang sistem penyiraman otomatis yang ditujukan untuk tanaman cabai dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah dan sensor ultrasonik sebagai indikator cadangan air. Sistem bekerja dengan menyalakan pompa air secara otomatis sesuai kondisi tanah dan ketinggian air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara mandiri dan membantu pengguna menghemat waktu serta air dalam proses penyiraman tanaman.
- 3) **Penelitian dilakukan oleh (Rabbika et al., 2023) dengan judul "Rancang Bangun Sistem Controlling Penyiraman Tanaman Kangkung Berbasis Internet of Things"**. Penelitian ini mengembangkan sistem penyiraman otomatis untuk tanaman kangkung yang dikendalikan melalui aplikasi smartphone. Sistem menggunakan sensor kelembapan tanah untuk mendeteksi kadar air dan mengatur penyiraman sesuai kebutuhan. Dengan dukungan IoT, sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan penyiraman dari jarak jauh, sehingga sangat membantu dalam efisiensi dan kenyamanan pengelolaan tanaman.

- 4) **Penelitian dilakukan oleh (Zulhijayanto & Fadlil, 2022) dengan judul "Desain Sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Tomat Berbasis Internet of Things (IoT)".** Berdasarkan penelitian ini, dirancang sistem penyiraman otomatis untuk tanaman tomat dengan integrasi sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11 yang berfungsi untuk mendeteksi suhu serta kelembapan udara. Sistem ini dirancang agar penyiraman tidak hanya bergantung pada tanah, tetapi juga pada kondisi lingkungan sekitar. Hasilnya, sistem dapat bekerja lebih adaptif terhadap perubahan iklim mikro di sekitar tanaman.
- 5) **Penelitian dilakukan oleh (Yunan et al., 2022) dengan judul "Teknik Penyiraman Tanaman Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Internet of Things".** Penelitian ini memanfaatkan aplikasi Telegram sebagai media komunikasi untuk mengontrol sistem penyiraman otomatis. Sistem bekerja menggunakan sensor kelembapan tanah dan mikrokontroler untuk mengatur kerja pompa air. Selain itu, pengguna dapat menerima notifikasi dan memberikan perintah melalui aplikasi Telegram. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis dapat dibangun dengan cara yang fleksibel dan ramah pengguna.
- 6) **Penelitian dilakukan oleh (Karn et al., 2024) dengan judul "Towards Sustainable Farming: Leveraging AIoT for Precision Water Management and Crop Yield Optimization".** Penelitian ini mengusulkan sistem pertanian presisi berbasis teknologi AIoT untuk mengoptimalkan penggunaan air dan hasil pertanian. Sistem dirancang agar dapat memantau kondisi tanaman secara cerdas dan melakukan penyiraman berdasarkan algoritma kecerdasan buatan. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara kecerdasan buatan dan IoT dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam sektor pertanian.
- 7) **Penelitian dilakukan oleh (Setiawan et al., 2023) dengan judul "Smart Plant Watering and Lighting System to Enhance Plant Growth Using Internet of Things".** Penelitian ini merancang sistem otomatis untuk penyiraman dan pencahayaan tanaman. Dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah dan sensor cahaya, sistem dapat menyesuaikan intensitas air dan cahaya sesuai kebutuhan tanaman. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem berbasis IoT dapat diandalkan dalam mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, khususnya dalam ruang atau lingkungan terbatas.
- 8) **Penelitian dilakukan oleh (Morchid et al., 2024) dengan judul "IoT-based Smart Irrigation Management System to Enhance Agricultural Water Security Using Embedded Systems, Telemetry Data, and Cloud Computing".** Penelitian ini merancang sistem irigasi pintar dengan integrasi cloud computing

dan telemetry. Sistem mampu mengumpulkan data kelembapan tanah dan cuaca secara real-time, lalu mengirimkannya ke platform cloud untuk dianalisis dan dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan penyiraman. Penelitian ini memperkuat pentingnya pemanfaatan teknologi cloud dan IoT dalam pengelolaan air pertanian yang efisien.

- 9) **Penelitian dilakukan oleh (Mateos Matilla et al., 2022) dengan judul "Low-cost Edge Computing Devices and Novel User Interfaces for Monitoring Pivot Irrigation Systems Based on Internet of Things and LoRaWAN Technologies"**. Penelitian ini menawarkan solusi monitoring irigasi berbasis IoT dengan perangkat edge computing berbiaya rendah dan teknologi LoRaWAN. Sistem ini ditujukan untuk memantau irigasi sistem pivot secara efisien di area pertanian luas, dengan akses data yang dapat dilakukan secara jarak jauh melalui antarmuka pengguna yang inovatif.
- 10) **Penelitian dilakukan oleh (Dwiyatno et al., 2022) dengan judul "Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis Internet of Things"**. Penelitian ini mengembangkan sistem penyiraman otomatis pada lahan pertanian kecil menggunakan sensor kelembapan tanah dan perangkat mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi. Sistem ini mampu mendeteksi kadar air tanah dan mengatur penyiraman secara otomatis, serta memberikan data pemantauan kepada pengguna melalui jaringan internet

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Sumber	Kontribusi
1	(Effendi et al., 2022)	Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT	CosciTech: Journal of Computer Science and Information Technology, Vol. 3 No. 2, Universitas Pamulang. DOI: 10.37859/coscitech.v3i2.3923	Memberikan dasar penggunaan NodeMCU dan Blynk untuk otomatisasi penyiraman

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Sumber	Kontribusi
2	(Wardhana et al., 2023)	Mesin Penyiraman Otomatis pada Tanaman Cabai dengan Modul Nodemcu ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT)	Seminar Nasional Sains dan Teknologi Komputer, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.URL: https://ejurnal.itats.ac.id/snestik	Menunjukkan integrasi IoT dengan sensor kelembapan dan cadangan air
3	(Rabbika et al., 2023)	Rancang Bangun Sistem Controlling Penyiraman Tanaman Kangkung Berbasis Internet of Things	Jurnal Ilmu Komputer (JIMIK), Vol. 4 No. 1, STMIK Royal Kisaran. DOI: 10.35870/jimik.v4i1.213	Menjadi referensi penerapan kontrol penyiraman melalui aplikasi smartphone
4	(Zulhijayanto & Fadlil, 2022)	Desain Sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Tomat Berbasis Internet of Things (IoT)	BISTE: Jurnal Teknik Elektro, Vol. 4 No. 2, Universitas Ahmad Dahlan. DOI: 10.12928/biste.v4i2.5884	Menekankan pentingnya monitoring kelembapan dan suhu tanaman
5	(Yunan et al., 2022)	Teknik Penyiraman Tanaman Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Internet of Things	JOSH: Journal of Smart Home, Vol. 3 No. 3. DOI: 10.47065/josh.v3i3.1480	Membandingkan penggunaan platform Telegram sebagai media kontrol
6	(Karn et al., 2024)	Towards Sustainable Farming: Leveraging AIoT for Precision Water Management and Crop Yield Optimization	Procedia Computer Science, Vol. 228, Elsevier. DOI: 10.1016/j.procs.2024.03.266	Menunjukkan potensi AIoT untuk efisiensi air dan hasil pertanian

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Sumber	Kontribusi
7	(Setiawan et al., 2023)	Smart Plant Watering and Lighting System to Enhance Plant Growth Using Internet of Things	Procedia Computer Science, Vol. 222, Elsevier. DOI: 10.1016/j.procs.2023.10.604	Mengilustrasikan integrasi penyiraman otomatis dengan pencahayaan tanaman
8	(Morchid et al., 2024)	IoT-based Smart Irrigation Management System to Enhance Agricultural Water Security Using Embedded Systems, Telemetry Data, and Cloud Computing	Results in Engineering, Vol. 22, Elsevier. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.102829	Memberikan gambaran integrasi irigasi dengan cloud computing
9	(Mateos Matilla et al., 2022)	Low-cost Edge Computing Devices and Novel User Interfaces for Monitoring Pivot Irrigation Systems Based on IoT and LoRaWAN Technologies	Biosystems Engineering, Vol. 210, Elsevier. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2021.07.010	Menawarkan solusi edge computing hemat biaya untuk irigasi
10	(Dwiyatno et al., 2022)	Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis Internet of Things	PROSISKO: Prosiding Sistem Komputer dan Informatika, Vol. 9 No. 1, Universitas Indraprasta PGRI. URL: https://doi.org/10.30656/prosisko.v9i1	Relevan untuk implementasi penyiraman otomatis di lahan kecil

Berdasarkan tinjauan terhadap beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang mengandalkan sensor kelembapan tanah dan kendali jarak jauh menggunakan aplikasi seperti Blynk maupun Telegram. Beberapa di antaranya juga telah mengintegrasikan fitur tambahan seperti sensor ultrasonik, pencahayaan otomatis, hingga penggunaan teknologi LoRaWAN dan cloud computing. Namun, sebagian besar dari sistem tersebut masih bekerja secara lokal atau hanya berdasarkan pembacaan sensor tanpa mempertimbangkan faktor eksternal seperti kondisi cuaca.

Penelitian ini berbeda karena mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dengan fitur prediksi hujan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses penyiraman. Sistem ini dirancang agar lebih efisien dalam penggunaan air dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya hujan berdasarkan data prakiraan cuaca, sehingga penyiraman dapat ditunda atau dibatalkan secara otomatis jika akan turun hujan. Selain itu, penelitian ini juga menekankan pada implementasi sistem secara menyeluruh menggunakan ESP32, aplikasi Blynk, serta pengendalian pompa air berbasis logika fuzzy, yang memungkinkan sistem bekerja secara cerdas dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.

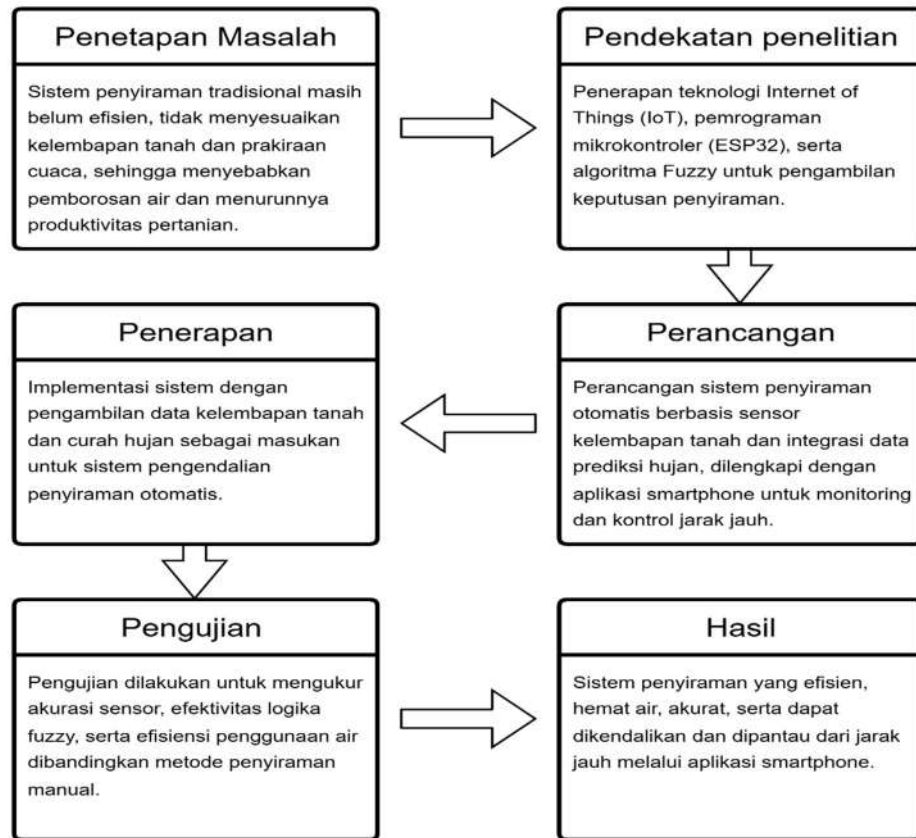
Dengan demikian, kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada penggabungan data kelembapan tanah dengan prediksi cuaca aktual dalam proses penyiraman otomatis, penggunaan logika fuzzy untuk pengambilan keputusan bukan hanya ambang batas tetap dan pendekatan berbasis IoT yang lebih kontekstual dan efisien dalam pengelolaan sumber daya air pertanian.

C. Kerangka Berfikir

Dalam penelitian ini, teknologi Internet of Things (IoT) diintegrasikan untuk menciptakan sistem penyiraman otomatis yang lebih efisien. Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah untuk mengukur kadar air secara real-time dan prediksi hujan untuk menentukan kemungkinan hujan, sehingga dapat mengatur waktu dan jumlah penyiraman secara optimal. Data yang diperoleh dari sensor kelembapan tanah akan dikirimkan ke mikrokontroler NodeMCU ESP32, yang bertindak sebagai pusat kendali. NodeMCU ESP32 memproses data tersebut dan memberikan perintah kepada pompa air untuk menyiram atau menghentikan penyiraman sesuai kebutuhan.

Selain itu, sistem ini terhubung dengan aplikasi smartphone melalui jaringan internet, memungkinkan petani untuk memantau dan mengontrol penyiraman dari jarak jauh. Dengan menggabungkan sensor kelembapan tanah, prediksi hujan, dan teknologi IoT, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian, mengurangi intervensi manual, serta mempermudah pengelolaan

lahan pertanian. Berikut ini merupakan gambar dari kerangka berfikir yang ditunjukkan pada gambar Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Kerangka Pemikiran Penelitian

D. Hipotesis

Algoritma yang diusung dalam sistem ini bekerja dengan prinsip pengambilan keputusan otomatis berdasarkan data sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan untuk mengatur penyiraman secara efisien. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem penyiraman berbasis Internet of Things (IoT) memiliki potensi keberhasilan yang tinggi dalam menghemat penggunaan air dan meningkatkan produktivitas tanaman pada skala kecil. Integrasi antara sensor, prediksi hujan, dan kendali berbasis NodeMCU ESP32 secara langsung berkaitan dengan permasalahan inefisiensi penyiraman manual yang masih umum di kalangan petani. Oleh karena itu, sistem penyiraman otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini diduga akurat dan efektif dalam mengoptimalkan penggunaan air serta mempermudah manajemen penyiraman tanaman secara real-time.