

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep keterhubungan perangkat fisik seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator melalui jaringan komunikasi untuk mengumpulkan dan memproses data secara otomatis, yang dalam konteks pertanian cerdas berperan penting dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data guna meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi. (Mohiuddin et al., 2024) menjelaskan bahwa IoT memungkinkan integrasi perangkat fisik dan platform digital dalam sistem pertanian berbasis data, sementara (Morchid et al., 2024) menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem irigasi otomatis mampu mengurangi pemborosan air dengan menyesuaikan penyiraman berdasarkan kondisi tanah secara real-time. Arsitektur IoT umumnya terdiri dari *perception layer*, *network layer*, dan *application layer* yang mendukung proses akuisisi data, komunikasi, serta monitoring dan kontrol jarak jauh, sebagaimana dijelaskan oleh (Aisyah et al., 2025), dan diperkuat oleh kajian arsitektur IoT pertanian oleh (Farooq et al., 2023). Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review* (SLR), sebagian besar sistem penyiraman tanaman berbasis IoT menggunakan sensor kelembaban tanah sebagai parameter utama pengambilan keputusan penyiraman karena mampu merepresentasikan kebutuhan air tanaman secara langsung (Gupta et al., 2025), serta dilengkapi dengan platform berbasis web atau cloud untuk monitoring dan kontrol jarak jauh yang memungkinkan pengguna memantau kondisi lahan secara real-time tanpa berada di lokasi, sebagaimana dijelaskan oleh (Cullen et al., 2022). Dengan demikian, IoT menjadi fondasi utama dalam perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis yang dibahas dalam penelitian ini sejalan dengan temuan penelitian terkini yang menyatakan bahwa integrasi IoT pada sistem irigasi tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga membantu petani dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat melalui pemantauan kondisi lahan secara berkelanjutan (Elshaikh et al., 2024) dan (Morchid et al., 2026a).

2.2 Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Sistem penyiraman tanaman otomatis mengatur penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan, terutama kelembaban tanah, tanpa intervensi manual berkelanjutan, dengan komponen utama berupa sensor, mikrokontroler, dan aktuator (pompa/valve). Pola ini umum digunakan dalam penelitian irigasi otomatis, seperti ditunjukkan oleh (Khan et al., 2023) yang menerapkan sensor kelembaban tanah dan mikrokontroler ESP8266 untuk mengendalikan pompa berdasarkan nilai ambang (*threshold*), serta diperkuat oleh (Gupta et al., 2025) yang menegaskan soil moisture sebagai parameter utama keputusan penyiraman. Dengan penerapan IoT, sistem tersebut diperluas dengan fitur monitoring jarak jauh, kontrol manual, notifikasi, dan penjadwalan melalui aplikasi, sebagaimana ditunjukkan oleh (Sabouri & Sajadi, 2022) yang mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, mikrokontroler, dan platform IoT berbasis cloud untuk pemantauan serta pengendalian sistem secara real-time. Integrasi ini memungkinkan pengguna memantau kondisi lahan dan status penyiraman tanpa harus berada di lokasi, sekaligus memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan sistem irigasi.

Berbagai studi terkini juga menunjukkan bahwa penggunaan sensor kelembaban tanah yang terhubung dengan mikrokontroler dan platform IoT mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan metode penyiraman konvensional berbasis jadwal waktu tetap (N. Sharma et al., 2024), (Sangeetha et al., 2025). Data sensor yang dikirimkan ke platform IoT dapat divisualisasikan dalam bentuk dashboard, sehingga memudahkan pemantauan kondisi tanah, aktuator, dan histori penyiraman (A. Sharma et al., 2022) dan (Morchid et al., 2026a). Selain itu, beberapa penelitian menekankan bahwa mekanisme kontrol sederhana berbasis ambang batas atau aturan (*rule-based control*) lebih stabil dan mudah diimplementasikan pada sistem skala kecil hingga menengah, terutama pada lingkungan dengan keterbatasan koneksi jaringan. Secara umum, studi-studi sistem penyiraman tanaman berbasis IoT menunjukkan pola arsitektur yang relatif seragam dan efektif, terdiri dari sensor sebagai input, mikrokontroler sebagai pusat kendali, aktuator sebagai output, serta platform IoT sebagai media

monitoring dan kontrol. Keberhasilan sistem sangat dipengaruhi oleh pemilihan parameter kelembaban tanah, kemudahan penggunaan platform monitoring, serta penerapan mekanisme kontrol yang sederhana namun stabil. Oleh karena itu, pola perancangan ini banyak dijadikan acuan dalam pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT pada berbagai penelitian terdahulu.

2.3 Sensor Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mengukur kandungan air pada media tanam sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman karena nilai kelembaban tanah merupakan parameter utama dalam menentukan kondisi kering atau lembab sehingga penyiraman dapat diaktifkan maupun dihentikan secara tepat. Hasil SLR pada BAB IV menunjukkan bahwa soil moisture sensor merupakan sensor yang paling dominan digunakan dalam sistem penyiraman tanaman otomatis. Secara umum, sensor kelembaban tanah berbiaya rendah, khususnya tipe kapasitif, memerlukan proses kalibrasi karena respons sensor dapat dipengaruhi oleh jenis tanah dan kondisi lingkungan. (Sabouri & Sajadi, 2022) menegaskan bahwa sensor soil moisture low-cost memiliki variasi respons yang signifikan apabila digunakan tanpa kalibrasi yang sesuai. Penelitian terbaru oleh (Abdelmoneim, Al Kalaany, et al., 2025) membuktikan bahwa proses kalibrasi sensor kapasitif secara signifikan meningkatkan akurasi pembacaan sehingga sensor tersebut layak digunakan dalam sistem irigasi berbasis IoT. Selain itu, (Chrzaszcz, 2021) menekankan pentingnya pengujian dan evaluasi performa sensor sebelum diintegrasikan ke dalam sistem kontrol penyiraman agar mekanisme kontrol berbasis ambang batas dapat bekerja secara stabil. Oleh karena itu, temuan SLR terkait tantangan akurasi sensor yang dipengaruhi lingkungan sangat berkaitan dengan karakteristik sensor kelembaban tanah, sehingga pada tahap perancangan sistem perlu dipertimbangkan aspek kalibrasi, kompensasi lingkungan, serta pembacaan sensor secara periodik dan konsisten.

Beberapa penelitian terkini juga menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik fisik tanah, seperti tekstur, kepadatan, dan kandungan mineral, dapat memengaruhi nilai keluaran sensor kelembaban tanah, terutama pada sensor

kapasitif berbiaya rendah. Oleh karena itu, proses kalibrasi yang disesuaikan dengan kondisi media tanam menjadi langkah penting untuk memastikan keandalan data sensor dalam sistem penyiraman otomatis (Abdelmoneim, Al Kalaany, et al., 2025), (Sangeetha et al., 2025). Tanpa kalibrasi yang memadai, pembacaan sensor berpotensi menghasilkan keputusan penyiraman yang tidak akurat, seperti terjadinya overwatering atau underwatering. Selain kalibrasi awal, beberapa studi menekankan pentingnya pembacaan sensor secara periodik dan penerapan metode filtering atau perataan data untuk mengurangi fluktuasi nilai akibat gangguan lingkungan dan noise sensor (Morchid et al., 2026a). Pendekatan ini dinilai efektif untuk meningkatkan stabilitas sistem kontrol berbasis ambang batas pada sistem penyiraman tanaman otomatis skala kecil hingga menengah. Dengan demikian, integrasi sensor kelembaban tanah dalam sistem irigasi berbasis IoT perlu didukung oleh strategi kalibrasi, evaluasi performa, dan pengolahan data sensor yang tepat agar sistem dapat bekerja secara andal dan konsisten dalam berbagai kondisi lingkungan.

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler berperan sebagai pusat kendali sistem yang menerima data sensor, menjalankan logika keputusan seperti *threshold/rule-based*, mengendalikan aktuator, serta mengelola komunikasi data pada sistem Internet of Things (IoT). Peran ini ditunjukkan oleh (Chrzyszcz, 2021) yang menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dalam sistem irigasi pintar berbasis IoT untuk integrasi sensor, aktuator, dan monitoring jarak jauh. Hasil SLR pada BAB IV menunjukkan bahwa Arduino dan keluarga ESP (ESP8266/ESP32) merupakan mikrokontroler yang paling dominan digunakan, sejalan dengan kajian (Guo & Yan, 2021) yang menyebutkan bahwa platform tersebut dipilih karena biaya relatif rendah, kemudahan pemrograman, serta dukungan komunitas yang luas. Secara khusus, (Tran et al., 2020) menjelaskan bahwa ESP32 memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, kemampuan pemrosesan hingga 240 MHz, serta dukungan periferifal dan mode hemat daya yang sesuai untuk

aplikasi IoT, sehingga menjadikannya pilihan yang tepat untuk sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis monitoring dan kontrol jarak jauh.

Beberapa penelitian terkini juga menunjukkan bahwa mikrokontroler pada sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT berfungsi sebagai pengendali lokal yang memastikan sistem tetap berjalan meskipun terjadi gangguan koneksi jaringan, sementara platform IoT berperan sebagai media monitoring dan kontrol tambahan (A. Sharma et al., 2022) dan (Et-taibi et al., 2024). Selain itu, keluarga ESP banyak digunakan karena telah mengintegrasikan modul komunikasi nirkabel dalam satu papan, sehingga menyederhanakan desain perangkat keras dan menekan biaya sistem (Ahuchaogu et al., 2024) dan (Pereira et al., 2023). Kemampuan ESP32 dalam mendukung multitasking serta mode hemat daya juga mendukung pengoperasian sistem penyiraman tanaman otomatis dalam jangka waktu panjang dengan konsumsi energi yang efisien (Hercog et al., 2023). Dengan demikian, pemilihan mikrokontroler Arduino atau ESP pada sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT memiliki dasar ilmiah yang kuat dan selaras dengan hasil SLR pada BAB IV, baik dari aspek teknis, keandalan sistem, maupun kemudahan implementasi, serta didukung oleh penelitian yang menegaskan bahwa pemrosesan lokal berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan keandalan sistem IoT pertanian pada kondisi jaringan yang tidak stabil (Akhtar et al., 2021).

2.5 Platform IoT

Platform IoT berfungsi sebagai lapisan aplikasi (*application layer*) yang menyediakan dashboard monitoring, kontrol manual, dan notifikasi bagi pengguna. Berdasarkan hasil SLR pada BAB IV, platform Blynk menjadi salah satu platform yang paling banyak digunakan dalam sistem penyiraman tanaman berbasis IoT karena kemudahan pembuatan dashboard dan integrasi cepat dengan mikrokontroler ESP dan Arduino. (Janyavula Mohan Phani Kumar, 2021) menunjukkan bahwa penggunaan Blynk memungkinkan pemantauan kondisi sensor dan pengendalian pompa air secara jarak jauh melalui aplikasi mobile. Hal

serupa juga ditunjukkan oleh (Kumar, 2022) yang memanfaatkan Blynk sebagai antarmuka monitoring dan kontrol real-time pada sistem irigasi otomatis. Selain itu, (Bhimrao Takale & Joshi, 2023) dan (Saxena, 2023) menegaskan bahwa platform IoT berbasis aplikasi dan cloud mempermudah visualisasi data, kontrol sistem, serta pengelolaan perangkat secara terpusat.

Berbagai penelitian terkini juga menunjukkan bahwa platform IoT seperti Blynk berperan penting dalam menjembatani interaksi antara pengguna dan sistem penyiraman tanaman otomatis melalui dashboard yang bersifat *user-friendly*, sehingga pengguna dapat memantau data sensor secara real-time, menerima notifikasi, dan melakukan kontrol manual tanpa konfigurasi yang kompleks (Ali et al., 2025). Selain mendukung monitoring dan kontrol, integrasi platform IoT berbasis cloud memungkinkan penyimpanan data historis dan visualisasi informasi dalam jangka panjang untuk evaluasi kinerja sistem dan analisis pola penyiraman (Sreelatha Reddy et al., 2024) dan (Bakhit et al., 2024). Beberapa studi juga menekankan bahwa platform IoT sebaiknya berperan sebagai pendukung monitoring dan kontrol, sementara keputusan utama penyiraman tetap dijalankan secara lokal pada mikrokontroler guna menjaga keandalan sistem ketika terjadi gangguan koneksi jaringan (Et-taibi et al., 2024). Dengan demikian, dominasi penggunaan Blynk dalam hasil SLR memberikan dasar ilmiah yang kuat bahwa pemilihan platform IoT tersebut relevan untuk memenuhi kebutuhan monitoring jarak jauh, kontrol manual, notifikasi, serta pengelolaan data pada rancangan sistem penyiraman tanaman otomatis.

2.6 Metode Kontrol Penyiraman Tanaman

Metode kontrol merupakan mekanisme yang digunakan sistem untuk menentukan kapan pompa atau valve harus diaktifkan atau dimatikan. Metode yang paling umum digunakan adalah kontrol berbasis ambang batas (*threshold/rule-based*), yaitu ketika nilai kelembaban tanah berada di bawah batas tertentu maka pompa diaktifkan, dan akan dimatikan ketika nilai tersebut telah melewati ambang yang ditentukan. Metode ini banyak dipilih karena sederhana, mudah diimplementasikan pada mikrokontroler, dan cukup efektif untuk sistem

penyiraman skala kecil hingga menengah, sebagaimana ditunjukkan oleh (Saxena, 2023) dan (Kumar, 2022). Selain metode threshold, beberapa penelitian juga mengembangkan kontrol berbasis logika fuzzy untuk menghasilkan keputusan penyiraman yang lebih adaptif. (Mahale et al., 2020) menunjukkan bahwa penerapan fuzzy logic Mamdani dengan mempertimbangkan lebih dari satu parameter, seperti kelembaban tanah dan suhu, menghasilkan keputusan penyiraman yang lebih halus dibandingkan kontrol ambang batas. Temuan ini diperkuat oleh (Mujavar & Suresh, 2021) yang menyatakan bahwa fuzzy logic mampu mengurangi risiko overwatering dan underwatering pada kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Studi oleh (Mujavar & Suresh, 2021) menegaskan bahwa meskipun metode fuzzy lebih adaptif, kontrol threshold tetap dominan digunakan karena kesederhanaannya dan keandalannya. Selaras dengan hasil SLR pada BAB IV yang mengidentifikasi delay internet dan ketergantungan jaringan sebagai tantangan, kontrol utama sebaiknya dijalankan secara lokal di mikrokontroler, baik menggunakan threshold maupun fuzzy lokal, sementara platform IoT difokuskan untuk monitoring dan kontrol manual jarak jauh.

sejalan dengan temuan penelitian terkini yang menekankan bahwa pemilihan metode kontrol perlu disesuaikan dengan kompleksitas sistem dan keterbatasan sumber daya perangkat keras, di mana kontrol berbasis threshold dinilai lebih stabil dan responsif untuk sistem dengan sumber daya terbatas, sedangkan fuzzy logic lebih sesuai untuk sistem yang membutuhkan fleksibilitas pengambilan keputusan dengan banyak parameter lingkungan (Shongwe, 2014) dan (Morchid et al., 2026b). Beberapa kajian juga menyarankan pendekatan kombinasi, yaitu menjalankan kontrol utama secara lokal pada mikrokontroler untuk menjaga keandalan sistem, sementara platform IoT berperan sebagai media monitoring, pencatatan data, dan kontrol tambahan dari jarak jauh, sehingga sistem tetap dapat beroperasi secara optimal meskipun terjadi gangguan koneksi jaringan (A. Sharma et al., 2022) dan (Arafa et al., 2024).

2.7 Systematic Literature Review (SLR)

Systematic Literature Review (SLR) merupakan metode kajian literatur yang dilakukan secara terstruktur untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian terdahulu berdasarkan pertanyaan penelitian dan prosedur seleksi yang jelas. Dalam SLR, tahap metodologis yang terdokumentasi seperti pencarian istilah, seleksi studi, ekstraksi data, dan sintesis hasil memungkinkan proses yang dapat direplikasi dan transparan, sebagaimana ditegaskan dalam kajian metodologis oleh (Prabowo et al., 2021) dan (Okoli, 2022). Kajian *IoT* untuk manajemen irigasi oleh (Abdelmoneim, Kimaita, et al., 2025) secara komprehensif menguraikan tren, komponen sensor dan aktuator, serta tantangan pada sistem irigasi cerdas berbasis *IoT*, menegaskan pentingnya kerangka metodologis SLR dalam memetakan penelitian secara sistematis. Selain itu, *literature review* oleh (Anggraini et al., 2025) mendemonstrasikan bahwa artikel-artikel antara 2021–2025 yang mengkaji implementasi *IoT* pada irigasi cerdas menekankan komponen monitoring soil moisture, kontrol otomatisasi, dan isu-isu praktis di lapangan seperti koneksi jaringan dan efisiensi energi. Temuan ini sejalan dengan SLR *IoT* pertanian oleh (Farooq et al., 2023) dan (Abdelmoneim, Kimaita, et al., 2025) yang menunjukkan bahwa pemetaan sistematis mampu mengidentifikasi kecenderungan perangkat, metode kontrol, platform *IoT*, serta tantangan implementasi secara kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan sistematis dalam SLR ini kemudian menjadi dasar untuk menghasilkan kebutuhan fungsional maupun non-fungsional pada perancangan sistem yang dievaluasi di BAB IV, sehingga rancangan sistem tidak bersifat asuntif tetapi berbasis bukti ilmiah yang jelas.. serta memperkuat keterkaitan antara hasil sintesis literatur dengan proses pengambilan keputusan pada tahap perancangan sistem, sebagaimana direkomendasikan dalam kajian SLR terkini yang menekankan peran SLR sebagai jembatan antara penelitian terdahulu dan implementasi sistem berbasis *IoT* di lapangan (Wohlin et al., 2022) dan (Hammouch et al., 2024).

Berdasarkan penelitian-penelitian terkait yang telah diuraikan, terlihat adanya variasi penggunaan sensor, metode kontrol, platform *IoT*, serta antarmuka

pengguna. Variasi ini menjadi dasar perlunya dilakukan Systematic Literature Review untuk mengidentifikasi pola, tren, serta kebutuhan sistem yang dominan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis yang akan disajikan pada bab berikut dalam skripsi ini.