

Pengembangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Arduino dan Indeks Kenyamanan Untuk Vertical Garden di RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta

Fadhil Achmad Zaky*

Program Studi S1 Ilmu Lingkungan, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia, 57126

Received: 21/05/2025 Accepted: 08/02/2026

Abstract

The decline of green spaces in urban areas due to land conversion has prompted the need for innovative solutions such as vertical gardens. However, maintenance faces obstacles, including limited access to water and community participation. This research aims to develop an IoT-based automatic watering system for vertical gardens in RT 03 RW 07 Sumber Village, Surakarta, by utilizing the ESP32 Dev Kit V4 microcontroller, DHT22 (temperature/humidity) sensor, and capacitive soil moisture sensor. The system is designed to automatically activate the water pump when soil moisture is <50%, monitored in real-time via 4G LTE module. Research methods include observation, interviews, experiments, and quantitative data analysis (descriptive statistics, comparative, and validity/reliability tests). The trial results showed that the system operated effectively with an average soil moisture of 73-74.6%, but implementation faced challenges such as instability of electricity/internet infrastructure (45% of respondents doubted its reliability) and economic participation fee preference (55% chose Rp25,000). Analysis of respondents' perceptions (N=20) revealed the need for technical education and strengthening of fail-safe features to increase adoption. This study concludes that IoT-based watering systems have potential as a sustainable solution for urban vertical gardens, with recommendations for supporting infrastructure optimization and affordable community participation models.

Keywords: Automatic watering; ESP32; IoT, Soil moisture; Vertical Garden.

Abstrak

Penurunan ruang hijau di perkotaan akibat alih fungsi lahan mendorong perlunya solusi inovatif seperti vertical garden. Namun, perawatannya menghadapi kendala, termasuk keterbatasan akses air dan partisipasi masyarakat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk vertical garden di RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber, Surakarta, dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 Dev Kit V4, sensor DHT22 (suhu/kelembaban udara), dan capacitive soil moisture sensor. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa air secara otomatis saat kelembaban tanah <50%, dipantau real-time via modul 4G LTE. Metode penelitian mencakup observasi, wawancara, eksperimen, dan analisis data kuantitatif (statistik deskriptif, komparatif, serta uji validitas/reliabilitas). Hasil uji coba menunjukkan sistem beroperasi efektif dengan kelembaban tanah rata-rata 73–74,6%, tetapi implementasinya menghadapi tantangan seperti ketidakstabilan infrastruktur listrik/internet (45% responden meragukan keandalannya) dan preferensi biaya partisipasi ekonomis (55% memilih Rp25.000). Analisis persepsi responden (N=20) mengungkapkan kebutuhan edukasi teknis dan penguatan fitur fail-safe untuk meningkatkan adopsi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem penyiraman berbasis IoT potensial sebagai solusi berkelanjutan untuk vertical garden perkotaan, dengan rekomendasi optimasi infrastruktur pendukung dan model partisipasi masyarakat yang terjangkau.

Kata kunci: ESP32; IoT; Kelembaban Tanah; Penyiraman Otomatis; Vertical Garden.

* **Corresponding Author:** fadhilachmadzaky@gmail.com

PENDAHULUAN

Pada era globalisasi dan dengan semakin berkembangnya masyarakat, lahan hijau terbuka terus mengalami penurunan karena dialih fungsikan untuk gedung, apartemen, mal, pabrik, perumahan, dan berbagai bangunan lainnya. Pengurangan lahan hijau ini membawa dampak negatif bagi bumi, termasuk peningkatan pemanasan global (Mardauntung dkk., 2023). Pemanasan global sendiri memiliki konsekuensi serius bagi kehidupan, seperti menyebabkan kekeringan berkepanjangan yang mengancam keberlanjutan makhluk hidup di bumi.

Menanam pohon dan tanaman lain yang mampu menyerap emisi karbon dari udara adalah salah satu cara untuk mengurangi pemanasan global. Pohon dan tanaman memiliki banyak manfaat bagi kehidupan, termasuk kemampuannya menyerap karbon, menghasilkan oksigen, dan mencegah erosi tanah. Tanaman perlu dirawat dengan baik agar dapat tumbuh optimal dan memberikan manfaat bagi makhluk hidup lainnya. Salah satu aspek penting dalam merawat tanaman adalah mengontrol tingkat kelembaban tanah (Effendi dkk., 2022).

Pertumbuhan penduduk yang pesat di kota-kota besar, termasuk di Kota Surakarta telah menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan untuk perumahan dan infrastruktur. Hal ini berdampak pada semakin sempitnya ruang hijau yang berfungsi sebagai paru-paru kota dan tempat resapan air. Keterbatasan lahan ini menuntut adanya solusi inovatif untuk tetap mempertahankan keberadaan ruang hijau, salah satunya melalui penerapan konsep vertical garden (Jayanti dkk., 2020). Vertical garden atau taman vertical, adalah solusi penghijauan yang efektif untuk memaksimalkan penggunaan ruang vertical pada bangunan di area yang terbatas.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Indrajati dan Prihadi tahun 2023 tentang tingkat partisipasi masyarakat dalam Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik di kecamatan jebres menunjukkan hasil rendah. Pernyataan ini juga diperkuat oleh pengelola RTH Publik dan masyarakat sekitar yang menyebutkan bahwa pengelolaan RTH Publik umumnya ditangani langsung oleh instansi terkait, seperti Dinas Lingkungan Hidup atau kelurahan setempat. Upaya menjaga tanaman dalam vertical garden tetap tumbuh dengan baik memerlukan perhatian khusus dalam hal penyiraman dan pemantauan kondisi tanaman, terutama dalam lingkungan perkotaan yang cenderung memiliki kondisi cuaca ekstrem dan polusi udara.

RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta, terdapat minat yang tinggi dari masyarakat untuk mengimplementasikan vertical garden sebagai salah satu upaya untuk mempercantik lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas udara. Namun, keterbatasan waktu dan pengetahuan mengenai perawatan tanaman menjadi kendala utama dalam mengoptimalkan manfaat dari vertical garden ini. Sistem yang diperlukan adalah yang dapat memantau dan mengatur kebutuhan air pada tanaman secara otomatis dan real-time untuk mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang dapat menjawab tantangan ini.

Pemanfaatan sensor IoT yang terhubung ke jaringan, sistem penyiraman otomatis dapat dirancang untuk mendeteksi kebutuhan air tanaman berdasarkan kelembaban tanah dan kondisi cuaca, serta memberikan notifikasi kepada pengguna mengenai kondisi tanaman mereka. Sistem ini tidak hanya memberikan kemudahan dalam perawatan tanaman, tetapi juga membantu dalam menghemat penggunaan air yang merupakan sumber daya yang semakin berharga. Adanya sistem monitoring dan penyiraman berbasis IoT, diharapkan vertical garden di RT 03 RW 07 dapat tumbuh dengan optimal dan berkontribusi terhadap peningkatan kualitas lingkungan di wilayah tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring dan penyiraman tanaman berbasis IoT yang diimplementasikan pada vertical garden di RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta. Penerapan sistem ini diharapkan dapat menjadi model percontohan untuk pengelolaan ruang hijau di area perkotaan yang memiliki keterbatasan lahan serta ingin mengetahui indeks kenyamanan area taman tersebut.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama satu bulan lebih, dimulai tanggal 1 Januari 2025 sampai 17 April 2025. Dilaksanakan di Vertical garden di RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber, Kecamatan Banjarsari, Kota Surakarta, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Vertical Garden secara garis geografis terletak di 7°32'46.4"S, 110°48'08.4"E. vertical garden ini berada di bagian Tengah wilayah kelurahan sumber yang dikelilingi Sebagian besar pemukiman Masyarakat. Kegiatan penelitian secara langsung dilakukan di Area Vertical garden.

Alat dan Bahan

Dalam perancangan sistem penyiraman otomatis, digunakan alat berupa laptop, kabel data serial, obeng, tang potong, kotak kayu-akrilik, dan software Arduino 1.9. Bahan yang digunakan meliputi NodeMCU ESP8266, catu daya, sensor kelembaban tanah YL-69, sensor water level, adaptor, tanaman pot, buzzer, pompa air mini, selang, isolasi, dan baut. Semua komponen ini berfungsi mendukung otomatisasi penyiraman tanaman secara efisien.

Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian:

a. Persiapan penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D). Metode penelitian Research dan Development (R&D) adalah suatu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut. Secara umum, penelitian dan pengembangan adalah penelitian pembuatan produk atau pengembangan produk yang sudah ada. Sebelum membuat dan mengembangkan produk, dijalankan satu analisis kebutuhan untuk membantu pengguna melihat dan membantu efektivitas produk agar produk dapat bermanfaat dan berfungsi efektif. Jenis metode R&D digunakan berbagai bidang seperti pada ilmu pengetahuan alam, teknik, dan ilmu teknologi informasi.

Model pengembangan perangkat Four-D Model disarankan oleh Sivasailam Thiagarajan, Dorothy S. Semmel, dan Melvyn I. Semmel. Model ini terdiri dari 4 tahap pengembangan yaitu Define, Design, Develop, dan Disseminate atau diadaptasikan menjadi model 4-D, yaitu pendefinisian, perancangan, pengembangan, dan penyebaran. Pengumpulan data

b. Teknik Pengumpulan Data

Metode penelitian ini mencakup observasi langsung terhadap kondisi vertical garden, termasuk kebutuhan air dan keadaan tanaman, sebagai pembandingan data IoT. Wawancara dilakukan dengan warga, pengguna, ahli pertanian, dan teknisi IoT untuk memahami kebutuhan penyiraman serta aspek teknis. Studi literatur melibatkan pengumpulan data dari buku, jurnal, dan artikel terkait sistem IoT, penyiraman otomatis, dan pertanian vertikal. Terakhir, eksperimen dilakukan dengan menguji sistem IoT di lapangan, mengamati responsnya terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta mengumpulkan data sensor seperti kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara.

c. Pengolahan Data

Data berupa tabel dan grafik perbandingan luas lahan tahun 2009 dengan tahun 2020 diolah menggunakan Ms. Excel dan google colab untuk analisis.

d. Analisis Data

Penelitian ini menggunakan beberapa metode analisis untuk mengolah data yang diperoleh. Analisis deskriptif dilakukan untuk menyajikan data hasil observasi, wawancara, dan eksperimen secara jelas sehingga dapat diidentifikasi pola atau tren dari pembacaan sensor maupun pengamatan manual. Selanjutnya, analisis komparatif digunakan untuk membandingkan kinerja sistem penyiraman manual dan otomatis berbasis IoT dalam hal efektivitas, efisiensi penggunaan air, serta dampaknya terhadap kesehatan tanaman. Analisis ini juga membandingkan temuan lapangan dengan studi literatur untuk memvalidasi hasil penelitian. Analisis kuantitatif diterapkan untuk mengolah data numerik dari sensor

seperti kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara menggunakan perhitungan statistik dasar serta bantuan perangkat lunak seperti Excel atau SPSS. Terakhir, uji validitas dan reliabilitas dilakukan untuk memastikan keakuratan data dari sistem IoT dengan cara membandingkannya terhadap hasil pengukuran manual, sehingga diperoleh tingkat keandalan sistem yang dapat dipertanggungjawabkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perumusan masalah penyiraman tanaman ini merupakan bagian dari tahapan tahapan pendefinisian (define). Pada tahapan pertama dari metode 4D ini, dilakukan penentuan definitif perangkat penyiraman otomatis. Kriteria untuk alat ini ditetapkan berdasar persepsi masyarakat mengenai pengelolaan RTH dan kebutuhan sistem penyiraman otomatis. Persepsi masyarakat mengenai pengelolaan RTH publik yang melingkupi pemanfaatan dan perawatan penyiraman dikumpulkan menggunakan data dari informan kunci. Analisis data dilakukan secara deskriptif dari data kualitatif berupa uraian dari 5 informan kunci yang berasal dari pihak pemerintah, penjaga taman, dan pengguna taman RT 03 RW 07 Sumber, Banjarsari. Penggalan data dilakukan dengan indepth interview yang ditanggapi dengan dengan penjelasan dari para informan. Berdasarkan data dari para informan kunci mengenai persepsi pemanfaatan dan perawatan penyiraman RTH diketahui domain utama yang didapatkan dari para narasumber adalah Sulitnya akses mobil tangki penyiraman bagi petugas kebersihan dan perawatan taman Kelurahan Sumber, Taman membutuhkan partisipasi masyarakat untuk perawatan karena keterbatasan waktu Masyarakat, Tanaman di taman Sumber membutuhkan penyiraman rutin yang didukung berbagai para pihak (stake holder).

analisis kebutuhan sistem didasarkan (1) persepsi masyarakat mengenai perawatan penyiraman RTH, (2) sebaran lokasi RTH yang tidak terjangkau penyiraman oleh mobil tangki Kelurahan Sumber RW VII, (3) profil lokasi RTH yang dipilih untuk pengembangan alat penyiraman otomatis. Persepsi masyarakat mengenai perawatan penyiraman RTH masyarakat Kelurahan Sumber mengungkapkan bahwa meskipun jumlah taman yang diurus cukup banyak di berbagai wilayah, pengelolaannya belum optimal sehingga tidak mampu menciptakan lingkungan yang menarik dan nyaman bagi pengunjung sekitar. Petugas kebersihan mengeluhkan akses masuk yang sulit, dimana tata letak dan infrastruktur yang ada tidak mendukung kelancaran mobilitas truk tangka penyiraman sehingga menyebabkan keterbatasan dalam melakukan penyiraman di taman sumber tersebut. Selain itu, tingkat kesibukan masyarakat yang tinggi juga menjadi kendala, karena aktivitas kerja yang padat menyisakan sedikit waktu untuk menikmati fasilitas umum seperti taman.

Rangkaian sistem ini menggunakan ESP32 Dev Kit V4 (38 Pin) sebagai mikrokontroler utama yang mengontrol seluruh komponen. Untuk mempermudah koneksi perangkat, digunakan Expansion Board Shield ESP32 Devkit C, yang memungkinkan penyambungan sensor dan aktuator dengan lebih rapi serta stabil. Sistem ini memantau kondisi lingkungan menggunakan DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembaban udara, serta Capacitive Soil Moisture Sensor V2.0 untuk mengukur tingkat kelembaban tanah secara akurat dan tahan lama tanpa risiko korosi. Saat kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang ditentukan, ESP32 mengaktifkan Relay Module 1 Channel 5V dengan Optocoupler untuk mengendalikan pompa air dan solenoid valve, memastikan penyiraman berjalan otomatis. Untuk memantau aliran air, sistem juga dilengkapi flow sensor, sementara buzzer 3V berfungsi sebagai indikator peringatan jika terjadi kesalahan, seperti kegagalan penyiraman. Agar sistem dapat diakses dari jarak jauh, digunakan 4G LTE Modul, yang memungkinkan ESP32 mengirim dan menerima data ke server atau aplikasi IoT, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem secara real-time. Seluruh sistem didukung oleh power supply 12V 2A dan 12V 3A, yang memastikan suplai daya stabil bagi ESP32, sensor, relay, serta aktuator seperti pompa dan solenoid valve. Dengan kombinasi komponen ini, sistem penyiraman tanaman berbasis IoT dapat beroperasi secara otomatis, efisien, dan dapat dipantau dari mana saja.

Tahap pengembangan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT mencakup beberapa langkah utama yang terdiri dari pembuatan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, pengujian internal, serta integrasi seluruh komponen agar dapat berfungsi sebagai satu sistem yang utuh.

Sebelum sistem diterapkan dalam skala besar, dilakukan pengujian internal untuk memastikan bahwa seluruh komponen bekerja dengan baik. Pengujian perangkat keras dilakukan dengan mengukur akurasi

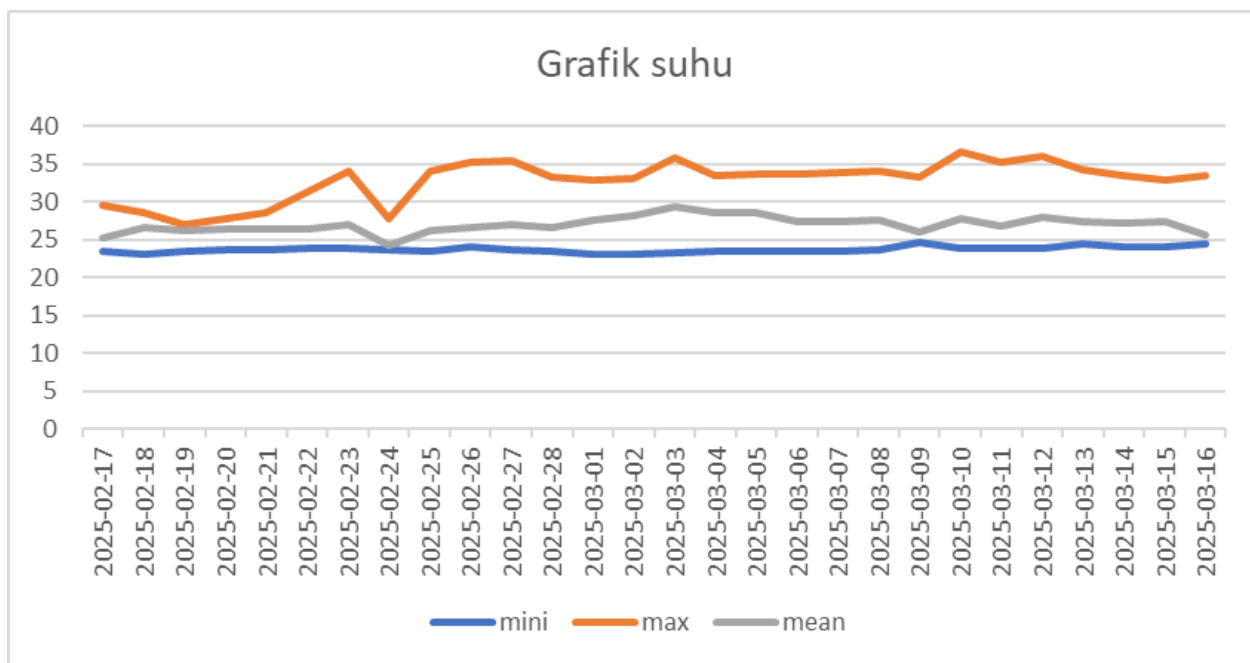
sensor kelembaban tanah Dimana penelitian ini menggunakan beberapa jenis sensor kelembaban tanah seperti resistive basic dan *resistive waterproof*, Dimana setiap sensor memiliki kalibrasi dan nilai masing masing.

Pada berbagai kondisi media tanam, mengamati respons sensor suhu dan kelembaban udara, serta menguji pompa air dan solenoid valve untuk memastikan bahwa penyiraman berlangsung sesuai dengan parameter yang ditentukan. Pada tahap ini, konektivitas modul 4G LTE juga diuji untuk memastikan data dapat dikirimkan dengan stabil ke server. Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan memverifikasi bahwa data sensor dapat ditampilkan secara real-time di aplikasi monitoring, menguji logika kontrol penyiraman otomatis, serta memastikan sistem notifikasi berfungsi sesuai dengan skenario yang telah ditetapkan.

Setelah semua komponen diuji secara individual, seluruh perangkat keras dan perangkat lunak kemudian diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh. Semua komponen disusun dalam wadah atau enclosure yang tahan terhadap kondisi lingkungan luar untuk melindungi perangkat dari kerusakan akibat faktor eksternal. ESP32 dikonfigurasi agar terus mengirimkan data ke server dan menerima perintah dari aplikasi monitoring. Pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh bagian sistem dapat beroperasi secara sinkron tanpa kendala. Apabila ditemukan kendala seperti konsumsi daya yang berlebihan atau keterlambatan dalam transmisi data, dilakukan optimasi pada perangkat keras maupun perangkat lunak untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Melalui tahap pengembangan ini, sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dapat bekerja secara optimal dengan memastikan setiap komponen berfungsi sebagaimana mestinya. Sistem ini dirancang agar dapat berjalan secara otomatis, efisien dalam penggunaan sumber daya, serta memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol proses penyiraman tanaman dari jarak jauh menggunakan aplikasi berbasis IoT.

Uji coba lapangan dilakukan dengan menerapkan sistem monitoring dan penyiraman otomatis di vertical garden RT 03 RW 07 Kelurahan Sumber. Pada tahap ini, seluruh komponen perangkat keras, seperti mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban udara, serta pompa air dan solenoid valve, dipasang dan diuji langsung dalam lingkungan nyata. Sistem dioperasikan untuk mengamati bagaimana perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi dalam kondisi sebenarnya.

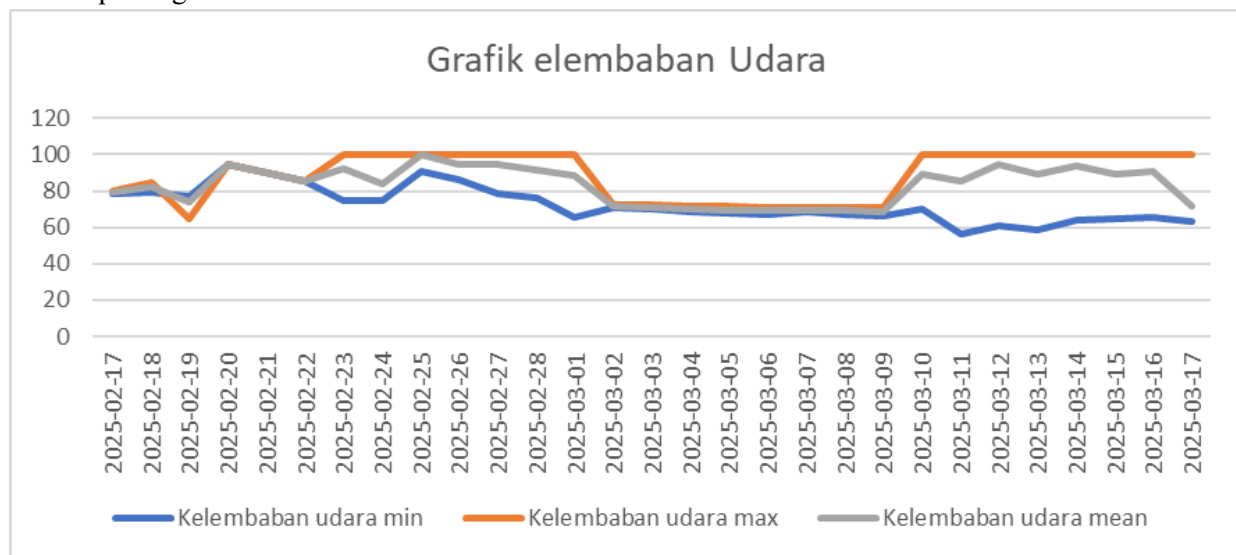


Gambar 1. Grafik Jumlah Penduduk di Desa Butuh, Mojosongo, Boyolali

Berdasarkan Gambar 1, suhu harian dari tanggal 17 Februari hingga 17 Maret 2025, terjadi variasi suhu yang cukup signifikan. Pada paruh pertama periode di tanggal 17 februari 29 Februari, suhu minimum

yang tercatat pada malam hari harian relatif stabil antara 23,2°C hingga 24,1°C, sementara suhu maksimum yang tercatat pada siang hari mulai dari 27°C hingga meningkat menjadi 35,5°C menjelang akhir Februari. Rata-rata suhu harian pada periode ini berada pada kisaran 24,3°C hingga 26,9°C Dimana suhu rata rata terendah ditunjukkan pada tanggal 25 Februari sedangkan rata rata suhu tertinggi terjadi pada tanggal 4 Maret, menunjukkan kondisi cuaca yang hangat namun belum ekstrem. Peningkatan suhu maksimum mulai terlihat sejak 26 Februari, yang menandai awal dari tren pemanasan.

Memasuki Bulan Maret, suhu mengalami peningkatan. suhu maksimum yang terus melonjak hingga mencapai puncaknya pada 11 Maret dengan 36,7°C. Suhu rata-rata harian juga menunjukkan lonjakan signifikan, dengan nilai tertinggi tercatat pada 4 Maret sebesar 29,37°C. Suhu minimum tetap berada dalam kisaran yang stabil antara 23,1°C hingga 24,7°C. Pada periode 4–9 Maret, suhu terasa lebih panas secara keseluruhan, karena suhu rata-rata berada di atas 27°C dan mendekati 29°C. Setelah 11 Maret, suhu secara bertahap mulai menurun, dengan suhu rata-rata pada 17 Maret tercatat sebesar 25,65° C, mendekati nilai-nilai di pertengahan Februari.

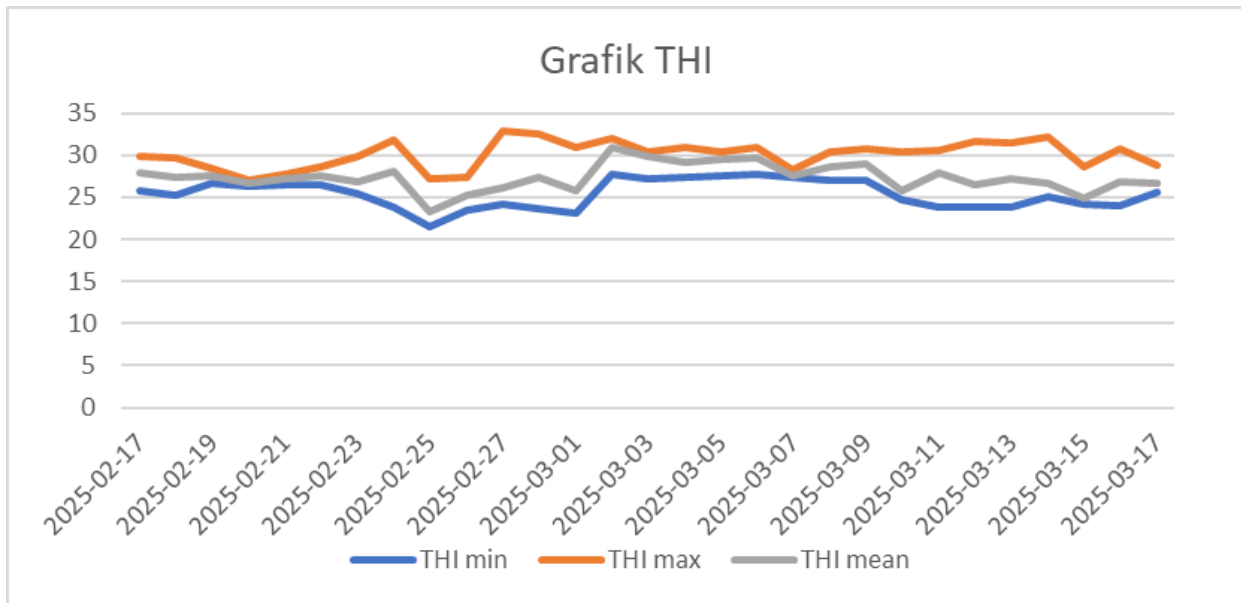


Gambar 2. Grafik Kelembaban Udara

Berdasarkan Gambar 2, kelembaban udara menunjukkan fluktuasi yang cukup dinamis. Pada awal periode, kelembaban cenderung stabil dengan nilai minimum berkisar antara 77,1% hingga 85%, dan kelembaban maksimum mendekati nilai minimum, menunjukkan kondisi udara yang relatif lembap secara konsisten. Rata-rata kelembaban udara pada fase ini berada di atas 83%, bahkan mencapai lebih dari 94% pada beberapa hari seperti yang terlihat pada tanggal 20 Februari dengan nilai minimum 94,4% dan maksimum 94,7%.

Memasuki pertengahan periode, rentang kelembaban mulai melebar secara signifikan. Nilai kelembaban minimum sempat turun drastis hingga 56% dan 58,2%, sementara maksimum hampir selalu mencapai 100%. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kelembaban antara pagi dan sore yang cukup besar, mungkin akibat perubahan suhu yang ekstrem atau peralihan musim. Meskipun nilai minimum turun, rata-rata kelembaban tetap tinggi, seperti 94,35% atau bahkan 99,75%, menandakan kondisi udara yang masih sangat lembap dalam sebagian besar waktu.

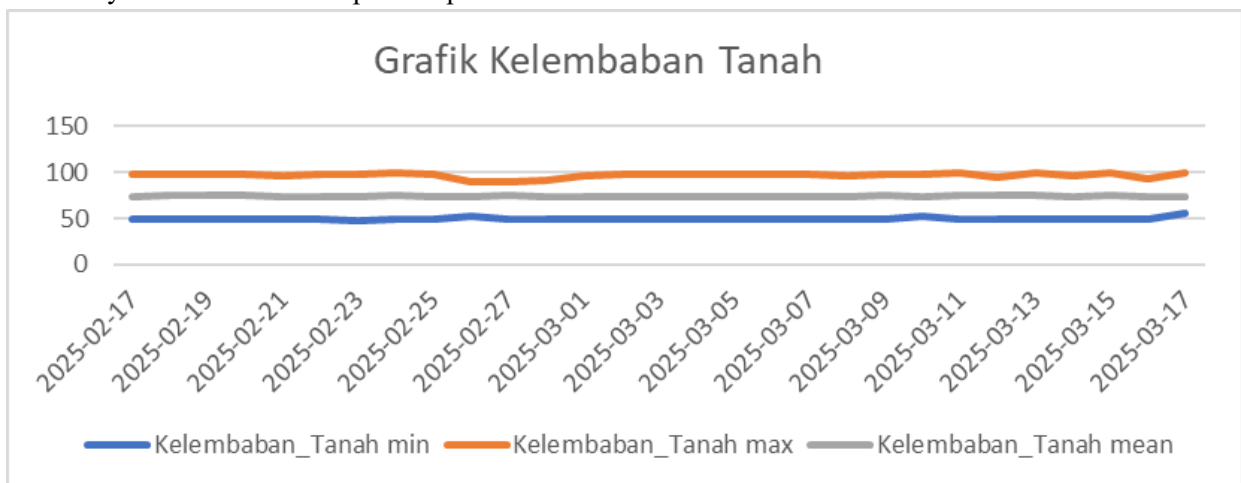
Pada akhir periode, terjadi variasi kelembaban harian yang lebih merata. Nilai minimum berada di kisaran 63%–69%, dan kelembaban maksimum stabil di angka 100%. Rata-rata kelembaban tetap berada pada tingkat tinggi, sebagian besar berkisar antara 88% hingga 94%, mencerminkan kondisi lingkungan yang cenderung basah dan lembap secara umum.



Gambar 3. Grafik Thermal Humidity Index (THI)

Berdasarkan Gambar 3, dengan menggunakan klasifikasi McGregor & Nieuwolt, kondisi termal yang tercatat dari data THI menunjukkan bahwa mayoritas hari termasuk dalam kategori "Tidak Nyaman" (THI > 26). Sebagian besar nilai rata-rata THI dalam rentang waktu yang diamati berada di atas angka 26, menunjukkan kondisi panas-lembap yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan termal. Nilai THI tertinggi tercatat pada awal Maret, yaitu pada tanggal 4 Maret (30,91), 5 Maret (30,38), dan 6 Maret (30,85), yang menandakan kondisi sangat tidak nyaman.

Hanya sedikit hari yang masuk kategori "Cukup Nyaman" (THI 24–26), seperti tanggal 24 Februari (25,22), 1 Maret (25,8), dan 10 Maret (25,75). Hari-hari ini menunjukkan suhu-lembap yang masih dapat ditoleransi, meskipun tetap tidak optimal untuk aktivitas fisik berat. Kategori "Nyaman" (THI 21–23) hanya muncul pada dua hari, yaitu 23 Februari (23,22) dan 25 Februari (23,22), menandakan sangat terbatasnya kenyamanan termal sepanjang periode tersebut. Bahkan terdapat satu hari, yakni 22 Februari, dengan THI minimum 21,5 dan rata-rata 23,22, yang sangat mendekati batas bawah kategori nyaman. Sementara itu, tidak ada hari yang tergolong dalam kategori "Dingin" (THI < 21), menegaskan bahwa sepanjang periode pengamatan, suhu dan kelembapan relatif tinggi mendominasi. Secara keseluruhan, lingkungan pada periode ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan yang tinggi, yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan termal hampir setiap hari.



Gambar 4. Grafik Kelembaban Tanah

Bersasarkan Gambar 4, data kelembaban tanah selama periode pengamatan menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil dengan rata-rata kelembaban berada pada kisaran 73% hingga 74,6%. Nilai kelembaban minimum umumnya berada pada angka 49%, yang konsisten muncul hampir setiap hari, sedangkan nilai maksimum bervariasi antara 90% hingga 100%. Nilai rata-rata kelembaban tanah yang paling tinggi tercatat sebesar 74,6%, yang menunjukkan kondisi tanah cukup lembap, ideal untuk pertumbuhan tanaman, khususnya tanaman yang membutuhkan kelembaban sedang hingga tinggi.

Sebaliknya, nilai rata-rata kelembaban tanah terendah adalah 72,8839%, yang masih berada dalam kategori lembap dan tidak menunjukkan kondisi kering atau terlalu basah. Angka ini berulang tercatat pada beberapa hari, menandakan kestabilan kelembaban tanah dalam kisaran optimal.

Secara umum, kelembaban tanah selama periode ini tergolong stabil dan cukup tinggi, yang berpotensi baik untuk mendukung aktivitas pertanian atau pertumbuhan vegetasi tanpa perlunya penyiraman tambahan yang berlebihan. Ini menunjukkan bahwa sistem pengairan atau curah hujan selama masa pengamatan memberikan kontribusi yang cukup terhadap kondisi tanah.



Gambar 5. Grafik Jumlah Penyiraman

Berdasarkan Gambar 5, data selama 30 hari pemantauan, penyiraman tanaman umumnya dilakukan satu kali per hari, yang menunjukkan pola penyiraman otomatis atau manual yang cukup konsisten. Namun, terdapat dua hari tanpa penyiraman yaitu pada tanggal 26 Februari dan di 17 Maret. satu hari dengan dua kali penyiraman pada 4 Maret.

Berdasarkan data yang diperoleh selama periode pemantauan, terdapat hubungan yang jelas antara jumlah penyiraman tanaman dengan beberapa parameter lingkungan seperti kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, dan indeks kenyamanan termal (THI). Faktor yang paling dominan dan berhubungan langsung dengan penyiraman adalah kelembaban tanah. Ketika kelembaban tanah menunjukkan nilai di bawah kisaran 50%, sistem cenderung melakukan penyiraman, bahkan hingga dua kali dalam sehari, seperti yang terjadi pada tanggal 16 Maret 2025 dengan kelembaban tanah rata-rata 72,8%. Sebaliknya, pada hari-hari dengan kelembaban tanah tinggi di atas 74,5%, seperti tanggal 26 Februari 2025, penyiraman tidak dilakukan karena kondisi tanah sudah cukup basah.

Suhu dan THI berperan secara tidak langsung terhadap penyiraman, di mana nilai yang tinggi pada parameter ini dapat mempercepat penguapan air dari tanah, sehingga menurunkan kelembaban tanah dan memicu penyiraman. Hal serupa juga berlaku pada kelembaban udara; ketika kelembaban udara rendah, laju penguapan meningkat, yang turut mempercepat pengeringan tanah. Dengan demikian, meskipun suhu, kelembaban udara, dan THI tidak secara langsung menjadi pemicu penyiraman, ketiganya mempengaruhi kondisi kelembaban tanah yang menjadi indikator utama dalam pengambilan keputusan penyiraman otomatis.

Daya Terima Masyarakat pada Sistem Penyiraman Otomatis

Tabel 1. Perbandingan Luas Lahan Desa Butuh, Mojosongo, Boyolali

Variabel		Frekuensi	Presentase
Gender	Laki-laki	13	65,00%
	Perempuan	7	35,00%
Usia	20 sd 30	2	10,00%
	30 sd 40	5	25,00%
	40 sd 50	10	50,00%
	> 50	3	15,00%
Pendidikan	SMP	0	0,00%
	SMA	9	45,00%
	Diploma	3	15,00%
	S1	8	40,00%
Pekerjaan	ASN	3	15,00%
	Pedagang	5	25,00%
	Pegawai Swasta	5	25,00%
	Wirawasta	4	20,00%
	ART	3	15,00%

Berdasarkan hasil wawancara yang disajikan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa karakteristik responden menunjukkan beberapa kecenderungan yang menarik. Dari segi gender, partisipan laki-laki mendominasi dengan persentase mencapai 65% untuk 13 orang, sementara perempuan hanya 35% dengan 7 orang. Hal ini menunjukkan bahwa dalam penelitian ini, laki-laki memiliki tingkat partisipasi yang lebih tinggi.

Pada variabel usia, terlihat bahwa mayoritas responden berada dalam rentang usia 40-50 tahun dengan persentase mencapai 50% dengan 10 orang, diikuti oleh kelompok usia 30-40 tahun sebesar 25% untuk 5 orang, usia di atas 50 tahun sebesar 15% untuk 3 orang, dan usia 20-30 tahun sebesar 10% dengan 2 orang. Distribusi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar responden berada dalam kategori usia produktif, yang mungkin memiliki pengaruh terhadap persepsi dan preferensi mereka dalam penelitian ini.

Dari sisi tingkat pendidikan, responden didominasi oleh mereka yang berpendidikan SMA dengan 45% atau 9 orang dan S1 dengan 40% atau 8 orang, sedangkan untuk diploma hanya 15% yaitu 3 orang dan tidak ada responden yang berpendidikan SMP 0%. Data ini menunjukkan bahwa tingkat pendidikan responden cenderung berada pada level menengah hingga tinggi, yang mungkin berkorelasi dengan pemahaman dan respons mereka terhadap pertanyaan-pertanyaan dalam wawancara.

Variabel pekerjaan menunjukkan keragaman yang cukup tinggi di antara responden. Pedagang dan pegawai swasta masing-masing menyumbang 25% yaitu 5 orang, diikuti oleh wirawasta sebesar 20% yaitu 4 orang, serta ASN dan ART masing-masing sebesar 15% yaitu 3 orang. Keragaman ini mencerminkan variasi latar belakang profesional responden, yang dapat memberikan perspektif yang beragam dalam penelitian.

Terakhir, terkait keinginan membayar, lebih dari separuh responden dengan 55% atau 11 orang memilih nominal Rp25.000, sementara 45% yaitu 9 orang memilih Rp50.000. Hal ini menunjukkan kecenderungan responden untuk memilih opsi yang lebih ekonomis, yang dapat menjadi pertimbangan penting dalam pengambilan keputusan terkait penetapan harga atau kebijakan lainnya.

Secara keseluruhan, hasil wawancara ini memberikan gambaran yang jelas tentang profil demografis responden, yang didominasi oleh laki-laki usia produktif dengan tingkat pendidikan menengah hingga tinggi serta latar belakang pekerjaan yang beragam. Preferensi mereka terhadap harga yang lebih terjangkau juga menjadi poin penting yang perlu diperhatikan. Data ini dapat menjadi landasan yang kuat untuk analisis lebih lanjut atau pengambilan keputusan strategis yang berkaitan dengan kelompok sasaran ini.

Untuk memastikan bahwa instrumen penelitian yang digunakan layak dan dapat dipercaya, dilakukan uji validitas dan reliabilitas terhadap setiap butir pertanyaan dalam kuesioner. Uji validitas dilakukan dengan metode korelasi Pearson antara skor masing-masing item dengan skor total. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh item memiliki nilai korelasi di atas nilai r tabel sebesar 0,444 dengan jumlah responden sebanyak 20 orang pada taraf signifikansi 5%. Nilai korelasi berkisar antara 0,4639 hingga 0,8978, yang berarti seluruh item dalam instrumen ini dinyatakan valid karena mampu mengukur apa yang seharusnya diukur.

Selanjutnya, dilakukan uji reliabilitas untuk mengetahui konsistensi internal dari instrumen tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan varian tiap item dan total varian sebesar 49,6078, diperoleh koefisien reliabilitas sebesar 0,8912. Nilai ini menunjukkan bahwa instrumen memiliki tingkat reliabilitas yang sangat tinggi, karena berada jauh di atas ambang minimum 0,7 yang umumnya digunakan sebagai standar instrumen yang reliabel. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa instrumen penelitian ini telah memenuhi syarat validitas dan reliabilitas, sehingga layak digunakan untuk pengumpulan data dalam penelitian ini.

Tabel 2. Analisis Statistik Deskriptif

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
P1	2,00	4,00	3,0000	0,72548	0,000	0,512	-0,931	0,992
P2	2,00	4,00	2,6500	0,58714	0,212	0,512	-0,552	0,992
P3	3,00	5,00	4,0000	0,79472	0,000	0,512	-1,366	0,992
P4	3,00	5,00	3,8000	0,76777	0,372	0,512	-1,131	0,992
P5	2,00	3,00	2,7500	0,44426	-1,251	0,512	-0,497	0,992
P6	1,00	3,00	2,2500	0,78640	-0,496	0,512	-1,152	0,992
P7	1,00	3,00	1,8000	0,83351	0,412	0,512	-1,434	0,992
P8	2,00	4,00	2,5500	0,82558	1,071	0,512	-0,585	0,992
P9	3,00	5,00	4,1500	0,74516	-0,257	0,512	-1,043	0,992
P10	1,00	4,00	2,6500	0,98809	-0,283	0,512	-0,770	0,992
P11	3,00	5,00	3,6500	0,67082	0,549	0,512	-0,548	0,992
P12	3,00	5,00	4,0500	0,88704	-0,104	0,512	-1,786	0,992
P13	2,00	5,00	4,0000	1,07606	-0,845	0,512	-0,414	0,992
P14	3,00	5,00	4,3500	0,58714	-0,212	0,512	-0,552	0,992

Valid N (listwise) 20

Berdasarkan Tabel 2, hasil analisis statistik deskriptif terhadap 14 variabel persepsi P1-P14 dengan 20 responden, dapat diidentifikasi beberapa pola penting dalam pemahaman, penerimaan, dan hambatan adopsi sistem penyiraman otomatis berbasis IoT. Pada aspek pengetahuan teknologi dengan P1-P4, responden secara umum menunjukkan pemahaman yang memadai tentang fungsi dasar sistem, dengan skor rata-rata tertinggi pada P3 dengan rata-rata 4.00 dan standar deviasi 0.79 yang mengindikasikan pengakuan akan manfaat penghematan air. Namun, variabilitas respons yang ditunjukkan oleh standar deviasi yang relatif tinggi 0.72-0.83 pada seluruh item pengetahuan mengisyaratkan adanya disparitas tingkat pemahaman teknis di antara responden. Distribusi data yang cenderung simetris dengan skewness pada P1 yaitu 0.00 dan P3 yaitu 0.00 namun platykurtic kurtosis P3 yaitu -1.37 memperkuat temuan bahwa pemahaman responden tersebar cukup merata tanpa konsentrasi ekstrim pada nilai tertentu.

Dalam hal pengalaman dan persepsi pengguna P5-P9, terlihat adanya polarisasi respons yang menarik. Meskipun kemudahan instalasi P5 memperoleh skor moderat M=2.75, distribusinya yang sangat miring ke kiri skewness dengan -1.25 menunjukkan kecenderungan kuat responden untuk menyepakati kemudahan proses instalasi. Di sisi lain, keandalan sistem jangka panjang P6 mendapat penilaian paling rendah M=2.25 dengan kurtosis yang tajam -1.15, mengindikasikan skeptisisme yang nyata di kalangan

responden. Item P9 tentang kebutuhan sistem otomatis mencapai skor tertinggi $M=4.15$, $SD=0.75$, menegaskan adanya permintaan pasar yang potensial untuk solusi penyiraman otomatis.

Faktor-faktor penghambat P10-P14 mengungkap tantangan kritis dalam adopsi teknologi ini. Kekhawatiran akan infrastruktur pendukung tampak dominan, khususnya mengenai stabilitas listrik P13, $M=4.00$ dan koneksi internet P14, $M=4.35$. Distribusi data P12 yang sangat datar kurtosis=-1.79 dengan skewness negatif -0.10 menunjukkan konsensus luas bahwa aspek harga menjadi barrier utama, meskipun dengan variasi opini yang ekstrem. Yang patut dicatat, akses internet P10 mencatat variabilitas tertinggi $SD=0.99$, mencerminkan ketimpangan infrastruktur digital di antara responden.

Secara implikatif, temuan ini menyoroti tiga aspek krusial untuk pengembangan produk. Pertama, kebutuhan edukasi teknis yang lebih komprehensif, terutama mengenai mekanisme operasional sistem P4, skewness=0.37. Kedua, pentingnya penguatan fitur fail-safe untuk mengatasi masalah ketidakstabilan infrastruktur P13-P14. Ketiga, perlunya model bisnis alternatif seperti program subsidi P11 mengingat sensitivitas harga P12. Dari perspektif pemasaran, penekanan pada benefit penghematan sumber daya P3 dan solusi untuk masalah disiplin penyiraman P8 dapat menjadi value proposition utama, didukung oleh demonstrasi kemudahan instalasi P5 untuk mengurangi barrier psikologis calon pengguna.

Temuan ini secara empiris mengkonfirmasi bahwa adopsi sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dihadapkan pada tantangan multidimensi yang kompleks. Meskipun terdapat kesadaran akan manfaat teknologi eviden dari P1-P4 dan kebutuhan riil akan solusi otomatisasi P8-P, faktor eksternal seperti kualitas infrastruktur pendukung dan pertimbangan ekonomi menjadi determinan kritis dalam proses pengambilan keputusan konsumen. Hasil analisis distribusi data yang menunjukkan non-normalitas (berdasar nilai skewness dan kurtosis) juga mengisyaratkan pentingnya pendekatan segmentasi pasar yang lebih granular untuk menysasar kelompok pengguna potensial dengan karakteristik spesifik.

Tabel 3. Keinginan Responden untuk Membayar Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Keinginan Membayar		
Harga	Jumlah	Persen
25000	11	55,00%
50000	9	45,00%

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengumpulan data mengenai keinginan responden untuk membayar sistem penyiraman tanaman otomatis, diperoleh dua kategori nominal yang paling diinginkan. Sebanyak 11 responden atau sebesar 55,00% menyatakan bersedia membayar sebesar Rp25.000 untuk mendapatkan sistem ini. Sementara itu, sebanyak 9 responden atau 45,00% lainnya menyatakan bersedia membayar sebesar Rp50.000.

Data ini menunjukkan bahwa mayoritas responden cenderung memilih harga yang lebih rendah, yaitu Rp25.000, meskipun hampir separuhnya masih bersedia membayar harga yang lebih tinggi, yaitu Rp50.000. Hal ini dapat menjadi pertimbangan dalam penentuan harga jual produk, di mana strategi harga terjangkau dapat menarik lebih banyak pengguna, namun tetap mempertimbangkan nilai dan manfaat sistem yang ditawarkan untuk mereka yang bersedia membayar lebih.

SIMPULAN

Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT di Kelurahan Sumber menggunakan ESP32 Dev Kit V4 dengan sensor DHT22 dan soil moisture sensor berhasil mengatasi kendala akses air manual dengan mengaktifkan pompa otomatis saat kelembaban tanah $<50\%$, didukung pemantauan real-time via 4G LTE, namun implementasinya menghadapi tantangan seperti keterbatasan infrastruktur listrik/internet (dengan 45% responden meragukan keandalannya), preferensi biaya partisipasi ekonomis (55% memilih Rp25.000), dan kebutuhan edukasi teknis masyarakat, sehingga diperlukan penguatan fitur fail-safe, model bisnis terjangkau, serta sosialisasi manfaat sistem yang mampu menghemat air (nilai persepsi 4.00) untuk meningkatkan adopsi teknologi ini sebagai solusi berkelanjutan perawatan taman berbasis IoT di tingkat kelurahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, DP., Ariyaningsih, Kadria, MK., 2022, Arahan Penyediaan RTH Privat Berbasis Partisipasi Masyarakat Pada Kawasan Permukiman Kumuh di Kelurahan Karang Jati Kota Balikpapan, Ruang, Vol 8 No. 1. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ruang/article/download/8726/pdf>
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless Sensor Networks: A Survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422.
- Bafdal, N., & Ardiansah, I. (2020). Smart Farming Berbasis Internet of Things dalam Greenhouse. Unpad Press.
- De Castro, D. F., Ferreira, J. A., & Goulart, T. P. (2021). Development of an Automated Irrigation System Using IoT Technology for Precision Agriculture. *Sensors*, 21(4), 1208.
- Dewangga, A., Amin, R. M., Himawan, W., & Zaky, F. A. (2024). Development of an Internet of Things-based Environmental Information System for Realtime Monitoring of Air Conditions. *Journal of Geography Science and Education*, 6(1).
- Effendi, N., Ramadhani, W., & Farida, F. (2022). Perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis IoT. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 3(2), 91-98.
- Evelt, S. R., Tolk, J. A., & Howell, T. A. (2019). Soil Water Content Measurement. In *Handbook of Soil Science* (pp. 127-174). CRC Press.
- Francini, G., Minutillo, M., & Peruzzi, A. (2020). Urban Green Infrastructures: Design and Integration in Built Environment. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102243.
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., Randika, T., Rathnayake, C., Hameed, Z., Madhujith, T., & Merah, O. (2024). Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. *Current Plant Biology*, 40(April). <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100420>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214662824001026?via%3Dihub>.
- Grard, B. J., Bel, N., Marchal, N., Madre, F., Castell, J. F., Cambier, P., & Aubry, C. (2018). Recycling Urban Waste as Growing Substrate for Edible Crops: A Step towards Resilient Urban Agriculture. *Journal of Environmental Management*, 228, 174-181.
- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166-176.
- Hafidz, M. A., Febriana, K. H., Tumampas, K. G., Mahani, B., Safitri, M., & Lestari, W. (2024). Wisata Taman Edukasi Pembangunan Wisata Taman Edukasi Sandrass Garden Di Dusun V Ngori, Desa Braja Luhur, Kecamatan Braja Selehah, Kabupaten Lampung Timur. *Open Community Service Journal*, 3(2), 107–116. <https://doi.org/10.33292/ocsj.v3i2.74>.
<https://opencomserv.com/index.php/OCSJ/article/view/74>
- Hargreaves, J. C., Hewitt, A., & Howes, J. (2021). Advances in Soil Moisture Sensing Technology and its Impact on Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106126.
- Hermada, Agastya, 2018, Studi perencanaan irigasi sprinkler pada Taman Idjen Kota Malang / Agastya Hermada. Diploma thesis, Universitas Negeri Malang. <https://repository.um.ac.id/45481/>

- Hossain, M. S., Chowdhury, S. M., & Rahman, M. S. (2020). Impact of Soil Moisture on Crop Yield: A Review. *Agricultural Water Management*, 234, 106089.
- Hui, S. C. M. (2011). Green Building and Urban Greenery for Mitigating Urban Heat Island Effect. *International Conference on Building Efficiency and Sustainability in the Tropics (ICBEST)*, 12-14.
- Indrajati, E., & Prihadi, S. (2023). ANALISIS PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) PUBLIK DI KECAMATAN JEBRES KOTA SURAKARTA TAHUN 2022. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, 2(1), 92-99.
- Jayanti, A. V., Purnomo, E. P., & Nurkasiwi, A. (2020). Vertical garden: penghijauan untuk mendukung smart living di Kota Yogyakarta. *Al Ijarah: Jurnal Pemerintahan Dan Politik Islam*, 5(1), 41-54.
- Jupita, R., 2021. Rancang Bangun Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik Vol 2, No 1*. <https://jim.teknokrat.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/1090>.
- Kristina, S., Ivan, Y., 2015, Usulan Rute dan Jadwal Penyiraman Taman Sektor Dua dan Sektor Empat Kota Bandung, *Jurnal Telematika, Vol 10. No. 02, Bandung*. <https://journal.ithb.ac.id/telematika/article/view/131>
- Latif, N. 2021. Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Sensor Suhu. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas AL Asyariah Mandar Vol. 7, No. 1, April 2021*. <https://media.neliti.com/media/publications/458922-none-0348bef5.pdf>
- López-Pérez, A., Ponce-Caballero, C., & Fernández-Cañero, R. (2019). Thermal Regulation Potential of Different Typologies of Green Vertical Systems: A Review. *Building and Environment*, 146, 190-203.
- Mardaantung, K. M., Adam, K. B., & Afifah, K. (2023). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Dengan Daya Dari Photovoltaic. *eProceedings of Engineering*, 10(3).
- Mohapatra, S., Sahoo, S., & Jena, P. K. (2022). IoT-enabled Smart Irrigation System for Efficient Water Management in Agriculture. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 32, 100662.
- Muzanima, J., Shipandeni, M. N. T., Togarepi, C., Shivolo-Useb, S., Jona, C. N., & Petrus, N. P. (2024). Constraints and coping strategies of urban agriculture households in Namibia's informal settlements during COVID-19. *Urban Agriculture and Regional Food Systems*, 9(1), 1–16. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/uar2.70006>
- Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., & Egea, G. (2016). Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. *Journal of Urban Technology*, 23(4), 63-82.
- Prasetyo, S., & Syahid Abdullah. (2022). Rancang Bangun Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU dan Telegram. *Jurnal RESTIKOM: Riset Teknik Informatika Dan Komputer*, 3(2), 51-59. <https://doi.org/10.52005/restikom.v3i2.81>.
- Singh, R. P., Alam, T., & Ahmed, S. (2020). Internet of things (IoT) Applications in Agriculture: A Review. *IEEE Access*, 8, 206730-206745.
- Sukma Aprilia Islami, Tati Budiarti, & Afra Donatha Nimia Makalew. (2025). Kajian Implementasi dan Manfaat Pertanian Perkotaan pada Kelompok Tani di Kota Bogor. *Jurnal Penyuluhan*, 21(01), 74-90. <https://doi.org/10.25015/21202561348>.

- Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(2), 435-446. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.656>
- Whittinghill, L., & Sarr, S. (2021). Practices and Barriers to Sustainable Urban Agriculture: A Case Study of Louisville, Kentucky. *Urban Science*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/urbansci5040092>. <https://www.mdpi.com/2413-8851/5/4/92>.
- Zhu, Q., Wang, R., & Zeng, N. (2018). IoT-based Smart Irrigation System for Urban Green Spaces. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1901-1911.