

PERANCANGAN DAN EVALUASI KINERJA SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI MULTI-SENSOR DAN KONTROL DUA MODE

Design and Performance Evaluation of an IoT-Based Automatic Plant Irrigation System with Multi-Sensor Integration and Dual-Mode Control

Yehezkiel Alfa Rizky¹, Antonius Angga Kurniawan^{2*}, Mutiara Romana Kusuma³

¹ Program studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma. Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat. yehezkielrizky26@gmail.com.

² Program studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma. Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat. anggaku@staff.gunadarma.ac.id.

³ Program studi Informatika, Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Nusa Megarkencana. Jl. A.M. Sangaji No.49, Cokrodingratan, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta 55233, Daerah Istimewa Yogyakarta. mutiararomana@unmeka.ac.id.

*) Penulis korespondensi

Diterima 15 April 2026; Disetujui 20 Juni 2026

ABSTRAK

Keterbatasan waktu dalam perawatan tanaman sering menyebabkan penyiraman yang tidak optimal karena sistem konvensional bergantung pada jadwal tetap atau pemantauan manual yang kurang adaptif. Sebagian besar penelitian penyiraman berbasis Internet of Things (IoT) terdahulu masih menggunakan kontrol sederhana tanpa evaluasi performa yang memadai. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT dengan integrasi multi-sensor yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian secara *real-time*. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terintegrasi dengan sensor kelembapan tanah, sensor suhu tanah DS18B20, dan sensor kelembapan udara DHT11, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka pengguna. Sistem mendukung dua mode operasional, yaitu mode otomatis berbasis parameter lingkungan dan mode manual melalui kendali jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara fungsional dengan tingkat respons yang stabil dalam skenario pengujian. Evaluasi sensor menunjukkan bahwa DS18B20 memiliki rata-rata *error* sebesar 5,08%, sedangkan DHT11 sebesar 16,67%. Meskipun terdapat deviasi pada sensor kelembapan udara, sistem tetap dapat menjalankan logika kontrol dengan baik karena keputusan utama didasarkan pada kelembapan tanah. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi multi-sensor dalam sistem penyiraman berbasis IoT dengan *dual-mode control* serta evaluasi performa awal terhadap akurasi sensor dan respons sistem. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi pengembangan lebih lanjut menuju sistem irigasi cerdas yang lebih adaptif dan efisien.

Kata kunci: *Internet of Things*, Penyiraman tanaman otomatis, Kelembapan tanah

ABSTRACT

Time constraints in plant care often lead to suboptimal irrigation, particularly because conventional systems still rely on fixed schedules or manual monitoring that lacks adaptability to environmental conditions. Several previous studies have developed IoT-based automatic irrigation systems; however, most still employ simple control and without adequate performance evaluation. This study aims to design and implement an

IoT-based automatic plant irrigation system with multi-sensor integration capable of real-time monitoring and control. The system was developed using a NodeMCU ESP8266 microcontroller integrated with a soil moisture sensor, a DS18B20 soil temperature sensor, and a DHT11 air humidity sensor, along with the Blynk application as the user interface. The system supports two operational modes: an automatic mode based on environmental parameters and a manual mode via remote control. Test results indicate that the system operates functionally with a stable response rate across testing scenarios. Sensor evaluation shows that the DS18B20 has a mean error of 5.08%, while the DHT11 has a mean error of 16.67%. Despite the deviation observed in the air humidity sensor, the system is still able to execute control logic effectively, as the primary decision-making is based on soil moisture readings. The main contribution of this study lies in the multi-sensor integration within an IoT-based irrigation system featuring dual-mode control, along with an initial performance evaluation of sensor accuracy and system response. The findings demonstrate the potential for further development toward a more adaptive and efficient smart irrigation system.

Keywords: *Internet of Things, Automatic plant watering, Soil Moisture*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan optimal tanaman sangat bergantung pada frekuensi penyiraman yang tepat dan ketersediaan air yang menjadi indikator utama kesuburan tanah (Nugroho and Kurnia, 2025). Metode penyiraman alami yang mengandalkan air hujan kurang efektif karena intensitasnya tidak menentu, sehingga berisiko memicu kekeringan dan menurunkan produktivitas tanaman (Fatimah et al., 2024). Selain itu, suhu tanah yang tinggi dapat mempercepat penguapan air ke atmosfer melalui proses evapotranspirasi (Ariyanto et al., 2021; Fibriana et al., 2018). Faktor eksternal seperti kelembapan udara juga memengaruhi kadar air permukaan tanah,

di mana peningkatan kelembapan atmosfer berkorelasi dengan kondisi tanah yang relatif lebih lembap (Karamina et al., 2017).

Oleh karena itu, pengawasan suhu dan kelembapan secara terintegrasi menjadi sangat penting untuk mencegah penurunan kadar air tanah demi menjaga produktivitas tanaman. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang untuk mengotomatisasi proses penyiraman tanaman melalui integrasi sensor dan konektivitas internet. Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan pendekatan yang beragam seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti dan Tahun	Perangkat/Basis	Fitur dan Kelebihan	Celah Penelitian
1	Syharani dkk. (2026)	NodeMCU ESP8266, Blynk	<i>Monitoring</i> & kendali manual <i>real-time</i>	Hanya 1 parameter; tanpa evaluasi <i>error</i> kuantitatif
2	Gautama dan Sudibyo (2023)	NodeMCU	Irigasi otomatis mandiri	Tanpa kendali manual
3	Novianto et al. (2021)	<i>Fuzzy Logic</i> , IoT, Blynk	Penyiraman adaptif via <i>fuzzy</i>	Tanpa suhu tanah dan kendali manual
4	Ridwan (2021)	Arduino Nano, RF	Kendali jarak jauh	Jangkauan ≤ 10 m, skala terbatas
5	Latif (2021)	Arduino, Telegram	Notifikasi otomatis	<i>Monitoring</i> teks, tanpa visualisasi data

Berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penyiraman otomatis, namun sebagian besar masih memiliki keterbatasan dalam hal integrasi parameter lingkungan, fleksibilitas kontrol, serta evaluasi performa sistem yang komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT dengan integrasi tiga parameter zona perakaran (kelembapan tanah, suhu tanah, dan kelembapan udara) serta fitur dual-mode control (otomatis dan manual) yang dipantau secara real-time melalui aplikasi Blynk. Kebaruan penelitian ini terletak pada dua hal yang jarang ditemukan secara simultan pada literatur sistem penyiraman berbasis IoT, yaitu integrasi multi-parameter dalam satu kerangka kontrol dua mode dan evaluasi akurasi

sensor secara statistik melalui galat, standar deviasi, serta selang kepercayaan (confidence interval). Penyajian akurasi sensor secara statistik, bukan sekadar laporan keberhasilan operasional, menjadi kontribusi metodologis yang dapat direplikasi untuk menilai keandalan tiap sensor sebelum digunakan dalam pengambilan keputusan kontrol. Penelitian ini diharapkan menjadi langkah awal menuju sistem irigasi cerdas yang lebih adaptif dan efisien.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Pembuatan sistem penyiraman ini memerlukan alat dan bahan yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Penjelasan perangkat yang digunakan untuk membuat sistem ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perangkat Keras Sistem

No.	Alat	Deskripsi
Perangkat Keras		
1	Sensor DHT11	Mengukur kelembapan udara lingkungan sekitar.
2	Sensor DS18B20	Merupakan sensor suhu digital.
3	Sensor <i>soil moisture</i>	Alat untuk mengukur kelembapan tanah.
4	<i>Liquid crystal display</i>	Menampilkan <i>output</i> berupa tulisan.
5	NodeMCU ESP8266	Sebagai mikrokontroler.
6	Pompa DC	Untuk menyiram tanaman.
7	<i>Relay Module</i>	Merupakan komponen elektronika yang sangat penting untuk proses kendali.
8	Kabel <i>jumper</i>	Digunakan sebagai penghantar listrik untuk menghubungkan rangkaian listrik.
9	Kabel <i>Universal Serial Bus</i> (USB)	Untuk koneksi pada serial elektronik.
Perangkat Lunak		
10	Arduino IDE	<i>Software</i> yang berfungsi sebagai <i>text editor</i>
11	Aplikasi Blynk	Layanan <i>server</i> yang digunakan sebagai pendukung pembuatan alat berbasis IoT.
12	Bahasa pemrograman C	Bahasa pemrograman dasar yang digunakan untuk membuat program berbasis Arduino.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *prototyping* berbasis *iterative design*, yang memungkinkan pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui proses perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi berulang (Kustanto et al., 2024). Pendekatan ini dipilih karena sistem yang dikembangkan merupakan sistem *embedded* berbasis IoT yang memerlukan penyesuaian berkelanjutan antara perangkat keras dan perangkat lunak.

Arsitektur Sistem

Gambar 1 menampilkan diagram arsitektur sistem IoT yang terbagi menjadi tiga lapisan utama beserta aktuator. Layer Sensing terdiri dari sensor *soil moisture*,

DHT11, dan DS18B20 untuk pengumpulan data lingkungan. Data tersebut dikirim ke Layer Processing berbasis NodeMCU ESP8266 untuk dieksekusi logika kontrolnya dan ditransmisikan via Wi-Fi ke Layer Application (Blynk Cloud Server). Pengguna dapat memantau data secara *real-time* serta mengendalikan sistem melalui aplikasi Blynk di smartphone, yang kemudian menggerakkan relay untuk mengaktifkan atau mematikan pompa air pada bagian Aktuator.

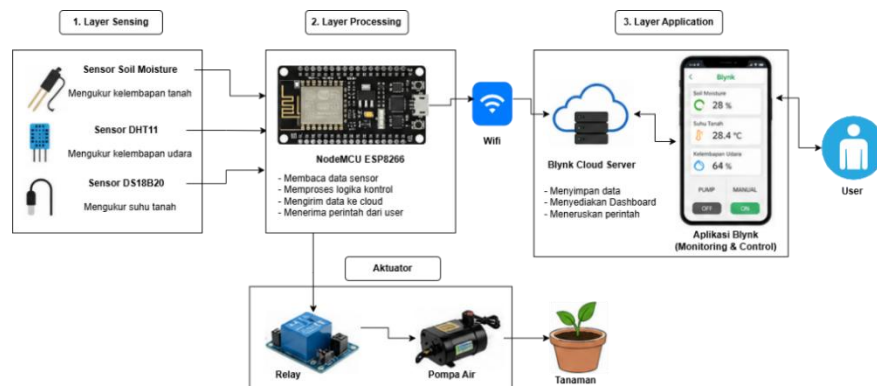
Flowchart Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Gambar 2 menunjukkan algoritma kontrol sistem yang diawali dengan inisialisasi komponen (Wi-Fi, Blynk,

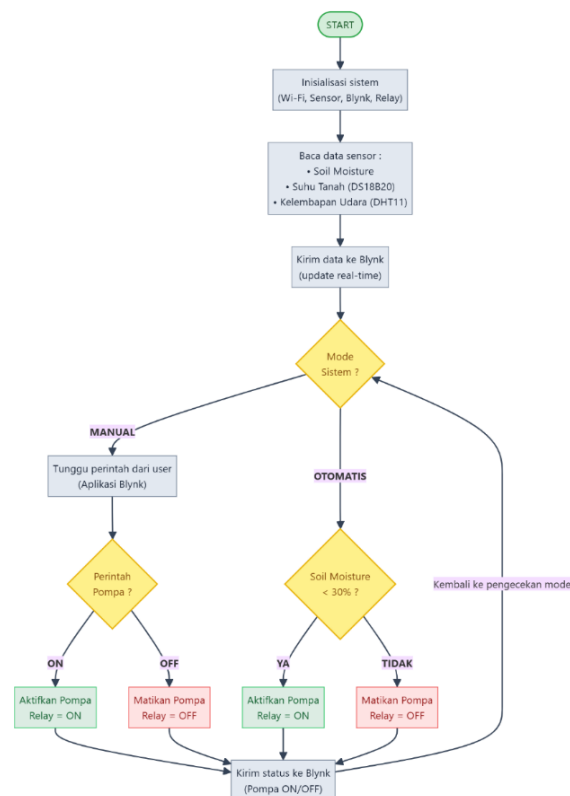
sensor, dan *relay*) serta pengiriman data multi-sensor secara *real-time*.

Sistem kemudian masuk ke pemilihan mode: mode manual mengeksekusi perintah ON/OFF dari pengguna via Blynk, sedangkan mode

otomatis mengaktifkan pompa secara mandiri jika *soil moisture* < 30%. Setelah tindakan dieksekusi, status terbaru pompa dikirim kembali ke Blynk, dan siklus kembali ke tahap pengecekan mode secara berulang.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT



Gambar 2. Flowchart Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Algoritma Kontrol Sistem

Sistem menerapkan *threshold-based control* otomatis yang mengaktifkan pompa saat kelembapan tanah < 30% dan mematikannya pada > 30% guna mencegah titik kritis stres air 19% (Fu et al., 2024), serta menjaga rentang optimal 50%–70% (Meilianto et al., 2022). Selain itu, fitur *manual override* via Blynk disediakan agar pengguna dapat mengendalikan pompa kapan saja secara independen. Pendekatan kombinasi ini dipilih karena efisien secara komputasi namun tetap responsif terhadap perubahan lingkungan.

Kalibrasi Sensor

Sebelum pengujian sistem, sensor dikalibrasi untuk memastikan akurasi: DS18B20 dibandingkan terhadap termometer digital standar, DHT11 terhadap alat ukur kelembapan referensi, dan sensor *soil moisture* dikalibrasi dengan menguji pada kondisi tanah kering dan basah untuk menentukan rentang nilai operasional.

Perhitungan untuk uji coba persentase *error* dilakukan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 1 dengan membandingkan nilai ukur sensor terhadap alat ukur standar. (Baskoro et al., 2021).

$$Error = \frac{|Nilai Referensi - Nilai Sensor|}{Nilai Referensi} \times 100\%$$

Selain persentase *error*, ketidakpastian pengukuran dievaluasi menggunakan selang kepercayaan (*confidence interval*) 95% terhadap nilai rata-rata *error*. Karena jumlah sampel relatif kecil ($n = 5$) dan simpangan baku populasi tidak diketahui, perhitungan menggunakan distribusi t-Student seperti pada Persamaan 2 (Montgomery and Runger, 2018).

$$CI = \bar{x} \pm t(\alpha/2, n-1) \times (s / \sqrt{n})$$

dengan $\bar{x}$ adalah rata-rata *error*, s simpangan baku sampel, n jumlah sampel, dan $t(\alpha/2, n-1)$ nilai kritis distribusi t pada derajat kebebasan $n-1$. Suku $s/\sqrt{n}$ merupakan *standard error of the mean* yang menyatakan ketidakpastian estimasi rata-rata. Untuk tingkat kepercayaan 95% dengan $n = 5$ digunakan $\alpha = 0,05$ dan $t(0,025; 4) = 2,776$. Selang kepercayaan ini menggambarkan rentang nilai yang, dengan keyakinan 95%, memuat rata-rata *error* sebenarnya dari sensor, di mana semakin sempit selang, semakin presisi estimasinya.

Skenario Pengujian

Evaluasi performa sistem dilakukan melalui empat tahap: (1) pengujian fungsional mode manual dan otomatis beserta respons pompa terhadap dinamika kelembapan; (2) validasi jarak kendali

pada rentang 1 meter hingga >600 meter via internet; (3) pengujian akurasi sensor untuk menghitung tingkat *error* DS18B20 dan DHT11 melalui lima kali pengukuran tiap sensor; serta (4) pengamatan respons sistem terhadap perintah yang dikirim dari aplikasi.

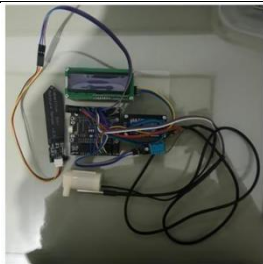
Lingkup dan Kondisi Pengujian

Pengujian sistem dilakukan pada bulan Juli 2025 di lingkungan rumah tinggal yang berlokasi di Bekasi. Objek uji yang digunakan adalah tanaman terong dengan kondisi lingkungan alami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Perangkat Keras

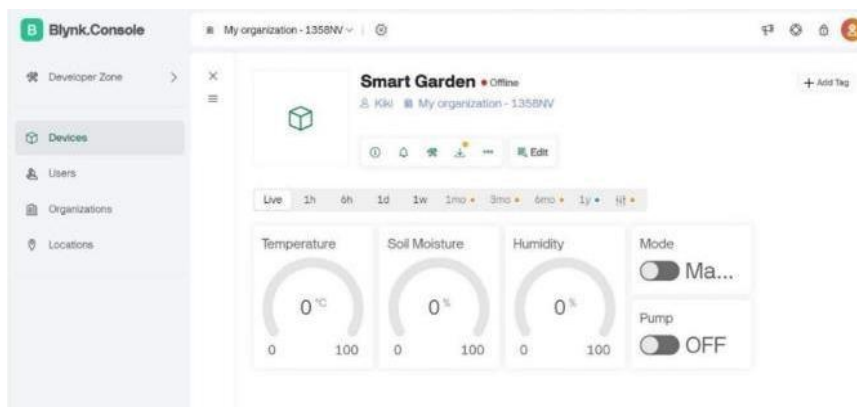
Hasil perancangan dari perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil perancangan pada gambar dibawah menunjukkan setiap sensor dan perangkat keras sudah saling terhubung. Penerapan sistem pada tanaman uji coba (terong) ditunjukkan pada Gambar 4. Tanaman terong digunakan sebagai objek uji coba karena terdapat banyak tanaman terong yang dibudidayakan oleh masyarakat di sekitar tempat tinggal.



Gambar 3. Perangkat Keras Sistem



Gambar 4. Implementasi pada Tanaman Terong



Gambar 5. Tampilan Antarmuka pada Aplikasi Blynk

Hasil Perancangan Perangkat Lunak

Gambar 5 menampilkan antarmuka Blynk yang menyediakan visualisasi data *real-time* melalui tiga indikator *gauge* utama (suhu, kelembapan tanah, dan kelembapan udara). Antarmuka ini juga dilengkapi fitur kontrol interaktif berupa *widget switch* untuk beralih mode operasional dan tombol kendali pompa manual berbasis internet. ‘

Mode Manual

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada mode manual sistem merespons perintah pengguna melalui Blynk secara konsisten pada seluruh jarak uji (1 meter hingga >600 meter) tanpa kegagalan eksekusi ON/OFF pompa, sehingga reliability fungsional tercatat 100% pada skenario pengujian terbatas. Hasil ini masih perlu divalidasi pada kondisi jaringan yang lebih bervariasi.

Evaluasi Fungsional Sistem

Tabel 3. Hasil Evaluasi Mode Manual

Jarak	Status Button	Pompa
1 Meter	ON	Menyala
	OFF	Mati
3 Meter	ON	Menyala
	OFF	Mati
5 Meter	ON	Menyala
	OFF	Mati
600 Meter	ON	Menyala
	OFF	Mati
>600 Meter	ON	Menyala
	OFF	Mati

Tabel 4. Hasil Evaluasi Mode Otomatis

Kelembapan	Suhu (°C)	Pompa
17 %	31	Menyiram
20 %	31	Menyiram
23 %	30	Menyiram
27 %	30	Menyiram
30 %	29	Tidak Menyiram
32 %	29	Tidak Menyiram
38 %	28	Tidak Menyiram
40 %	28	Tidak Menyiram
42 %	28	Tidak Menyiram

Mode Otomatis

Tabel 4 merupakan hasil evaluasi atau pengujian sistem pada mode otomatis. Sistem menunjukkan perilaku yang konsisten dalam merespons perubahan nilai kelembapan tanah. Pompa aktif ketika kelembapan $< 30\%$ dan berhenti saat $\geq 30\%$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi kondisi kekeringan tanah secara tepat serta transisi ON/OFF pompa terjadi tanpa *delay* yang signifikan secara observasional.

Pendekatan *threshold* ini terbukti efektif dalam menjaga kelembapan tanah pada rentang yang diinginkan, meskipun belum adaptif terhadap variasi kondisi lingkungan yang lebih kompleks.

Analisis Akurasi Sensor

Sensor Suhu DS18B20

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki rata-rata error sebesar 5,08% dengan rentang 3,12%–6,45%. Nilai ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan stabil untuk aplikasi pemantauan suhu tanah. Hasil kalibrasi sensor DS18B20 pada Tabel 6 menunjukkan mean error 5,08% dengan rentang 3.13%–6.45% dan standar deviasi 0.0179 (1.79%), yang mengindikasikan pembacaan stabil dan

konsisten di sekitar nilai rata-ratanya. Selang kepercayaan (confidence interval) 95% dihitung menggunakan distribusi t-Student ($t=2.776$; $df=4$) dengan standard error 0.80%, menghasilkan rentang 2.86%–7.30%. Selang yang relatif sempit ini memperkuat indikasi galat yang stabil, meskipun estimasinya masih dipengaruhi jumlah sampel yang terbatas ($n=5$). Akurasi ini sesuai dengan spesifikasi DS18B20 yang dirancang untuk pengukuran suhu berbasis kontak langsung dengan ketelitian $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Analog Devices, 2019), dan terbukti dapat diterapkan pada media tanah (Sari et al., 2016). Perbedaan kecil yang masih muncul dapat disebabkan oleh kedalaman penanaman sensor atau waktu respons yang membuat pembacaan cenderung tertinggal (Elyounsi and Kalashnikov, 2021; Wang et al., 2025). Namun secara keseluruhan, sensor DS18B20 dapat dikategorikan memiliki performa yang baik dan layak digunakan dalam sistem ini.

Sensor Kelembapan Udara DHT11

Hasil pengujian sensor DHT11 pada Tabel 7 menunjukkan rata-rata *error* sebesar 16,67%, dengan variasi *error* yang cukup tinggi. Rentang error dari 5% – 22,07% dan variasi yang cukup besar menunjukkan sensitivitas terhadap

lingkungan. Hal ini mengindikasikan bahwa DHT11 memiliki keterbatasan dalam akurasi, terutama pada kondisi lingkungan yang dinamis.

Tabel 5. Hasil Uji Coba Sensor DS18B20

Suhu Sensor (°C)	Standard Suhu (°C)	Error (%)
31	32	3.12
31	32	3.12
30	32	6.25
29	31	6.45
29	31	6.45
Rata – Rata		5.08

Tabel 6. Statistik Error Sensor DS18B20

Metric	Nilai
<i>Mean Error</i>	0.0508 (5.08%)
<i>Min Error</i>	0.0313
<i>Max Error</i>	0.0645
Std Dev	0.0179 (1.79%)
Standard Error (SEM)	0.0080 (0.80%)
95% Confidence Interval (n=5)	2.86% – 7.30%

Tabel 7. Hasil Uji Coba Sensor DHT11

Kelembapan Sensor (%)	Standard Kelembapan(%)	Error (%)
63	77	18.18
62	77	19.48
60	77	22.07
61	75	18.66
68	72	5
Rata - Rata		16.67

Tabel 8. Statistik Error Sensor DHT11

Metric	Nilai
<i>Mean Error</i>	0.1667 (16.67%)
<i>Min Error</i>	0.0500
<i>Max Error</i>	0.2207
Std Dev	0.0670 (6.70%)
Standard Error (SEM)	0.0300 (3.00%)
95% Confidence Interval (n=5)	8.36% – 25.00%

Hasil kalibrasi sensor DHT11 pada Tabel 8 menunjukkan mean error 16.67% dengan rentang 5%–22.07% dan standar deviasi 0.0670 (6.70%), yang mengindikasikan pembacaan kurang konsisten dan tersebar tidak merata di sekitar nilai rata-ratanya. Tingkat akurasi ini lebih rendah dibandingkan DS18B20,

sehingga untuk aplikasi yang menuntut presisi kelembapan lebih tinggi disarankan sensor berspesifikasi lebih baik seperti DHT22. Selang kepercayaan (confidence interval) 95% yang dihitung dengan distribusi t-Student (standard error 3.00%) berada pada rentang 8.36%–25.00%. Lebarnya selang ini, dibandingkan dengan DS18B20, secara kuantitatif menegaskan tingginya variabilitas pengukuran DHT11 sekaligus menunjukkan bahwa estimasi galat masih sensitif terhadap keterbatasan jumlah sampel ($n=5$).

Secara teoritis, DHT11 memiliki akurasi kelembapan relatif sekitar $\pm 5\%$ RH (Aosong Guangzhou Electronics, 2010), namun pada kondisi lapangan akurasinya dapat menurun akibat fluktuasi suhu dan faktor lingkungan sehingga memerlukan kalibrasi (Tiyas et al., 2025). Nilai error pada pengujian melebihi batas tersebut karena pengukuran kelembapan udara sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan dan dapat bervariasi dalam jarak yang sangat dekat, sehingga pembacaan di lokasi yang sama pun bisa berbeda (Rahmawati et al., 2025). Deviasi ini tidak berdampak signifikan terhadap kinerja sistem secara keseluruhan karena kelembapan udara bukan variabel utama dalam pengambilan keputusan penyiraman.

Analisis Kinerja Sistem

Respons Sistem

Secara kualitatif, sistem menunjukkan respons yang cepat terhadap perubahan nilai sensor dan perintah pengguna. Namun, pengukuran *delay* secara kuantitatif belum dilakukan, sehingga evaluasi performa *real-time* masih bersifat observasional. Sebagai acuan awal, arsitektur komunikasi yang digunakan (NodeMCU ESP8266–Blynk Cloud melalui Wi-Fi) pada kondisi jaringan yang stabil umumnya memberikan latensi respons pada orde sekitar satu detik dan dapat meningkat hingga beberapa detik pada jaringan yang lebih lambat, bergantung pada kualitas jaringan, beban *server cloud*, dan jarak ke titik akses (Laia and Nainggolan, 2025). Estimasi tersebut perlu diverifikasi melalui pengukuran kuantitatif dengan mencatat selisih waktu (*timestamp*) antara perintah yang dikirim dari aplikasi dan perubahan status *relay* pada mikrokontroler, yang menjadi salah satu agenda pengembangan lanjutan dari penelitian ini.

Estimasi Konsumsi Daya

Pengukuran konsumsi daya secara langsung belum dilakukan pada penelitian ini, sehingga karakteristik energi sistem

dibahas berdasarkan spesifikasi acuan komponen. Modul ESP8266 mengonsumsi arus rata-rata sekitar 80 mA pada mode operasi normal (Wi-Fi aktif) dengan lonjakan hingga sekitar 200 mA saat transmisi, dan dapat turun hingga orde mikroampere pada mode *deep sleep* (Espressif Systems, 2014). Konsumen daya terbesar lain pada sistem adalah pompa DC dan modul *relay*, yang hanya aktif secara intermiten ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas, sehingga konsumsi daya total bersifat dinamis dan bergantung pada durasi penyiraman. Karena sistem dirancang untuk beroperasi terus-menerus dengan catu daya tetap (bukan baterai), efisiensi daya bukan kendala kritis pada implementasi saat ini. Meskipun demikian, pengukuran daya secara empiris menggunakan modul sensor arus (misalnya INA219 atau ACS712) direkomendasikan untuk pengembangan versi hemat energi yang berbasis baterai atau tenaga surya, dan menjadi bagian dari rencana pengujian lanjutan.

Reliability Sistem

Berdasarkan pengujian terbatas tidak ditemukan kegagalan dalam eksekusi kontrol dan sistem mampu mempertahankan konektivitas selama

pengujian. Namun demikian, pengujian ini masih terbatas dan belum mencakup kondisi jaringan tidak stabil dan penggunaan jangka panjang.

Efisiensi Logika Kontrol

Pendekatan *threshold* pada logika kontrol sistem ini memiliki sejumlah keunggulan, yaitu sederhana, ringan secara komputasi, dan mudah diimplementasikan, sehingga cocok diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler dengan sumber daya terbatas. Namun demikian, pendekatan ini juga memiliki keterbatasan karena bersifat tidak adaptif dan tidak mempertimbangkan faktor-faktor kontekstual seperti jenis tanaman, suhu lingkungan, maupun kondisi cuaca, sehingga keputusan penyiraman hanya didasarkan pada satu nilai batas tetap tanpa menyesuaikan diri dengan kondisi yang berubah-ubah di lapangan.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Sistem ini memiliki dua pembeda utama yang sejalan dengan kebaruan yang diajukan. Pertama, integrasi tiga parameter zona perakaran (kelembapan tanah, suhu tanah, dan kelembapan udara) dalam satu kerangka kendali dua mode

(manual dan otomatis), yaitu fleksibilitas dan cakupan parameter yang belum dimiliki rancangan Gautama dan Sudibyo (2023), Novianto et al. (2021), maupun Syharani et al. (2026). Kedua, penelitian ini menyajikan evaluasi akurasi sensor secara statistik melalui galat, standar deviasi, dan selang kepercayaan 95%, sehingga keandalan tiap sensor dapat dinilai secara kuantitatif sebelum dipakai dalam pengambilan keputusan kontrol. Secara fungsional, sistem dikendalikan berbasis IoT tanpa batasan jarak fisik, berbeda dengan sistem lokal Arduino milik Ridwan (2021), dan menyajikan data secara *real-time* melalui Blynk, dibanding antarmuka berbasis teks pada penelitian Latif (2021). Namun pendekatan berbasis ambang (*threshold*) di sini masih kurang adaptif dibandingkan metode *fuzzy logic* Novianto et al. (2021) dalam menangani lingkungan dinamis.

Keterbatasan Penelitian

Sistem pada penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian akurasi sensor hanya menggunakan lima titik pengukuran ($n = 5$) per sensor tanpa uji jangka panjang, sehingga selang kepercayaan 95% cenderung lebar dan estimasi galat masih bersifat awal. Model kontrol berbasis *threshold* statis belum

mampu beradaptasi terhadap lingkungan yang dinamis. *Latency* jaringan dan konsumsi daya belum diukur secara langsung dan baru dibahas secara teoritis berdasarkan arsitektur komunikasi serta spesifikasi datasheet komponen. Pengujian juga baru dilakukan pada satu jenis tanaman, yaitu terong, sehingga generalisasinya masih memerlukan penelitian lanjutan.

Implikasi Penelitian

Penelitian ini memberikan dua implikasi utama. Secara praktis, sistem membuktikan bahwa otomasi penyiraman multi-parameter berbiaya rendah dengan kendali dua mode layak diterapkan pada skala rumah tangga dan pertanian kecil. Secara metodologis, penyajian akurasi sensor secara statistik (galat, standar deviasi, dan selang kepercayaan) menyediakan kerangka evaluasi yang dapat direplikasi untuk menilai keandalan sensor sebelum digunakan dalam pengambilan keputusan kontrol. Pengembangan ke skala lebih besar atau lingkungan yang dinamis dapat diarahkan pada pendekatan adaptif seperti *fuzzy logic* atau *machine learning*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan integrasi tiga parameter lingkungan, yaitu kelembapan tanah, suhu tanah, dan kelembapan udara, serta kendali dua mode (otomatis berbasis parameter lingkungan dan manual melalui aplikasi Blynk). Pengujian menunjukkan seluruh komponen terintegrasi dan bekerja sinkron untuk monitoring dan kontrol secara real-time. Evaluasi akurasi menghasilkan rata-rata error 5,08% pada sensor DS18B20 dan 16,67% pada DHT11, dengan deviasi DHT11 yang tidak berdampak signifikan karena keputusan kontrol utama berbasis kelembapan tanah. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penggabungan integrasi multi-parameter dan dual-mode control dengan evaluasi akurasi sensor secara statistik (galat, standar deviasi, dan selang kepercayaan 95%), yang masih jarang disajikan secara kuantitatif pada penelitian sejenis. Hasil ini bersifat awal mengingat jumlah sampel pengujian yang terbatas, sehingga membuka peluang pengembangan menuju sistem irigasi cerdas yang lebih adaptif dan teruji pada skala yang lebih luas.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah sampel pengujian dan melakukan pengujian jangka panjang agar evaluasi akurasi sensor lebih kuat secara statistik dan keandalan operasional dapat dipastikan. Pengukuran *latency* jaringan dan konsumsi daya secara empiris juga perlu dilakukan, misalnya melalui pencatatan selisih waktu antara perintah dan eksekusi serta penggunaan sensor arus seperti INA219 atau ACS712, sehingga efisiensi teknis sistem dapat dinilai secara menyeluruh. Akurasi sensor dapat ditingkatkan dengan komponen berspesifikasi lebih tinggi, misalnya mengganti DHT11 dengan DHT22, sementara cakupan pengujian diperluas ke berbagai jenis tanaman dengan mempertimbangkan faktor eksternal seperti intensitas cahaya dan curah hujan. Pendekatan kontrol yang lebih adaptif seperti *fuzzy logic* atau *machine learning* perlu diintegrasikan untuk meningkatkan akurasi pengambilan keputusan secara otomatis. Pengembangan tersebut diharapkan menjadikan sistem ini solusi manajemen irigasi cerdas yang lebih presisi, efisien, dan aplikatif pada skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Analog Devices, 2019. DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer (Datasheet) [WWW Document]. URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> (accessed 5.27.26).
- Aosong Guangzhou Electronics, 2010. Temperature and Humidity Module DHT11 Product Manual. Guangzhou.
- Ariyanto, D.P., Qudsi, Z.A., Sumani, Dewi, W.S., Rahayu, Komariah, 2021. The dynamic effect of air temperature and air humidity toward soil temperature in various lands cover at KHDTK Gunung Bromo, Karanganyar-Indonesia. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 724. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012003>
- Baskoro, F., Ivory, R.A., Kholis, N., Baskoro, F., Nurhayati, . . , 2021. Review Penggunaan Sensor Suhu Terhadap Respon Pembacaan Skala pada Inkubator Bayi. JURNAL TEKNIK ELEKTRO 10, 185–194. <https://doi.org/10.26740/JTE.V10N1.P185-194>
- Elyounsi, A., Kalashnikov, A.N., 2021. Evaluating Suitability of a DS18B20 Temperature Sensor for Use in an Accurate Air Temperature Distribution Measurement Network. Engineering Proceedings 2021, Vol. 10, Page 56 10, 56. <https://doi.org/10.3390/ECSA-8-11277>
- Espressif Systems, 2014. ESP8266EX Datasheet | Espressif Documentation [WWW Document]. URL https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.html?q=E SP8266EX (accessed 6.5.26).
- Fatimah, S., Sutanto, Sutoyo, M.R., Zahra, M., Heri Mulyati, A., Warnasih, S., 2024. Penerapan Sistem Irigasi Tetes untuk Memaksimalkan Penggunaan Air bagi Petani Desa Kalong Liud. Jurnal Abdimas Kartika Wijayakusuma 5, 890–899. <https://doi.org/10.26874/JAKW.V5I3.548>
- Fibriana, R., Ginting, Y.S., Ferdiansyah, E., Mubarak, S., 2018. Analisis Besar Atau Laju Evapotranspirasi pada Daerah Terbuka. Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian 2, 130–137. <https://doi.org/10.31289/AGR.V2I2.1626>
- Fu, Z., Ciais, P., Wigneron, J.P., Gentine, P., Feldman, A.F., Makowski, D., Viovy, N., Kemanian, A.R., Goll, D.S., Stoy, P.C., Prentice, I.C., Yakir, D., Liu, L., Ma, H., Li, Xiaojun, Huang, Y., Yu, K., Zhu, P., Li, Xing, Zhu, Z., Lian, J., Smith, W.K., 2024. Global critical soil moisture thresholds of plant water stress. Nat. Commun. 15. <https://doi.org/10.1038/S41467-024-49244-7>
- Gautama, G.D., Sudibyo, N.H., 2023. Rancang Bangun Sistem Pintu Irigasi Otomatis. Jurnal RESTIKOM: Riset Teknik Informatika dan Komputer 5, 494–504. <https://doi.org/10.52005/RESTIKOM.V5I3.255>
- Karamina, H., Fikrinda, W., Murti, A.T., 2017. Kompleksitas pengaruh temperatur dan kelembaban tanah terhadap nilai pH tanah di perkebunan jambu biji varietas kristal (Psidium guajava l.) Bumiaji, Kota Batu. Kultivasi 16. <https://doi.org/10.24198/KULTIVA.SI.V16I3.13225>
- Kustanto, P., Khalil Ramadhan, B., Noe, A., Jakarta Raya, B., Raya

- Perjuangan, J., 2024. Penerapan Metode Prototype dalam Perancangan Media Pembelajaran Interaktif. *Journal of Students' Research in Computer Science* 5, 83–94. <https://doi.org/10.31599/6X0DFZ47>
- Laia, J., Nainggolan, W.P., 2025. Sistem Pengontrol Kecepatan Mobil Ambulans Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP8266. *MEANS (Media Informasi Analisa dan Sistem)* 10(1), 59–63.
- Latif, N., 2021. Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Sensor Suhu. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Al Asyariah Mandar* 7, 16–20. <https://doi.org/10.35329/JIIK.V7I1.180>
- Meilianto, W.D., Indrasari, W., Budi, E., 2022. Karakterisasi Sensor Suhu dan Kelembaban Tanah untuk Aplikasi Sistem Pengukuran Kualitas Tanah. *Joint Prosiding IPS dan Seminar Nasional Fisika* 10. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2022.01.FA.16>
- Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2018. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 7th ed. Wiley, Hoboken, NJ.
- Novianto, A.D., Farida, I.N., Sahertian, J., 2021. Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)* 5, 315–320. <https://doi.org/10.29407/INOTEK.V5I1.974>
- Nugroho, I.E., Kurnia, T.D., 2025. Pengaruh Frekuensi Penyiraman Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Sawi Pakcoy (*Brassica rapa subsp.chinensis*). *AGRORADIX : Jurnal Ilmu Pertanian* 8, 175–184. <https://doi.org/10.52166/AGROTEKNOLOGI.V8I1.9624>
- Rahmawati, Y., Zuchriadi, A., Wahyudyan, D.W., 2025. Development of a Prototype System for Monitoring and Controlling Cat Care Based on the Internet of Things. *JOURNAL OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATION ENGINEERING* 8, 129–151. <https://doi.org/10.31289/JITE.V8I2.14131>
- Ridwan, M., 2021. Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan* 4, 30–33. <https://doi.org/10.59061/JSIT.V4I2.92>
- Sari, D.V., Surtono, A., Warsito, W., 2016. Sistem Pengukuran Suhu Tanah Menggunakan Sensor DS18B20 dan Perhitungan Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* 4. <https://doi.org/10.23960/JTAF.V4I1.106>
- Syharani, N., Bintan, S., Nadila, P., Apdillah, D., Informatika, T., Asahan, U., Jenderal Ahmad Yani, J., Kab Asahan, K., Utara, S., 2026. Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP8266: Penelitian. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan* 4, 21223–21228. <https://doi.org/10.31004/JERKIN.V4I3.5627>
- Tiyas, A.W., Erwanto, D., Yanuartanti, I., 2025. Peningkatan Akurasi Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 dengan Kalibrasi Suhu Berbasis IoT pada Platform Thingspeak. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia* 5, 625–633. <https://doi.org/10.52436/1.JPTI.709>

Wang, Y., Wu, J., Zhang, J. yun, Guan, T.,
Wang, G., Jin, J., Wang, Z., 2025.
Depth distributions of soil
temperature: Seasonal sensitivity
and simulation across

dryness/wetness conditions. Agric.
Water Manag. 316, 109571.
[https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.
2025.109571](https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2025.109571)