

Rancang Bangun Sistem Penyiraman Otomatis Dan Pengendalian Atap Pada Pembibitan Cabai Merah Keriting Berbasis Arduino

Edy Irawansyah^{1*)}, Nina Paramytha²

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains Teknologi Universitas Bina Darma, Jalan Jendral Ahmad Yani No.3, 9/10 Ulu, Seberang, 9 Ulu, Seberang Ulu I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30264, Indonesia

*Penulis Rekomendasi, e-mail: edyirwnsyh@gmail.com

Received:21/07/2026

Revised:24/08/2026

Accepted:21/09/2026

ABSTRAK

Penyiraman otomatis pada pembibitan memerlukan hubungan yang jelas antara pembacaan media, kondisi lingkungan, dan keputusan aktuator. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi fungsi awal sistem penyiraman serta pengendalian atap untuk bibit cabai merah keriting. Prototipe berukuran 1 m × 0,5 m × 0,5 m menggunakan Arduino Uno, sensor kelembapan tanah, sensor hujan, LDR, sensor water level, pompa, motor atap, dan LCD. Evaluasi mencakup sepuluh pengamatan penyiraman per jam, empat pengamatan lingkungan, empat catatan durasi gerak atap, dan neraca air 16 hari. Pembacaan media berada pada 320–740; penyiraman tercatat pada 740 pukul 13.00 dan 710 pukul 16.00. Pada pengamatan berikutnya, nilai turun masing-masing 310 dan 250 satuan pembacaan. Angka sensor belum dinyatakan sebagai persentase kadar air karena kalibrasi tidak tersedia. Durasi gerak atap dicatat 1,24 s, tetapi status atap pada kondisi gelap dan kembali cerah belum konsisten antartabel. Kapasitas 32 L pada penggunaan tetap 2 L/hari menghasilkan durasi hitung 16 hari; asal pengukuran konsumsi belum tervalidasi. Hasil mendukung evaluasi fungsional awal, sedangkan akurasi, keandalan keputusan, penghematan air, dan manfaat agronomis memerlukan pengujian tambahan.

Kata Kunci: *Arduino, cabai merah keriting, kelembapan tanah, pembibitan, penyiraman otomatis.*

ABSTRACT

Automatic irrigation in seedling nurseries requires a clear relationship between medium readings, environmental conditions, and actuator decisions. This study develops and evaluates the initial functionality of an irrigation and roof-control prototype for curly red chili seedlings. The 1 m × 0.5 m × 0.5 m prototype uses an Arduino Uno, a soil moisture sensor, a rain sensor, an LDR, a water-level sensor, a pump, a roof motor, and an LCD. Evaluation includes ten hourly irrigation observations, four environmental observations, four roof-motion records, and a 16-day water balance. Medium readings ranged from 320 to 740; irrigation was recorded at 740 at 13:00 and 710 at 16:00. The following observations showed decreases of 310 and 250 reading units, respectively. Sensor values are not expressed as water-content percentages because calibration is unavailable. Roof motion was recorded as 1.24 s, but roof states under dark and returning-bright conditions are inconsistent across the tables. A 32 L supply at a constant 2 L/day yields a calculated duration of 16 days; the measurement basis of water consumption remains unvalidated. The results support initial functional evaluation, whereas accuracy, decision reliability, water savings, and agronomic benefits require additional testing.

Keywords: *Arduino, curly red chili, soil moisture, nursery, automatic irrigation.*



1. PENDAHULUAN

Pengendalian penyiraman pada pembibitan memerlukan informasi kondisi media agar aktivasi pompa tidak hanya bergantung pada jadwal tetap. Rosyid, Rozaq, dan Gunawan [1] mengembangkan pemantauan kelembapan tanah dan penyiraman otomatis berbasis website untuk bibit cabai. Pendekatan ini menunjukkan peran sensor dan mikrokontroler dalam otomatis pemberian air. Kajian smart irrigation juga menunjukkan bahwa sensor kelembapan, pengendali, dan aktuator merupakan elemen utama dalam penentuan keputusan irigasi berbasis kondisi aktual [6], [9]. Namun, penerapan pada suatu prototipe tetap memerlukan penjelasan satuan sensor, batas keputusan, dan respons aktuator agar hasil pengujiannya dapat ditelusuri.

Wahid, Maulindar, dan Pradana [2] mengembangkan penyiraman aglonema berbasis ESP32 dan Blynk dengan sensor kelembapan tanah, DHT22, relay, dan pompa. Pemantauan melalui jaringan memperluas akses informasi, tetapi berbeda dari validasi ketepatan sensor. Chowdhury, Sen, dan Janardhanan [3] membandingkan sensor kelembapan resistif dan kapasitif melalui kalibrasi terhadap kadar air gravimetrik dan volumetrik. Studi lain menegaskan bahwa sensor kelembapan berbiaya rendah memerlukan kalibrasi terhadap media atau metode referensi sebelum nilai keluarannya ditafsirkan sebagai kadar air [7], [11]. Dalam pengendalian rumah kaca, Chen dkk. [4] membahas pengaturan beberapa parameter lingkungan, termasuk cahaya dan kelembapan. Otomasi rumah kaca pada umumnya juga mengintegrasikan pemantauan lingkungan dengan aktuator seperti irigasi, ventilasi, atau mekanisme bukaan, sehingga pengendalian pompa perlu dibedakan dari pengendalian atap [10].

Publikasi Faiz, Irawansyah, dan Paramytha IS [5] juga melaporkan sistem pembibitan cabai dengan sensor kelembapan, hujan, cahaya, dan ketersediaan air serta mekanisme atap. Arsitektur smart irrigation dan greenhouse yang mengintegrasikan beberapa sensor, pengendali, serta aktuator telah banyak dilaporkan [6], [9], [10]. Oleh karena itu, penggunaan beberapa sensor dan Arduino saja tidak cukup sebagai klaim kebaruan. Fokus teknis naskah ini adalah menelaah keterkaitan antara pembacaan media, kondisi lingkungan, dan status aktuator melalui data pengamatan yang tersedia. Cakupan kontribusi dibatasi pada implementasi dan evaluasi fungsional prototipe; keunggulan algoritma, penghematan air, dan manfaat agronomis belum dibuktikan.

Tujuan penelitian adalah merancang prototipe dan mengevaluasi pola pembacaan media serta keputusan penyiraman, pengamatan pencahayaan dan posisi atap, durasi gerak atap, dan neraca ketersediaan air. Evaluasi diarahkan pada data yang dapat ditelusuri, termasuk ketidaksesuaian yang masih memerlukan konfirmasi. Dokumentasi ini tidak dimaksudkan untuk mengklaim akurasi sensor atau peningkatan efisiensi tanpa pengujian pembandingan.

2. METODE PENELITIAN

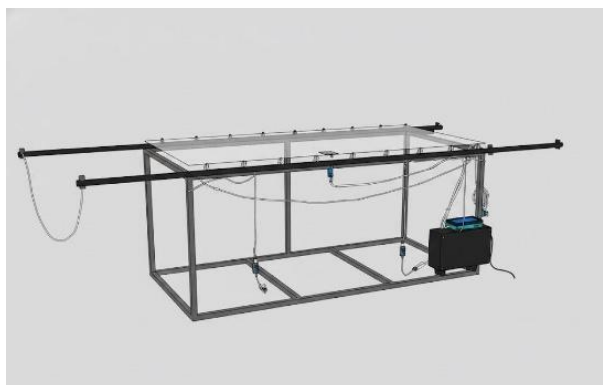
2.1 Perencanaan Alat

Penelitian menggunakan pendekatan rancang bangun dan evaluasi fungsional pada skala prototipe. Lokasi penerapan adalah halaman rumah berukuran 4 m × 4 m. Prototipe memiliki panjang 1 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,5 m, dengan struktur akrilik transparan menyerupai rumah kaca mini. Bibit cabai merah keriting menjadi konteks penerapan. Jumlah dan umur bibit serta karakteristik media belum tercantum dalam dokumentasi pengujian, sehingga generalisasi terhadap kebutuhan air tanaman dibatasi.

2.2 Rancangan Mekanis dan Arsitektur Sistem

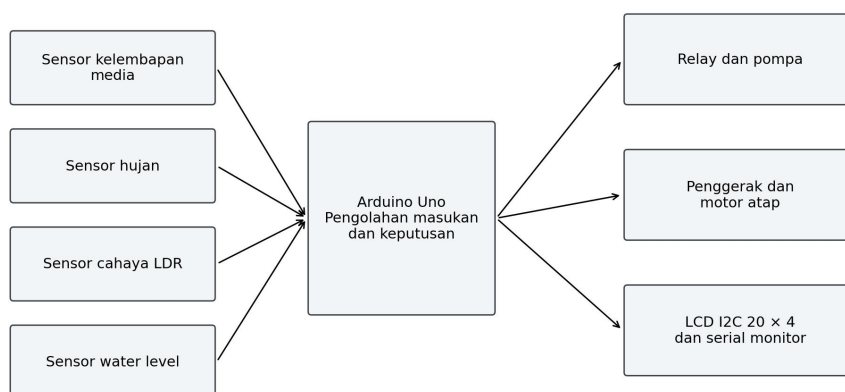
Rancangan mekanis pada Gambar 1 menyediakan ruang media tanam, jalur selang penyiraman, dan mekanisme atap bergerak. Realisasi perangkat ditampilkan dalam Tabel 1. Dokumentasi tersebut digunakan untuk menelusuri penempatan komponen, sedangkan evaluasi kinerja disajikan terpisah pada bagian hasil.





Gambar 1: Rancangan mekanis prototipe pembibitan

Sistem mencakup Arduino Uno, sensor kelembapan tanah, sensor hujan, LDR, sensor water level, relay, pompa air, motor penggerak atap, serta LCD I2C 20 × 4. Sensor water level disebut sebagai pemantau ketersediaan air. Hubungan fungsional masukan dan keluaran dirangkum pada Gambar 2. Jenis penggerak dan batas operasi motor, fungsi pengaman saat air habis, serta model seluruh sensor masih memerlukan dokumentasi teknis.



Gambar 2: Arsitektur fungsional masukan, pengendali, dan keluaran

2.3 Cara Kerja dan Logika Penyiraman

Rancangan menyatakan bahwa penyiraman diizinkan ketika media kering dan sensor hujan menyatakan tidak hujan, yang dikodekan sebagai $\text{rainValue} = 1$. Angka ambang 40% dalam uraian awal belum dapat digunakan untuk mereplikasi algoritma karena persamaan kalibrasinya tidak disertakan, sedangkan hasil dilaporkan pada skala 200–900. Revisi ini mempertahankan angka pengamatan sebagai nilai pembacaan tanpa satuan, bukan persentase dan belum ditetapkan sebagai nilai ADC. Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan kalibrasi sensor kelembapan berbiaya rendah sebelum pembacaan mentah dipetakan ke kadar air media [7], [11]. Parameter ambang yang benar harus ditelusuri dari program asli dan proses kalibrasi.

LCD I2C 20 × 4 dan serial monitor digunakan sebagai antarmuka pemantauan dan pemeriksaan status sistem. Klaim pemantauan suhu tidak digunakan dalam evaluasi karena sensor suhu dan hasil ukurnya tidak dijelaskan. Logika atap melibatkan kondisi lingkungan yang tercatat, tetapi pemetaan masukan ke status buka/tutup belum dapat dipastikan akibat perbedaan antara dua tabel hasil. Sensor hujan dan sensor water level diperlakukan sebagai dua fungsi berbeda sesuai dokumentasi, bukan sebagai komponen yang dapat dipertukarkan.

Siklus pembacaan dan eksekusi program dilaporkan berulang setiap 3000 ms atau 3 s. Interval program ini berbeda dari jarak satu jam antar-pencatatan pada Tabel 5 dan berbeda pula dari durasi gerak atap 1,24 s. Interval 3 s tidak dengan sendirinya membuktikan waktu respons sistem, karena penundaan deteksi, pengolahan, dan gerak aktuator belum diukur secara terpisah.

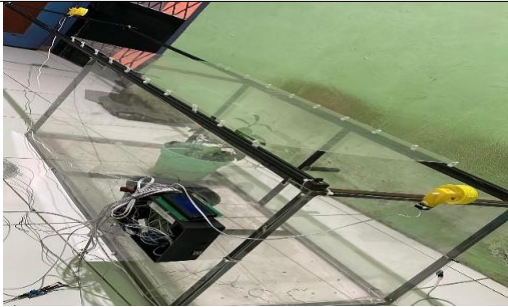
Ringkasan logika penyiraman berikut merupakan rekonstruksi deskriptif dari syarat yang dilaporkan, bukan salinan firmware. Fungsi klasifikasi media dan aturan atap belum dapat dilengkapi secara numerik sebelum program asli tersedia.

1. Baca nilai sensor media dan rainValue pada setiap siklus.
2. Tentukan kategori media menggunakan ambang yang harus dikonfirmasi.
3. Jika media kering DAN rainValue = 1, berikan perintah pompa ON.
4. Selain kondisi tersebut, berikan perintah pompa OFF.
5. Pantau LDR dan level air; aturan atap serta pengaman air kosong perlu konfirmasi.
6. Perbarui tampilan dan ulangi siklus dengan interval yang dilaporkan, yaitu 3 s.

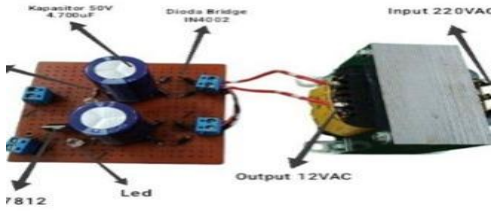
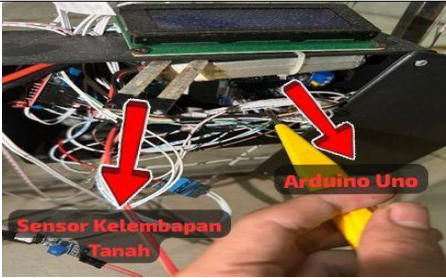
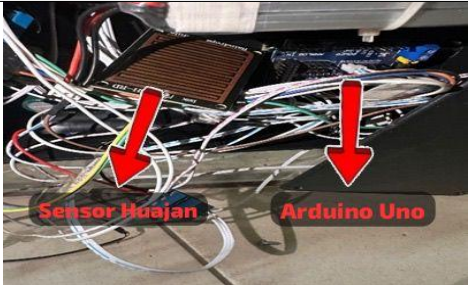
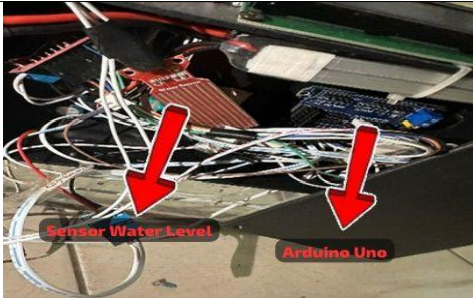
2.4 Pemasangan Alat

Pemasangan dilakukan pada rangka prototipe dengan menempatkan pengendali dan rangkaian catu dalam kotak panel, menghubungkan sensor ke Arduino Uno, serta memasang relay, pompa, selang, dan LCD. Tabel 1 mempertahankan dokumentasi pemasangan asli. Foto komponen memperlihatkan realisasi perangkat, tetapi tidak menggantikan skematik pin, spesifikasi tegangan, atau hasil pengukuran rangkaian..

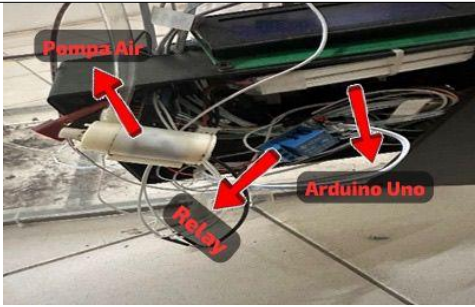
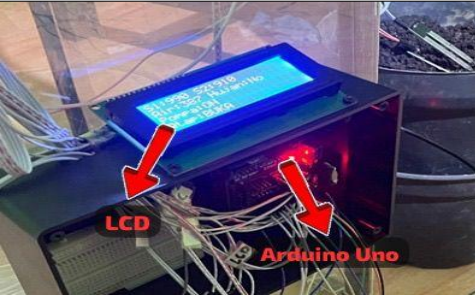
TABEL I : DOKUMENTASI PEMASANGAN KOMPONEN PROTOTIPE

	Rak pembibitan
	Arduino Uno pada kotak panel



	Rangkaian catu daya
	Sensor kelembapan tanah
	Sensor hujan
	Sensor water level
	Relay



	Pompa air dan selang penyiraman
	LCD I2C 20 x 4

2.5 Data dan Prosedur Evaluasi

Analisis penyiraman menggunakan sepuluh pasangan waktu–nilai sensor–status penyiraman pada pukul 08.00 sampai 17.00. Angka sebelum dan sesudah catatan penyiraman dibandingkan sebagai selisih pembacaan, tanpa mengubahnya menjadi kadar air. Empat catatan lingkungan dan empat catatan pergerakan atap dibandingkan untuk menilai konsistensi keputusan, bukan dianggap sebagai pengulangan pada kondisi yang identik. Neraca air diperiksa melalui hubungan kapasitas awal, penggunaan harian, dan sisa air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi dibatasi pada data yang tersedia: kategori pembacaan media, sepuluh pengamatan penyiraman per jam, empat pengamatan lingkungan, empat catatan gerak atap, serta pencatatan neraca air 16 hari. Kelima kelompok tersebut tidak diperlakukan sebagai pengulangan eksperimen yang setara. Pengamatan fungsional dibedakan dari pengujian akurasi terhadap alat referensi dan dari validasi pertumbuhan tanaman. Dokumentasi titik uji kelistrikan mencakup TP1 sumber PLN, TP2 transformator, TP3 kapasitor, TP4 Arduino Uno, TP5 sensor kelembapan, TP6 LDR, TP7 relay/pompa, TP10 motor, dan TP11 LCD.



3.1 Dokumentasi Pengujian Kelistrikan

Naskah awal menyatakan bahwa pengukuran dilakukan lima kali, tetapi tidak menyertakan lima nilai individual pada setiap titik uji. Oleh karena itu, rata-rata, simpangan baku, dan galat terhadap referensi belum dapat dihitung. Persamaan yang sebelumnya tidak diikuti hasil numerik dihapus. Keberadaan komponen pada foto pemasangan tidak digunakan untuk menyatakan bahwa tegangannya sesuai datasheet atau bahwa sensornya akurat.

3.2 Pengujian Kelembapan Media

TABEL II : KATEGORI PEMBACAAN MEDIA DAN STATUS POMPA YANG DILAPORKAN

NO	Nilai sensor ¹	Kondisi Tanah	Status Pompa	Keterangan
1	200 - 300	Basah	OFF	Tidak Menyiram
2	400 - 500	Lembap	OFF	Tidak Menyiram
3	700 - 900	Kering	ON	Menyiram

Tabel 2 menunjukkan pompa tidak aktif pada rentang 200–300 dan 400–500, serta aktif pada 700–900. Arah perubahan tersebut menunjukkan bahwa angka lebih besar berkaitan dengan kategori lebih kering dalam pencatatan ini.

3.3 Pencahayaan dan Kondisi Lingkungan

TABEL III : PENGAMATAN LINGKUNGAN, ILUMINANSI, DAN STATUS ATAP

NO	Kondisi Cuaca	Iluminansi tercatat (lx)	Status Atap
1	Pagi 08:00	1098	Terbuka
2	Siang ¹	4694	Terbuka
3	Malam 20:00	1	Tertutup
4	Hujan + Cerah	3089	Tertutup

Tabel 3 mencatat iluminansi 1098 lx pada pagi hari, 4694 lx pada siang hari, 1 lx pada malam hari, serta 3089 lx saat hujan disertai cerah. Nilai siang lebih tinggi daripada pagi, sehingga pernyataan bahwa lux menurun ketika cahaya meningkat tidak sesuai dengan data. Lux (lx) merupakan satuan iluminansi, bukan nama sensor atau persentase. Sumber nilai lx, persamaan konversi LDR, dan instrumen referensi tidak dijelaskan; data tersebut belum dapat dipakai menghitung akurasi LDR. Atap terbuka pada 1098 dan 4694 lx, tetapi tertutup pada 3089 lx saat hujan disertai cerah. Pola ini memungkinkan adanya pengaruh sensor hujan.

3.4 Neraca Ketersediaan Air

TABEL IV : PENCATATAN NERACA AIR DENGAN PENGGUNAAN TETAP 2 L/HARI

Hari Ke -	Penyiraman Per Hari	Total Penyiraman	Penggunaan Air/Hari	Sisa Air
-----------	---------------------	------------------	---------------------	----------



Hari Ke -	Penyiraman Per Hari	Total Penyiraman	Penggunaan Air/Hari	Sisa Air
1	2 Kali	2 Kali	2 L	30 L
2	2 Kali	4 Kali	2 L	28 L
3	2 Kali	6 Kali	2 L	26 L
4	2 Kali	8 Kali	2 L	24 L
5	2 Kali	10 Kali	2 L	22 L
6	2 Kali	12 Kali	2 L	20 L
7	2 Kali	14 Kali	2 L	18 L
8	2 Kali	16 Kali	2 L	16 L
9	2 Kali	18 Kali	2 L	14 L
10	2 Kali	20 Kali	2 L	12 L
11	2 Kali	22 Kali	2 L	10 L
12	2 Kali	24 Kali	2 L	8 L
13	2 Kali	26 Kali	2 L	6 L
14	2 Kali	28 Kali	2 L	4 L
15	2 Kali	30 Kali	2 L	2 L
16	2 Kali	32 Kali	2 L	0 L

Tabel 4 memperlihatkan pola yang tepat mengikuti sisa air $V(d) = 32 - 2d$ liter untuk hari ke-d, dengan dua penyiraman per hari. Secara aritmetis, kapasitas 32 L dibagi 2 L/hari menghasilkan 16 hari, sedangkan 2 L dibagi dua penyiraman menghasilkan 1 L per penyiraman sebagai nilai tersirat. Lama 16 hari hanya berlaku jika penggunaan tetap 2 L/hari, tanpa pengisian ulang atau kehilangan air lainnya.

3.5 Pengamatan Penyiraman per Jam

TABEL V : PEMBACAAN MEDIA DAN STATUS PENYIRAMAN PER JAM

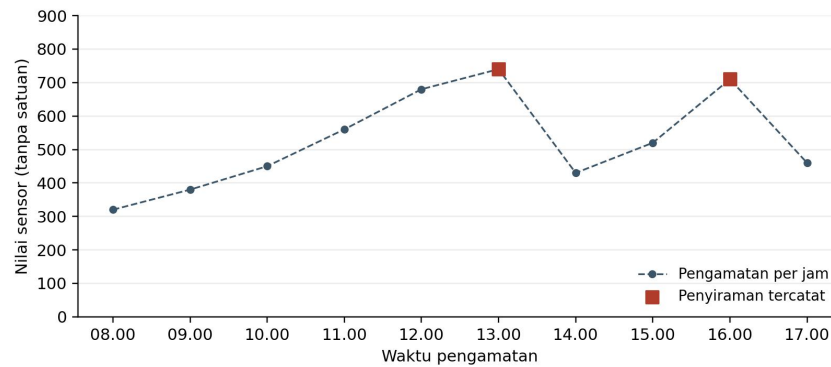
NO	Waktu	Nilai sensor ¹	Kondisi Tanah	Penyiraman
320				
1	08.00		Sangat Lembap	Tidak Menyiram



NO	Waktu	Nilai sensor ¹	Kondisi Tanah	Penyiraman
2	09.00	380	Sangat Lembap	Tidak Menyiram
3	10.00	450	Lembap	Tidak Menyiram
4	11.00	560	Lembap	Tidak Menyiram
5	12.00	680	Lembap	Tidak Menyiram
6	13.00	740	Kering	Menyiram
7	14.00	430	Lembap	Tidak Menyiram
8	15.00	520	Lembap	Tidak Menyiram
9	16.00	710	Kering	Menyiram
10	17.00	460	Lembap	Tidak Menyiram

Tabel 5 dan Gambar 3 menunjukkan sepuluh pembacaan antara pukul 08.00–17.00, dengan rentang 320–740. Penyiraman tercatat pada pukul 13.00 dengan nilai 740 dan pukul 16.00 dengan nilai 710; delapan pengamatan lainnya tidak menyiram. Setelah catatan penyiraman pertama, nilai pada pengamatan berikutnya turun dari 740 menjadi 430, yaitu 310 satuan pembacaan. Setelah catatan kedua, nilai turun dari 710 menjadi 460, yaitu 250 satuan pembacaan. Pola penurunan sesuai arah perubahan menuju media lebih lembap dalam pencatatan, tetapi tidak mengukur peningkatan kadar air persentase.





Gambar 3: Pembacaan per jam; garis putus-putus hanya penghubung pengamatan

3.6 Durasi Gerak dan Konsistensi Atap

TABEL VI : CATATAN DURASI GERAK DAN STATUS ATAP

NO	Kondisi Pengujian	Durasi gerak (s)	Status Atap
1	Kondisi Cerah	1,24	Terbuka
2	Kondisi Hujan	1,24	Tertutup
3	Kondisi Gelap	1,24	Terbuka
4	Kondisi Kembali Cerah	1,24	Tertutup

Tabel 6 memuat durasi gerak 1,24 s pada empat kondisi. Selain itu, "gelap" dicatat menghasilkan atap terbuka dan "kembali cerah" menghasilkan atap tertutup, berbeda dari pola malam tertutup dan pagi/siang terbuka pada Tabel 3.

3.7 Perbandingan dan Keterbatasan Penelitian

Dibandingkan pemantauan dan penyiraman pada [1] dan [2], rancangan ini mencakup fungsi pendukung atap dan ketersediaan air. Literatur smart irrigation menunjukkan pemanfaatan sensor kelembapan tanah secara real-time untuk pengambilan keputusan irigasi dan pengelolaan air [6], [8], [9], sedangkan otomasi berbasis sensor juga telah diuji pada sistem irigasi lapangan dengan evaluasi efisiensi aplikasi air [12]. Akan tetapi, arsitektur serupa telah dilaporkan pada [5], sehingga integrasi tersebut tidak dinyatakan sebagai kebaruan tersendiri. Kontribusi yang dapat dinilai dari data saat ini adalah pemetaan pembacaan terhadap status pompa serta identifikasi keterbatasan konsistensi pengendalian atap. Perbandingan kinerja antarpemelitian belum dapat dilakukan tanpa metrik dan kondisi uji yang sepadan.

Kalibrasi sensor pada media yang digunakan merupakan kebutuhan utama. Penelitian [3] membedakan respons sensor dari kadar air referensi melalui kalibrasi gravimetrik dan volumetrik. Kebutuhan kalibrasi spesifik media juga dilaporkan pada sensor kelembapan kapasitif berbiaya rendah, karena hubungan keluaran sensor dengan kadar air dipengaruhi karakteristik media dan metode referensi [7], [11]. Dengan demikian, kategori basah, lembap, dan kering pada prototipe ini belum dapat diartikan sebagai batas fisiologis cabai. Variasi media, penempatan probe, dan kondisi lingkungan perlu dikendalikan pada pengujian berikutnya.

Validasi fungsi penyiraman juga belum mencakup seluruh kombinasi masukan. Tabel 5 tidak memuat rainValue atau level air secara serempak, sehingga syarat media kering dan tidak hujan belum dapat diuji sebagai satu keputusan gabungan. Literatur smart irrigation menempatkan integrasi data tanah, cuaca, ketersediaan air, dan status aktuator sebagai bagian penting dari sistem pengambilan keputusan [6], [9].



Fungsi pengaman ketika tangki kosong dan prioritas hujan pada mekanisme atap perlu diuji melalui skenario dengan masukan yang terdokumentasi.

Kinerja atap perlu dinilai dengan mencatat waktu perubahan masukan, waktu motor mulai bergerak, posisi awal, posisi akhir, serta keberhasilan mencapai posisi yang dituju. Pada sistem greenhouse otomatis, aktuator lingkungan perlu dievaluasi sebagai bagian dari loop kendali yang menghubungkan sensor, keputusan, dan respons mekanis [10]. Durasi gerak 1,24 s hanya mewakili satu komponen waktu respons apabila metode pengukurannya dikonfirmasi. Sebagai contoh, siklus pembacaan 3 s dapat menunda pembaruan keputusan, tetapi besarnya penundaan aktual belum dapat dihitung tanpa informasi struktur program dan pencatatan waktu.

Bukti yang tersedia merupakan evaluasi fungsional awal. Belum ada kelompok penyiraman manual, konsumsi air terukur yang dapat dibandingkan, atau data pertumbuhan, jumlah daun, perkecambahan, dan kelangsungan hidup bibit. Studi yang menyimpulkan peningkatan efisiensi irigasi menggunakan data konsumsi air, kondisi uji, atau pembanding yang terukur [8], [12]; karena itu, penghematan air dan peningkatan kualitas pembibitan tidak disimpulkan pada penelitian ini. Validasi lanjutan perlu menggabungkan kalibrasi, pencatatan masukan–aktuator, pengulangan skenario, dan pembanding agronomis. Histeresis dapat diuji sebagai pengembangan untuk mengurangi perpindahan ON/OFF di sekitar ambang; fitur ini belum dinyatakan telah diterapkan.

4. KESIMPULAN

Prototipe berbasis Arduino Uno mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, hujan, cahaya, dan ketersediaan air dengan penyiraman serta mekanisme atap. Dari sepuluh pengamatan per jam, penyiraman tercatat pada nilai 740 dan 710, sedangkan delapan pengamatan lainnya tidak menyiram. Pada pengamatan berikutnya, nilai turun masing-masing 310 dan 250 satuan pembacaan. Hasil ini mendukung hubungan fungsional awal antara kondisi media dan penyiraman, tetapi belum menetapkan ambang kadar air terkalibrasi.

Durasi gerak atap dicatat 1,24 s pada empat kondisi, namun ketidaksesuaian status atap antara Tabel 3 dan Tabel 6 belum memungkinkan kesimpulan tentang konsistensi algoritma. Neraca air 32 L dengan penggunaan tetap 2 L/hari menghasilkan durasi hitung 16 hari, bukan bukti penghematan air atau lama operasi lapangan yang tervalidasi. Kesimpulan penelitian dibatasi pada realisasi prototipe dan pola pengamatan yang tersedia. Penetapan akurasi, waktu respons total, keberhasilan keputusan multi-sensor, dan manfaat bagi bibit cabai memerlukan kalibrasi, dokumentasi program, pengukuran berulang, serta pembanding yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Rosyid, I. A. Rozaq, and B. Gunawan, "Kelembaban Tanah dan Penyiraman Otomatis pada Budidaya Bibit Cabai Berbasis Website," *Jurnal Elektro Kontrol (ELKON)*, vol. 2, no. 2, pp. 32–43, 2022, doi: 10.24176/elkon.v2i2.9128.
- [2] H. A. Wahid, J. Maulindar, and A. I. Pradana, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Aglonema Berbasis IoT Menggunakan Blynk dan NodeMCU 32," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 3, no. 2, pp. 6265–6276, 2023. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/1094>.
- [3] S. Chowdhury, S. Sen, and S. Janardhanan, "Comparative Analysis and Calibration of Low Cost Resistive and Capacitive Soil Moisture Sensor," *arXiv preprint arXiv:2210.03019*, 2022. <https://arxiv.org/abs/2210.03019>.
- [4] S. Chen et al., "A Review of Environmental Control Strategies and Models for Modern Agricultural Greenhouses," *Sensors*, vol. 25, no. 5, art. 1388, 2025, doi: 10.3390/s25051388.
- [5] M. Faiz, E. Irawansyah, and N. Paramytha IS, "Rancang Bangun Sistem Otomatis Pembibitan dan Peyiraman Tanaman Cabai Merah Keriting," *Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 2, no. 1, pp. 870–881, published Dec. 23, 2025, doi: 10.63822/sg3z2b16.

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



- [6] L. García, L. Parra, J. M. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, "IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture," *Sensors*, vol. 20, no. 4, art. 1042, 2020, doi: 10.3390/s20041042.
- [7] E. A. A. D. Nagahage, I. S. P. Nagahage, and T. Fujino, "Calibration and Validation of a Low-Cost Capacitive Moisture Sensor to Integrate the Automated Soil Moisture Monitoring System," *Agriculture*, vol. 9, no. 7, art. 141, 2019, doi: 10.3390/agriculture9070141.
- [8] R. Liao, S. Zhang, X. Zhang, M. Wang, H. Wu, and L. Zhangzhong, "Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept," *Agricultural Water Management*, vol. 245, art. 106632, 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106632.
- [9] C. Kamienski, J.-P. Soininen, M. Taumberger, R. Dantas, A. Toscano, T. Salmon Cinotti, R. Filev Maia, and A. Torre Neto, "Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture," *Sensors*, vol. 19, no. 2, art. 276, 2019, doi: 10.3390/s19020276.
- [10] R. R. Shamshiri, F. Kalantari, K. C. Ting, K. R. Thorp, I. A. Hameed, C. Weltzien, D. Ahmad, and Z. M. Shad, "Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 1–22, 2018, doi: 10.25165/j.ijabe.20181101.3210.
- [11] A. M. Okasha, H. G. Ibrahim, A. H. Elmetwalli, K. M. Khedher, Z. M. Yaseen, and S. Elsayed, "Designing Low-Cost Capacitive-Based Soil Moisture Sensor and Smart Monitoring Unit Operated by Solar Cells for Greenhouse Irrigation Management," *Sensors*, vol. 21, no. 16, art. 5387, 2021, doi: 10.3390/s21165387.
- [12] M. Pramanik, M. Khanna, M. Singh, D. K. Singh, S. Sudhishri, A. Bhatia, and R. Ranjan, "Automation of soil moisture sensor-based basin irrigation system," *Smart Agricultural Technology*, vol. 2, art. 100032, 2022, doi: 10.1016/j.atech.2021.100032.

