

e-ISSN : 3031-0342
Diterima: : 30 Juli 2025
Disetujui : 22 September 2025
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI IRIGASI TETES TANAMAN BAYAM MERAH (*Amaranthus Tricolor L.*) BERBASIS ARDUINO UNO PADA PLANT FACTORY

*Design And Construction of Drip Irrigation Automation System for Red Spinach (*Amaranthus Tricolor L.*) Plants Based on Arduino Uno in The Plant Factory*

Jeon Aditya Pratama^{1*}, Guyup Mahardian Dwi Putra¹, Ida Ayu Widhiantari¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

email: Jeonadityajr@gmail.com

ABSTRACT

*The decreasing availability of agricultural land due to land-use conversion has encouraged the adoption of efficient and sustainable agricultural technologies. One applicable solution is the Plant Factory system, which enables crop cultivation in a closed and controlled environment. To support efficient water use, an automated drip irrigation system is considered an appropriate method. This study aims to design and evaluate an automated drip irrigation system based on Arduino Uno for red amaranth (*Amaranthus tricolor L.*) cultivated in a Plant Factory environment. The research employed an experimental method by constructing a system consisting of capacitive soil moisture sensors, an Arduino Uno microcontroller, a relay, and a water pump. The sensor monitors soil moisture levels in real-time and activates the pump when moisture falls below 50%, and turns it off when it reaches 60%. The test results show that the system operates responsively and efficiently, with a sensor calibration Root Mean Square Error (RMSE) value of 0.50. The best plant growth was observed at a lamp distance of 20 cm, producing the highest plant height and number of leaves. In conclusion, the Arduino Uno-based automated drip irrigation system is effective in maintaining optimal soil moisture and supports plant growth in a Plant Factory system.*

Keywords: *arduino uno; drip irrigation; plant factory; red amaranth*

ABSTRAK

Keterbatasan lahan pertanian akibat alih fungsi lahan mendorong perlunya inovasi teknologi pertanian yang efisien dan berkelanjutan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem *Plant Factory*, yaitu budidaya tanaman dalam lingkungan tertutup dan terkendali. Untuk mendukung efisiensi penggunaan air, sistem irigasi tetes otomatis menjadi pilihan tepat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem otomatisasi irigasi tetes berbasis Arduino Uno pada tanaman bayam merah (*Amaranthus tricolor L.*) dalam lingkungan *Plant Factory*. Metode yang digunakan adalah eksperimental, dengan membangun sistem yang terdiri dari *Capacitive soil Moisture V2.0*, mikrokontroler Arduino Uno, relay, dan pompa air. Sensor membaca tingkat kelembapan media tanam secara real-time dan mengaktifkan pompa ketika kelengasan tanah berada di bawah 50%, serta mematikan pompa ketika mencapai 60%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara responsif dan efisien, dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) kalibrasi sensor sebesar 0,50. Pertumbuhan bayam merah terbaik diperoleh pada perlakuan dengan jarak lampu 20 cm, yang menghasilkan tinggi tanaman dan jumlah daun tertinggi. Kesimpulannya, sistem otomatisasi irigasi tetes berbasis Arduino Uno efektif menjaga kelembapan tanah secara optimal dan mendukung pertumbuhan tanaman dalam

sistem *Plant Factory*.

Kata kunci: arduino uno; bayam merah; irigasi tetes; *plant factory*.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Banyaknya alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman, industri, dan pariwisata, disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan perluasan wilayah perkotaan, menyebabkan penurunan yang signifikan terhadap ketersediaan lahan pertanian (Faoziyah et al., 2024). Proses konversi ini sering kali tidak diiringi dengan perencanaan yang berkelanjutan, yang pada akhirnya mempersempit ruang gerak sektor pertanian dalam memenuhi kebutuhan pangan nasional (Aslam & Fazal, 2025). Salah satu alternatif yang relevan dengan tantangan tersebut adalah penerapan sistem *Plant Factory*, yaitu metode budidaya tanaman dalam lingkungan tertutup yang seluruh faktor pertumbuhannya dapat dikendalikan secara presisi. Sistem ini mengadopsi konsep pertanian berbasis *Controlled Environment Agriculture* (CEA), yang memungkinkan produksi tanaman dilakukan secara intensif sepanjang tahun tanpa bergantung pada kondisi iklim eksternal (Ojo & Zahid, 2022). *Plant Factory* memiliki keunggulan seperti dapat dilakukan sepanjang tahun, tanaman tumbuh optimal, dan hemat tempat (Toyoki Kozai, 2020). Selain menjadi solusi atas keterbatasan lahan, sistem ini juga efisien dalam penggunaan air dan mendukung keberlanjutan pertanian (Liu et al., 2023).

Salah satu peluang penting dalam pengembangan sistem *Plant Factory* adalah penerapan teknologi otomatisasi. Teknologi otomatisasi memungkinkan pemantauan secara *real-time* yang mendukung efisiensi dalam penyemprotan, pengelolaan lahan dan air, serta pengawasan lahan pertanian (Subeesh & Mehta, 2021). Teknologi otomatisasi berbasis mikrokontroler

Arduino Uno sangat potensial untuk diterapkan pada sistem irigasi tetes otomatis. Dengan menggunakan Arduino, para pengguna dapat dengan mudah membuat dan mengintegrasikan berbagai sistem elektronik, baik untuk keperluan hobi maupun aplikasi industri (Putra Hadisusila, 2023). Selain itu, biaya implementasi yang relatif rendah, konsumsi daya yang kecil, serta ketersediaan berbagai modul pendukung seperti sensor kelembapan tanah, relay, dan pompa mini menjadikan Arduino sangat ideal untuk diterapkan dalam budidaya tanaman skala kecil hingga menengah seperti pada *Plant Factory* (Aslam & Fazal, 2025).

Bayam merah (*Amaranthus tricolor* L.) merupakan salah satu tanaman budidaya skala kecil hingga menengah, yang dikenal dengan siklus hidupnya yang relatif singkat. Tanaman ini memiliki laju pertumbuhan yang cepat, sistem perakaran yang dangkal, serta sensitivitas tinggi terhadap kondisi lingkungan, terutama terhadap ketersediaan air (Ilmam & Dewi, 2025). Karakteristik tersebut menjadikan bayam merah sangat sesuai sebagai indikator efektivitas sistem irigasi, khususnya irigasi tetes otomatis. Respon tanaman terhadap perubahan kadar air dalam tanah tergolong cepat dan dapat diamati secara visual melalui perubahan kerapatan daun, warna daun, maupun laju pertumbuhan.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi Tetes Tanaman Bayam Merah Berbasis Arduino Uno pada *Plant Factory*”. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem irigasi tetes otomatis dengan pendekatan berbasis mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali utama. Sistem ini dilengkapi dengan sensor kelembapan tanah tipe *capacitive soil moisture* yang dipasang di

zona perakaran tanaman, guna mendeteksi tingkat kelengasan media tanam secara *real-time*.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem otomatisasi irigasi tetes pada Plant Factory
2. Mengetahui kinerja sistem otomatisasi irigasi tetes pada Plant Factory.
3. Menganalisis pertumbuhan tanaman dengan sistem otomatisasi irigasi tetes pada *Plant Factory*

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan yaitu Laptop, alat tulis, Multimeter, tang, obeng, gunting, Solder, software Arduino IDE, Arduino uno, *Data logger shield*, relay, 3 sensor *Capasitive soil moisture* V2.0, 1 sensor suhu tanah DS18B20, sensor cahaya GY49, pompa, microSD module, kabel jumper, resistor, soil analyzer tester.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bibit bayam merah, polybag, dan media tanam tanah.

Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental atau percobaan langsung dari beberapa tahapan yaitu, studi literatur, observasi dan analisis data, tahap persiapan, desain rancangan, pembuatan alat, pengujian alat, dan implementasi. Penelitian ini menggunakan 12 sampel tanaman yang dibagi dalam 3 baris, masing-masing terdiri dari 4 tanaman dengan jarak lampu berbeda: 20 cm (L1), 40 cm (L2), dan 60 cm (L3). Setiap baris dilengkapi satu sensor kelembapan tanah, yaitu CSM1 pada L3, CSM2 pada L2, dan CSM3 pada L1. Sensor CSM3 berperan sebagai kendali utama sistem otomatisasi, yang mengaktifkan pompa air saat kelembapan tanah di bawah ambang batas.

Prosedur penelitian

1. Observasi, studi literatur, dan analisis data
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Mendesain rancangan sistem irigasi tetes otomatis.
4. Pembuatan sistem irigasi tetes otomatis.
5. Percobaan dan pengujian sistem irigasi irigasi tetes otomatis pada plant factory.
6. Analisis data

Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu kelengasan tanah, suhu tanah, suhu dan kelembapan udara, kinerja pompa otomatis, intensitas cahaya, debit aliran, dan keseragaman tetesan.

Analisis Data

Data hasil penelitian merupakan data kelengasan tanah hasil pembacaan *capasitive soil moisture* V2.0, data suhu tanah hasil pembacaan sensor DS18B20, dan data kinerja Pompa. Data hasil pembacaan sensor pada sistem akan disimpan pada Micro SD dengan format .csv yang akan diolah dan dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai hasil penelitian. Kalibrasi Sensor *capasitive soil moisture* V2.0 dilakukan dengan cara melakukan pengukuran pada kondisi basah (air) sebagai nilai analog minimal (kelengasan 100%) dan pada kondisi basah (udara) sebagai nilai analog maksimal (kelengasan 0%). Hasil kalibrasi sensor kemudian dianalisis menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk mengetahui tingkat kesalahan data hasil kalibrasi. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_t - F_t)^2}{n}} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

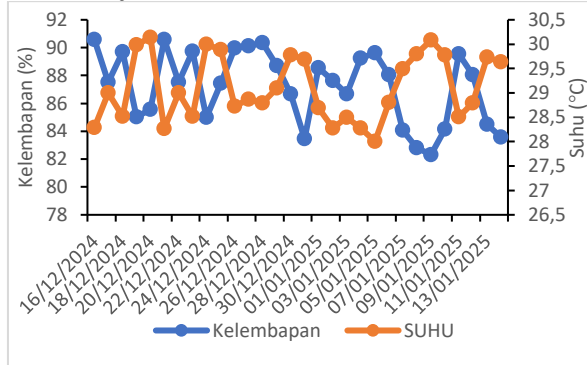
X_t : data sensor pada periode t

F_t : data aktual pada periode t

n : jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan Kelembapan Udara Plant Factory



Gambar 1. Grafik Suhu dan Kelembapan Udara

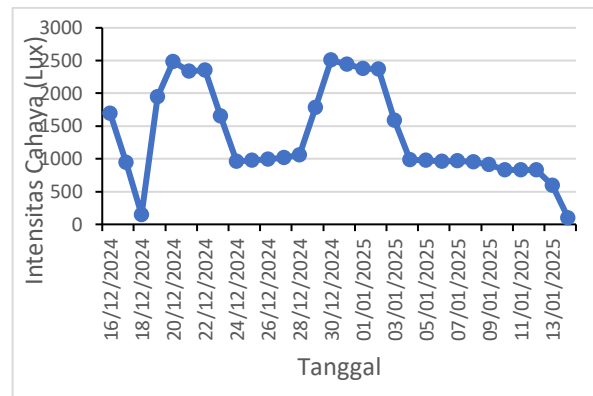
Gambar 1 merupakan grafik data rata-rata harian suhu dan kelembapan yang diperoleh selama 30 hari mulai tanggal 16 Desember 2024 hingga 14 Januari 2025, melalui sensor DHT22 yang tersimpan otomatis pada data logger shield, terlihat adanya fluktuasi suhu harian dengan tren kenaikan yang signifikan sejak awal Januari 2025. Pada tanggal 16 Desember 2024, suhu awal tercatat yaitu 28,5°C hingga 29,5°C, dan secara bertahap meningkat hingga mencapai suhu tertinggi yaitu $\leq 30^\circ\text{C}$ pada tanggal 10 dan 11 Januari 2025. Kenaikan ini berpotensi menyebabkan stres panas jika tidak diimbangi dengan pengaturan suhu ruang tanam yang optimal.

Sementara itu, kelembapan udara yang juga diukur menggunakan sensor yang sama menunjukkan tren penurunan selama periode yang sama. Kelembapan awal pada 16 Desember 2024 tercatat tinggi, yaitu 88% hingga 91%, namun mengalami penurunan bertahap terutama sejak tanggal 31 Desember 2024, hingga mencapai titik terendah yaitu 82% pada tanggal 9 dan 10 Januari 2025. Penurunan kelembapan ini umumnya berkaitan erat dengan kenaikan suhu, mengingat sifat udara yang lebih panas mampu menahan lebih banyak uap air, sehingga kelembapan relatif menurun meskipun kandungan uap air total bisa saja tetap. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Makruf et al., (2025), yang menyatakan kelembapan

relatif dinyatakan dalam satuan persen (%). Ketika dipengaruhi oleh suhu udara, semakin tinggi suhu di suatu tempat, uap air yang dapat ditampung oleh udara akan semakin banyak, maka kelembapan relatif dapat menurun meski jumlah uap air diudara tetap.

Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah banyaknya cahaya ada pada suatu luas permukaan tertentu (Guntur et al., 2017). Intensitas cahaya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kekuatan sumber cahaya, jarak dari sumber cahaya dan arah cahaya. Semakin besar kekuatan sumber cahaya, semakin tinggi intensitas yang dihasilkannya. Cahaya yang datang pada sudut tertentu juga bisa memengaruhi distribusi intensitas pada permukaan yang diterangi.



Gambar 2. Grafik Intensitas Cahaya

Gambar 2 merupakan grafik rata-rata harian intensitas cahaya (lux), selama periode pengamatan dari tanggal 16 Desember 2024 hingga 14 Januari 2025. Data diperoleh setiap satu menit menggunakan sensor GY49, kemudian disimpan otomatis pada data logger shield. Intensitas cahaya rata-rata harian tertinggi tercatat pada tanggal 21 dan 22 Desember 2024, serta 1 Januari 2025, yaitu ≤ 2.700 lux. Sementara itu, rata-rata harian terendah tercatat pada 19 Desember 2024 dan 14 Januari 2025, dengan nilai mendekati 0 lux. Pola ini menunjukkan adanya dua fase puncak dan dua titik penurunan ekstrem selama pengamatan, yang mencerminkan kondisi pencahayaan yang sangat fluktuatif dalam sistem tertutup.

Secara umum, tren rata-rata harian intensitas cahaya diawali dengan nilai cukup tinggi, kemudian menurun drastis di pertengahan Desember, diikuti lonjakan tajam menjelang akhir bulan, dan kembali menurun secara bertahap pada awal Januari. Periode stabil terjadi pada 26–29 Desember 2024 dan 5–13 Januari 2025,

Evaluasi Sensor Capacitive Soil Moisture V2.0

Evaluasi sensor *capacitive soil moisture* V2.0 bertujuan untuk mengetahui respons pembacaan sensor terhadap kelengasan tanah pada lahan. Pembacaan sensor awalnya berupa nilai analog kemudian dikonversi kedalam bentuk persentase (%). Proses konversi nilai analog dari sensor menjadi bentuk persentase (%) dilakukan menggunakan fungsi `map()` yang dipadukan dengan `constrain()`. Sensor ini menghasilkan nilai analog yang bervariasi sesuai dengan kondisi kelengasan tanah, umumnya dalam kisaran 0 hingga 1023. Karena setiap sensor memiliki karakteristik pembacaan yang unik, diperlukan kalibrasi untuk menentukan nilai minimum dan maksimum sensor secara spesifik, yang kemudian disesuaikan ke dalam variabel seperti `soilMin`, `soilMax`, dan sebagainya.



Gambar 3. Proses Kalibrasi Sensor *Capacitive soil Moisture*

Fungsi `map()` digunakan untuk mentransformasikan rentang nilai analog tersebut menjadi skala 100% hingga 0%, yang merepresentasikan kondisi tanah dari sangat basah hingga sangat kering. Selanjutnya, `constrain()` digunakan untuk memastikan hasil konversi tetap berada dalam batas wajar, yaitu antara 0 hingga 100%. Dengan cara ini, nilai kelengasan

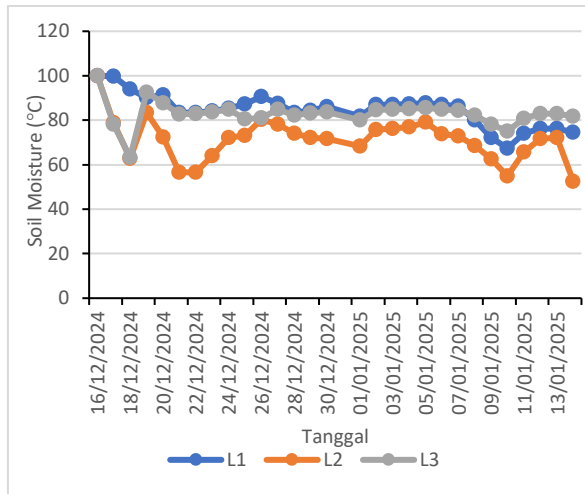
tanah yang dihasilkan lebih stabil dan representatif terhadap kondisi lapangan sebenarnya. Sebelum dilakukannya percobaan langsung di *Plant Factory*, sensor *capacitive soil moisture* V2.0 dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor pada tingkat kelengasan tanah yang terdapat di *Plant Factory*.

Kalibrasi sensor *soil moisture* V2.0 dilakukan dengan cara mencatat nilai analog pada kondisi kering dan basah. Semakin tinggi nilai analog maka semakin kering kondisi tanah. Sensor pada kondisi kering dicatat sebagai nilai minimum (kelengasan 0%) sedangkan sensor pada kondisi basah dicatat sebagai nilai maksimum (kelengasan 100%). Kemudian hasil kalibrasi di masukan ke Tabel RMSE untuk menentukan nilai error dari sensor tersebut. Adapun hasil kalibrasi sensor *Capacitive soil Moisture* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi *capacitive soil moisture*

<i>Capacitive Soil moisture</i>	Periode T	Data sensor X_t (%)	Data actual F_t (%)	Error $X_t - F_t$	RMSE
CSM1	1	19,45	19,25	0,20	0,04
	2	19,45	19,25	0,20	0,04
	3	19,5	19,1	0,40	0,16
CSM2	1	20,45	20,1	0,35	0,12
	2	19,85	19,2	0,65	0,42
	3	20,5	19,45	1,05	1,10
CSM3	1	19,75	19,5	0,25	0,06
	2	20,8	20,35	0,45	0,20
	3	21,5	21,25	0,25	0,06
Total					2,22
Jumlah data					9
RMSE					0,50

Analisis data hasil kalibrasi menggunakan metode RMSE dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil kalibrasi, semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil kalibrasi semakin akurat. Sebagai perbandingan data actual diukur menggunakan alat *soil analyzer tester*. Dari hasil analisis pada Tabel 4 didapatkan bahwa nilai RMSE sebesar 0,50 dengan total *square of error* sebesar 2,22 dari jumlah data sebanyak 9.



Gambar 4. Grafik Rata rata kelengasan tanah

Gambar 4 menunjukkan rata-rata harian tingkat kelengasan tanah selama 30 hari, dari 16 Desember 2024 hingga 14 Januari 2025, berdasarkan pembacaan tiga sensor, yaitu CSM1 (L3, jarak lampu 60 cm), CSM2 (L2, jarak lampu 40 cm), dan CSM3 (L1, jarak lampu 20 cm). Perbedaan kelengasan ini mencerminkan kemungkinan pengaruh dari variasi posisi sensor terhadap sistem irigasi tetes, distribusi air yang tidak seragam, serta karakteristik tanah dan kedalaman peletakan sensor, sebagaimana dijelaskan oleh Gunawan et al. (2019).

Menurut (Gunawan et al., 2019) variasi dan ketidakstabilan pembacaan sensor kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu penyebabnya adalah perbedaan kedalaman penempatan sensor di dalam tanah, yang dapat menghasilkan tingkat kelengasan yang tidak seragam. Selain itu, sensor yang digunakan memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kelengasan secara menyeluruh pada seluruh volume tanah. Faktor lain yang turut memengaruhi adalah keseragaman tetesan pada setiap penempatan sensor, jarak penempatan sensor dengan titik jatuhnya tetesan air, dan perbedaan padat gemburnya tanah.

Pengaruh Jarak Lampu Terhadap Kelengasan Tanah

Hasil pengamatan pengaruh jarak lampu terhadap kelengasan tanah bahwa sensor CSM1 yang ditempatkan pada

ketinggian lampu 60 Cm (L3) menunjukkan tingkat kelengasan tanah yang relatif stabil pada kisaran 45%. Sensor CSM2 yang ditempatkan pada ketinggian lampu 40cm (L2) mencatat kelengasan tanah paling tinggi di kisaran 48–55%, sementara sensor CSM3 yang di tempatkan pada ketinggian lampu 20 cm (L1) berada pada tingkat yang lebih rendah, yakni sekitar 44–47%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak lampu dengan permukaan media tanam, maka semakin besar pengaruh panas yang dihasilkan, yang pada akhirnya mempercepat laju penguapan air dari tanah dan menurunkan kadar kelengasan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Susilowati et al., 2015) jarak lampu 20 cm dari media tanam memberikan hasil lebih baik jika dibandingkan dengan perlakuan penyinaran buatan lainnya. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata hasil tertinggi dari semua parameter yang diamati meliputi jumlah daun, tinggi tanaman, luas daun, indeks luas daun, bobot brangkasan total, bobot brangkasan atas, dan bobot brangkasan bawah. Namun, masih kurang optimal jika dibandingkan dengan penyinaran matahari langsung, yang secara umum memiliki spektrum cahaya dan intensitas yang lebih sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

Kinerja Pompa pada sistem Otomatisasi

Percobaan efektivitas kinerja pompa sebagai aktuator bertujuan untuk mengetahui respons sistem otomatisasi irigasi tetes dalam melakukan penyiraman berdasarkan kelengasan tanah. Pompa dikendalikan oleh sensor kelengasan tanah CSM 3 yang terpasang pada perlakuan L1 dengan ketinggian lampu 20 cm, sistem pengontrolan bekerja berdasarkan ambang batas bawah dan atas kelengasan tanah yang telah ditentukan. Dalam percobaan ini, batas bawah kelengasan tanah ditetapkan sebesar 50%, sedangkan batas atas sebesar 60%. Ketika nilai kelengasan tanah turun di bawah batas bawah (50%), pompa akan aktif untuk mengalirkan air dan menutup kembali setelah kelengasan mencapai batas atas (60%).

Pompa dikendalikan oleh sensor

kelengasan tanah CSM 3 yang secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan pompa berdasarkan nilai kelengasan yang terbaca. Pada awal pengamatan, pompa dalam kondisi menyala (status = 1) karena kelengasan tanah berada di bawah ambang batas bawah. Kelengasan tanah meningkat secara signifikan dan melewati batas atas (60%) yang kemudian menyebabkan pompa berhenti (status = 0). Selanjutnya, pompa hanya menyala saat kelengasan kembali turun di bawah 50% dan akan mati kembali setelah nilai kelengasan naik di atas $\geq 60\%$. Dari grafik terlihat bahwa pompa menyala dan mati dalam pola yang konsisten dengan perubahan kelengasan, menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis bekerja dengan baik dalam menjaga kelengasan tanah tetap dalam rentang optimal. Pada pengamatan ini pompa berada dalam kondisi menyala sebanyak 4 kali dengan rata-rata nilai kelengasan tanah 46,417%, sedangkan pompa berada dalam kondisi tertutup sebanyak 4 kali dengan rata-rata kelengasan tanah 90,007%.

Debit Aliran

Berdasarkan hasil pengukuran pada tiga baris instalasi *Plant Factory*, diperoleh variasi nilai debit antar baris.

Tabel 2. Debit Aliran Pada jarak Lampu 20cm (L1)

Ulangan	Waktu (detik)	Volume (ml)	Debit (ml/detik)	Rata-rata (ml/detik)
1	60	12.430	207,166	211,28
2	60	12.600	210	
3	60	13.000	216,666	

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 2, nilai rata-rata debit aliran pada L1 adalah 211,277 ml/detik. Debit pada baris ini relatif stabil, dengan nilai minimum sebesar 207,166 ml/detik dan maksimum 216,666 ml/detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem aliran pada baris pertama bekerja dengan cukup baik dan konsisten, meskipun nilai debitnya merupakan yang paling rendah dibandingkan dua baris lainnya. Debit yang lebih rendah ini dapat disebabkan oleh hambatan pada saluran, seperti penyumbatan atau tekanan aliran yang kurang optimal.

Tabel 3. Debit Aliran Pada Jarak Lampu 40 cm (L2)

Ulangan	Waktu (detik)	Volume (ml)	Debit (ml/detik)	Rata-rata (ml/detik)
1	60	13.000	216,666	230,56
2	60	14.600	233,333	
3	60	14.500	241,666	

Berdasarkan Tabel 3, nilai rata-rata debit pada perlakuan L2 yaitu 230,56 ml/detik. Debit aliran menunjukkan tren yang lebih tinggi dengan kisaran antara 216,666 hingga 241,666 ml/detik. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran pada baris kedua berlangsung lebih deras dan terdapat peningkatan volume air yang dialirkan dalam waktu yang sama.

Keseragaman Tetesan

Keseragaman tetesan atau emission uniformity (EU) merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kinerja sistem irigasi tetes, terutama dalam sistem budidaya terkendali seperti *Plant Factory*. EU menunjukkan sejauh mana debit yang keluar dari masing-masing emitter seragam, dan seberapa kecil perbedaan antara emitter dengan debit minimum dan rata-rata. Dalam penelitian ini, keseragaman tetesan dievaluasi dengan mengukur debit air yang keluar dari masing-masing emitter sebanyak tiga kali ulangan. Debit minimum (qn) dan debit rata-rata (qa) digunakan untuk menghitung nilai EU pada setiap ulangan.

Tabel 4. Keseragaman tetesan

Emitter	Ulangan (ml/menit)		
	1	2	3
1	29	30	30
2	29	30	30
3	28	28	28
4	28	28	28
5	28	28	28
6	28	29	29
7	29	30	30
8	28	29	29
9	27	29	29
10	29	30	30
11	29	30	30

Emitter	Ulangan (ml/menit)		
	1	2	3
12	29	29	30
Qn	27,6	28	28
Qa	28,4	29,1	29,2
EU	97%	96%	95%
Rata-rata EU	96%		

Dari perhitungan diperoleh bahwa EU masing-masing sebesar 97%, 96%, dan 95% untuk ulangan pertama hingga ketiga. Nilai rata-rata EU sebesar 96%, menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes yang digunakan memiliki keseragaman distribusi air yang sangat tinggi. Berdasarkan klasifikasi kategori keseragaman tetesan menurut Abd El-Wahed et al (2016), sistem yang diuji masuk dalam kategori sangat baik. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem irigasi tetes bekerja secara efisien dan andal dalam mendistribusikan air ke setiap tanaman.

Keseragaman tetesan yang tinggi sangat penting dalam sistem *Plant Factory*, yang bersifat intensif dan berbasis kontrol lingkungan. Tanaman dalam sistem ini sangat sensitif terhadap kekurangan atau kelebihan air. Dengan nilai EU yang tinggi, maka distribusi air dan/atau larutan nutrisi dapat dianggap sudah merata di seluruh jalur irigasi, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman yang seragam dan optimal. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat penyumbatan signifikan atau penurunan tekanan yang mempengaruhi performa emitter secara keseluruhan.

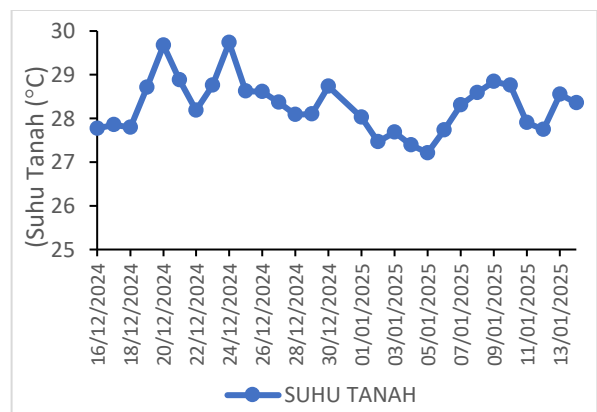
Percobaan Sensor Suhu DS18B20

Percobaan sensor DS18B20 bertujuan untuk mengetahui respons pembacaan sensor terhadap kondisi tanah pada lahan. Sensor DS18B20 yang digunakan telah dikalibrasi. Data hasil kalibrasi kemudian akan dianalisis menggunakan metode RMSE. Adapun hasil kalibrasi sensor dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Kalibrasi Sensor DS18b20

Sensor DS18b20	Period e T	Data sensor Xt (°C)	Data actual Ft(°C)	Error Xt-Ft	RMS E
	1	25,0	26,5	1,5	2,25
Suhu	2	25,7	26,1	0,4	0,16
Tanah	3	24,3	25,5	1,2	1,44
Total					3,85
Jumlah data					3
RMSE					1,13

Tabel 5. menunjukkan hasil kalibrasi sensor DS18b20 yang telah dianalisis menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*). Hasil analisis menunjukkan nilai RMSE sebesar 1,13 dengan jumlah data (n) sebanyak 3 dan total *square of error* 3,85. Hasil dari perhitungan ini memberikan nilai suhu tanah yang sudah dikalibrasi, yang diharapkan lebih akurat dan sesuai dengan standar yang diinginkan. Berikut merupakan grafik hasil pembacaan sensor DS18b20.



Gambar 5. Grafik rata rata Suhu Tanah

Grafik rata-rata suhu tanah harian pada Gambar 5 menunjukkan fluktuasi yang terjadi selama periode pengamatan dari 16 Desember 2024 hingga 13 Januari 2025. Pola yang terbentuk tampak dinamis dengan perubahan suhu harian yang mencerminkan kondisi iklim mikro di lokasi pengamatan. Suhu tanah tertinggi terjadi pada 22 dan 26 Desember 2024, masing-masing mencapai sekitar 29,6°C, yang kemungkinan disebabkan oleh peningkatan radiasi matahari dan akumulasi panas pada siang hari. Sebaliknya, suhu terendah tercatat pada 06 Januari 2025 yaitu sekitar 27,1°C, yang mengindikasikan pengaruh pendinginan malam hari yang lebih kuat pada periode

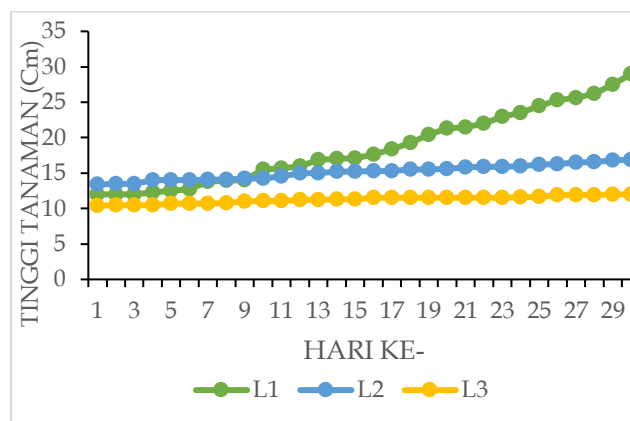
tersebut.

Secara umum, suhu tanah bergerak di kisaran $27,1^{\circ}\text{C}$ hingga $29,6^{\circ}\text{C}$. Setelah fluktuasi awal yang tajam di akhir Desember, suhu cenderung stabil di kisaran 28°C pada awal Januari, meskipun tetap menunjukkan pola naik-turun setiap beberapa hari. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pengukuran dilakukan dalam ruangan, suhu tanah tetap terpengaruh oleh kondisi eksternal seperti suhu udara dan radiasi matahari tidak langsung. Pola ini menunjukkan bahwa suhu tanah mengikuti ritme lingkungan meski dengan fluktuasi yang lebih landai dibanding suhu udara luar.

Pengaruh Sistem Otomatisasi Terhadap Pertumbuhan Bayam Merah

Tinggi Tanaman

Pengamatan terhadap tinggi tanaman dilakukan sebagai bagian dari evaluasi efektivitas sistem irigasi tetes otomatis berbasis Arduino Uno. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh sistem irigasi tetes otomatis terhadap pertumbuhan tanaman, khususnya pada parameter tinggi tanaman yang menjadi salah satu indikator utama perkembangan vegetatif. Metode yang digunakan dalam pengamatan ini adalah dengan melakukan pencatatan tinggi tanaman setiap hari selama 30 hari berturut-turut. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan penggaris dengan satuan sentimeter, dimulai dari hari pertama setelah tanaman dipindahkan ke media tanam hingga hari ke-30.

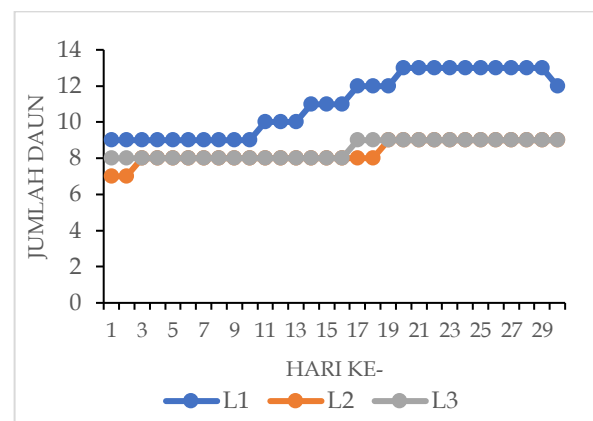


Gambar 6. Grafik Tinggi Tanaman

Grafik tinggi tanaman menunjukkan perkembangan tinggi tanaman selama 30 hari pengamatan untuk tiga sampel tanaman pada L1, L2, dan L3. Secara umum, terdapat perbedaan pertumbuhan yang signifikan di antara ketiga sampel tersebut. L1 menunjukkan pertumbuhan yang paling tinggi dan konsisten sepanjang waktu, dimulai dari sekitar 12 cm pada hari pertama dan mencapai sekitar 30 cm pada hari ke-30. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan atau perlakuan yang diterima oleh sampel L1 sangat mendukung pertumbuhan tanaman.

Jumlah Daun

Pengamatan terhadap jumlah daun dilakukan sebagai bagian dari evaluasi efektivitas sistem irigasi tetes otomatis berbasis Arduino Uno. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh sistem irigasi tetes otomatis terhadap pertumbuhan tanaman, khususnya pada parameter jumlah daun yang menjadi salah satu indikator utama perkembangan vegetatif. Metode yang digunakan dalam pengamatan ini adalah dengan melakukan pencatatan jumlah daun setiap hari selama 30 hari berturut-turut. Pengukuran dilakukan secara manual, dimulai dari hari pertama setelah tanaman dipindahkan ke media tanam hingga hari ke-30.



Gambar 7. Grafik Jumlah Daun

Gambar 7 menunjukkan perkembangan jumlah daun selama 30 hari pengamatan untuk tiga sampel tanaman, yaitu L1, L2, dan L3. Terlihat adanya

perbedaan laju pertumbuhan jumlah daun di antara ketiganya. L1 mengalami pertumbuhan paling aktif, dimulai dari 9 helai daun dan meningkat secara signifikan sejak hari ke-11 hingga mencapai puncak 13 helai daun pada hari ke-21. Pola ini menunjukkan bahwa kondisi yang dialami L1 sangat mendukung pertumbuhan daun, baik dari aspek nutrisi, kelembapan, maupun sistem irigasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan

1. Perancangan sistem otomatisasi irigasi tetes pada *Plant Factory* berhasil dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali utama. Sistem ini terintegrasi dengan sensor soil moisture V2.0, sensor suhu tanah DS18B20, modul data logger shield, relay, dan LCD I2C. Pemilihan pin dan pemetaan komponen disusun secara efisien untuk memaksimalkan fungsi input-output pada Arduino Uno. Sistem ini dirancang untuk dapat bekerja secara otomatis berdasarkan ambang batas kelengasan tanah yang telah ditentukan.
2. Sensor *soil moisture* V2.0 mampu membaca perubahan kelengasan tanah secara akurat, dengan hasil pembacaan yang sesuai dengan kondisi aktual. Sensor DS18B20 juga menunjukkan performa yang baik dengan nilai RMSE sebesar 1,13, menandakan tingkat akurasi pembacaan suhu yang cukup akurat. Pompa sebagai aktuator berhasil dikendalikan secara otomatis sesuai dengan ambang batas kelengasan (50–60%) dan menunjukkan pola kerja yang konsisten.
3. Sistem otomatisasi irigasi tetes pada *Plant Factory* memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman bayam merah, di mana CSM3 yang ditempatkan pada perlakuan L1 jarak (lampu 20cm) menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun yang lebih baik dibandingkan CSM1 dan CSM3. Hal ini membuktikan bahwa sistem irigasi otomatis mampu menciptakan kondisi lingkungan

yang optimal bagi pertumbuhan tanaman di dalam *Plant Factory*.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan casing tahan air dan debu terutama pada *capasitive soil moisture* V2.0 dan juga pada seluruh komponen elektronik seperti Arduino, relay, dan data logger untuk mencegah kerusakan akibat kelembapan, air, atau gangguan fisik lainnya selama pengoperasian di *Plant Factory*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada semua pihak terutama teman kelompok penelitian dan kedua dosen pembimbing yang sudah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan penulisan artikel ilmiah ini.

DAFTAR REFERENSI

- Abd El-Wahed, M. H., Medici, M., & Lorenzini, G. (2016). Sprinkler irrigation uniformity: Impact on the crop yield and water use efficiency. *Journal of Engineering Thermophysics*, 25(1), 117–125. <https://doi.org/10.1134/S1810232816010112>
- Aslam, M., & Fazal, S. (2025). Exploring the impact of land fragmentation on the performance of agriculture: a systematic review. *Discover Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00207-6>
- Faoziyah, U., Rosyaridho, M. F., & Panggabean, R. (2024). Unearthing Agricultural Land Use Dynamics in Indonesia: Between Food Security and Policy Interventions. *Land*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/land13122030>
- Gunawan, R., Andhika, T., S., & Hibatulloh, F. (2019). Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 7(1), 66–78. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v7i1.1640>
- Guntur, B., Putra, A., & Madyono, G. (2017). *Jurnal Optimasi Sistem Industri ANALISIS INTENSITAS CAHAYA PADA AREA PRODUKSI TERHADAP KESELAMATAN DAN KENYAMANAN KERJA SESUAI DENGAN STANDAR PENCAHAYAAN*

- (Studi Kasus Di PT. Lendis Cipta Media Jaya). 10.
- Ilmam, H. P. L., & Dewi, K. (2025). Seed germination and growth of Joseph's coat (*Amaranthus tricolor* L.) following exposure with Naphthalene-1-Acetic Acid (NAA) and 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D). *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 10(1). <https://doi.org/10.22146/ipas.88687>
- Liu, J., Wang, L., Wang, Y., Xu, S., & Liu, Y. (2023). Research on the Interface of Sustainable Plant Factory Based on Digital Twin. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15065010>
- Muhammad Makruf, S., Rezqi Ramadhani, L., Sandha, F., Ayu Pangestu Rini, P., Auliya Najwa, S., Hanan Amrullah, A., Anatasa, S., & Syesya Prastia, A. (2025). Analisis Kelembaban Udara terhadap Tingginya Suhu di Sekaran Semarang. In *Jurnal Analis* (Vol. 4, Issue 1). <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/Analis>
- Ojo, M. O., & Zahid, A. (2022). Deep Learning in Controlled Environment Agriculture: A Review of Recent Advancements, Challenges and Prospects. In *Sensors (Basel, Switzerland)* (Vol. 22, Issue 20). NLM (<https://doi.org/10.3390/s22207965>)
- Putra Hadisusila, C. (2023). Aplikasi Arduino dalam Teknik I/O untuk Mengintegrasikan dan Mengendalikan Perangkat Elektronik. *Jurnal Nusantara Of Engineering*, 6(2). <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/noe>
- Subeesh, A., & Mehta, C. R. (2021). Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. In *Artificial Intelligence in Agriculture* (Vol. 5, pp. 278–291). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.11.004>
- Susilowati, E., Triyono, S., & Sugianti, C. (2015). THE EFFECT OF FLUORESCENT LAMP DISTANCE ON PLANT GROWTH KAILAN (*Brassica oleraceae*) WITH WICK SYSTEM HYDROPONIC IN THE ROOM (Indoor). In *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* (Vol. 4, Issue 4).
- Toyoki Kozai, G. N. M. T. (2020). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. In T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production* (2nd ed., Vol. 1, pp. 1–2). Charlotte Cockle.