

Rancang Bangun Sistem Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) Otomatis dengan Kontrol Suhu dan Volume Larutan Nutrisi pada Tanaman Pakcoy

Design of Automated Deep Flow Technique (DFT) Hydroponic System based Temperature and Nutrient Volume Control for Bok Choy Cultivation

Raizummi Fil'aini^{1*}, Habib M. Taufiq¹, Harmiansyah¹, Sabar², Ni Wayan Arya Utari¹

¹Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

²Rekayasa Instrumentasi dan Automasi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

*E-mail: raizummi.filaini@tbs.itera.ac.id

Diterima: 28 Juli 2025; Disetujui: 19 Februari 2026

ABSTRAK

Penurunan produksi sayuran pakcoy di Indonesia akibat alih fungsi lahan mendorong pengembangan metode budidaya alternatif, salah satunya adalah sistem hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT). Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem hidroponik otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno untuk mengontrol suhu air dan ketinggian air nutrisi yang dibutuhkan sayuran pakcoy. Sistem menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor ultrasonik sebagai input, serta pompa DC dan relay sebagai aktuator. Sensor dikalibrasi dan divalidasi terhadap alat ukur standar untuk memastikan akurasi dan stabilitas sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi sensor suhu berada di atas 97% dan sensor ultrasonik mencapai 99.83%. Sistem kontrol suhu aktif saat suhu melebihi 28°C, dan pengisian air otomatis aktif saat ketinggian air turun di bawah 30 cm. Penerapan sistem pada instalasi hidroponik menunjukkan respon otomatis yang efektif dalam menjaga parameter lingkungan. Hasil uji ANOVA taraf nyata 5% menunjukkan pengaruh tidak nyata terhadap tinggi tanaman. Nilai signifikan setiap parameter adalah 0.187 (tinggi tanaman), 0,118 (jumlah daun), dan 0,861 (berat tanaman). Perlakuan yang diberikan belum mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan. Selain itu, penggunaan energi pada sistem otomatis lebih efisien karena pompa bekerja sesuai kebutuhan. Dengan demikian, sistem ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya hidroponik dan mendukung pertanian presisi pada lahan terbatas.

Kata kunci: Pakcoy, *deep flow technique*, DS18B20, mikrokontroler, sensor ultrasonik

ABSTRACT

The decline in bok choy vegetable production in Indonesia due to land conversion has encouraged the development of alternative cultivation methods, one of which is the Deep Flow Technique (DFT) hydroponic system. This study aims to design and implement an Arduino Uno microcontroller-based automatic hydroponic system to control the water temperature and nutrient water level required for bok choy vegetables. The system uses a DS18B20 temperature sensor and an ultrasonic sensor as inputs, as well as a DC pump and relay as actuators. The sensors were calibrated and validated against standard measuring instruments to ensure the accuracy and stability of the system. The test results showed that the accuracy of the temperature sensor was above 97% and the ultrasonic sensor reached 99.83%. The temperature control system is activated when the temperature exceeds 28°C, and automatic water filling is activated when the water level drops below 30 cm. The application of the system in hydroponic installations shows an effective automatic response in maintaining environmental parameters. The results of the 5% significance level ANOVA test showed no significant effect on plant height. The significance values for each parameter were 0.187 (plant height), 0.118 (number of leaves), and 0.861 (plant weight). The treatment given was not able to significantly increase plant growth. In addition, energy use in the automatic system is more efficient because the pump works as needed. Thus, this system has been proven to increase the efficiency of hydroponic cultivation management and support precision agriculture on limited land.

Keywords: Bok choy, *deep flow technique*, DS18B20, microcontroller, ultrasonic sensor

PENDAHULUAN

Pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*) merupakan salah satu jenis tanaman hortikultura yang banyak tumbuh di daerah dataran rendah dan dataran tinggi. Tanaman pakcoy memiliki aspek ekonomi yang layak dikembangkan untuk memenuhi permintaan konsumen. Tanaman pakcoy memerlukan unsur hara yang seimbang di dalam tanah agar meningkatkan pertumbuhan tanaman serta menjaga kualitas dan kuantitas tanaman.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2021, produksi pakcoy mengalami penurunan dari tahun 2019

hingga 2021 sebesar 34.191 ton menjadi 24.519 ton. Penurunan produksi pakcoy diakibatkan adanya alih fungsi lahan pertanian menjadi wilayah industri dan pemukiman. Sekitar 100 ribu hektar lahan pertanian di Indonesia berkurang setiap tahunnya (Harini et al., 2011). Cara mengatasi penurunan produksi tanaman pakcoy diperlukan teknik budidaya pada lahan sempit dengan salah satu metode yang cocok digunakan yaitu sistem hidroponik. Hidroponik adalah metode pertanian berkelanjutan dengan teknik budidaya tanaman menggunakan air (Hariono & Fajriyah, 2021). Budidaya hidroponik tidak membutuhkan lahan yang luas dan tanah dalam penerapannya karena

hanya memerlukan air sebagai media tanamnya (Mohammad et al., 2021). Tanaman pada sistem hidroponik mendapatkan makanan dari air yang telah dicampur dengan nutrisi (Wirawan et al., 2014). Budidaya dengan metode hidroponik mempengaruhi pertumbuhan pada tanaman yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produk (Wibowo, 2020). Sayuran, buah-buahan, dan tanaman hias merupakan tanaman yang umumnya ditanam menggunakan hidroponik (Mohammad et al., 2021). Salah satu sistem hidroponik yang paling banyak diterapkan adalah *Deep Flow Technique* (DFT).

Hidroponik sistem *Deep Flow Technique* (DFT) merupakan salah satu penerapan sistem hidroponik. Sistem DFT memiliki keuntungan jika arus listrik padam air tetap tergenang untuk tanaman. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan metode ini, yang mana air nutrisi dan aerasi pada sistem tersirkulasi secara kontinyu selama 24 jam (Wibowo, 2020). Sirkulasi air secara terus menerus membutuhkan 2 biaya dan energi yang tidak sedikit, tetapi apabila tidak secara terus menerus akan menyebabkan oksigen terlarut menurun sehingga tanaman tidak tumbuh sehat.

Beberapa faktor tertentu sangat mempengaruhi kualitas sayuran seperti faktor suhu (Ridwan & Sari, 2021). Parameter pada penelitian yang dilakukan adalah suhu dan volume larutan nutrisi karena kedua faktor tersebut menentukan keberhasilan sistem hidroponik. Suhu berpengaruh terhadap aktivitas fisiologi akar, sedangkan larutan nutrisi menentukan ketersediaan unsur hara agar tanaman dapat tumbuh dengan optimal. Salah satu upaya mengontrol suhu air sesuai dengan kebutuhan tanaman adalah dengan merancang sistem hidroponik otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno (Hariono & Fajriyah, 2021). Sistem akan mengontrol penyiraman sesuai dengan kebutuhan tanaman (Hariono & Fajriyah, 2021).

Penelitian sebelumnya menunjukkan sistem otomatis hidroponik dengan suhu berkisar 20-40°C menggunakan sensor DHT11, sistem mampu berjalan dengan baik serta mengontrol suhu bagi tanaman, namun sensor tidak dapat mengukur suhu air karena sensor tidak tahan terhadap air (Ridwan & Sari, 2021). Sensor DHT11 dapat mengukur dua parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan (Prayitno et al., 2017). Namun, dalam penelitian ini menggunakan sensor D18B20, dikarenakan sensor ini memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap air serta dapat mengukur suhu air di zona perakaran tanaman (Hidayatullah et al., 2023). Penelitian bertujuan untuk merancang sistem hidroponik DFT dalam mengontrol pengairan dan suhu pada air sesuai dengan yang dibutuhkan tanaman pakcoy pada rancangan sistem hidroponik DFT.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

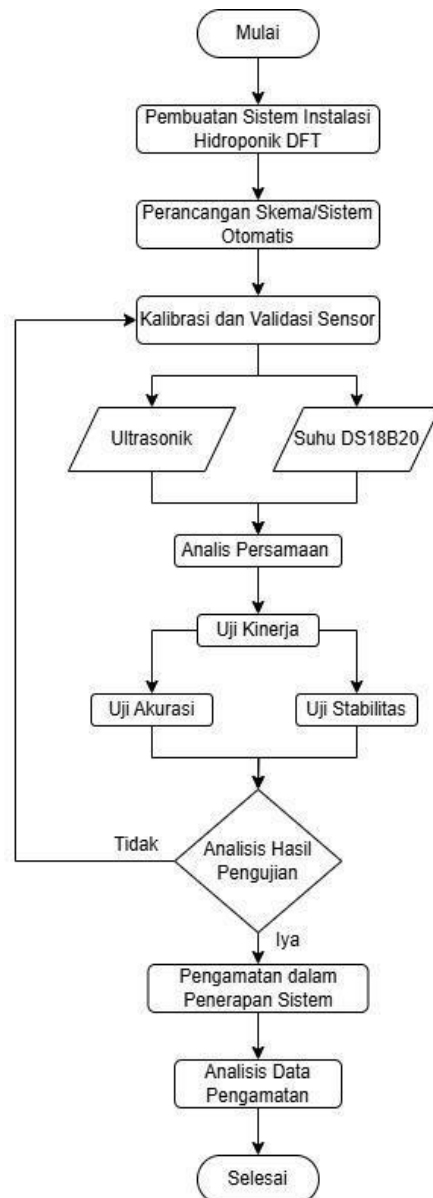
Untuk mendukung keberhasilan sistem otomatisasi pada instalasi hidroponik, penelitian ini memanfaatkan kombinasi perangkat keras dan lunak yang saling terintegrasi, mulai dari Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler utama dalam sistem otomatisasi dengan bahasa pemrograman C++, kemudian menginstruksikan alat yang diinginkan (Mochtiarsa Yoni, 2016). Sensor suhu DS18B20 untuk pengukuran suhu secara digital yang bekerja pada suhu -55°C hingga +125°C dengan akurasi lebih dari 0,5°C dari -10°C (Amaluddin & Haryoko, 2019). Sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke objek dan mendeteksi pantulan tersebut (Chobir et al., 2017). Serta *software* Arduino IDE versi 2.3.6. Pipa PVC 2.5 inci sebagai talang untuk 96 lobang tanam dan

PVC 1 inci sebagai bahan pembuatan rangka Instalasi hidroponik DFT.

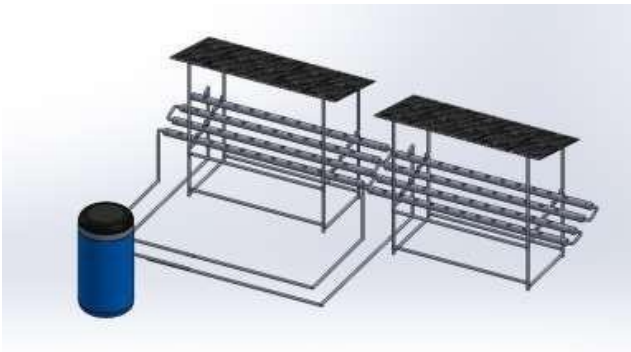
Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian prosedur yang terstruktur guna mengembangkan sistem hidroponik otomatis. Lokasi penelitian berada di Laboratorium Teknik Biosistem, Institut Teknologi Sumatera. Instalasi diletakkan diluar gedung agar terpapar sinar matahari langsung di jam 09.00 hingga jam 14.00 WIB. Perancangan dimulai dari pembuatan sistem Instalasi hidroponik dan perancangan sistem kontrol. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian kalibrasi dan validasi sensor. Bagian ini terdiri dari analisis persamaan sensor dengan melakukan metode uji kinerja sistem melalui metode uji akurasi dan uji stabilitas pada sistem. Selain itu, hasil dari pengujian sensor diterapkan pada sistem hidroponik DFT, serta analisis data pengamatan pada tanaman pakcoy. Hal ini menentukan keberhasilan hasil dari penelitian sistem pada Gambar 1.

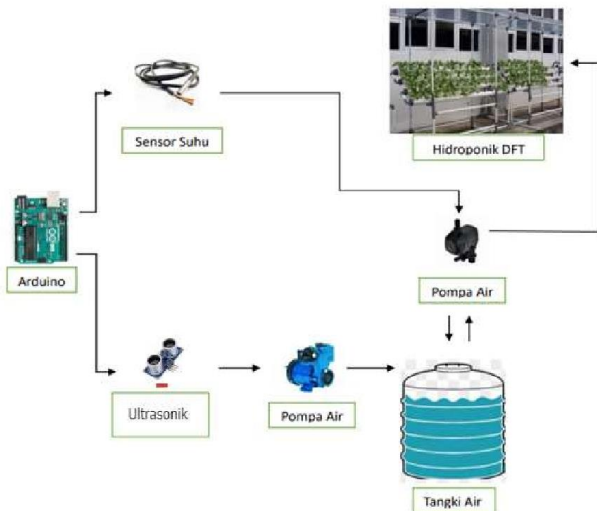
Perancangan otomatis sistem hidroponik diperlukan beberapa tahapan yaitu perancangan dan pembuatan instalasi hidroponik DFT, perancangan skema/sistem hidroponik, kalibrasi dan validasi sensor, uji kinerja. Metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Instalasi hidroponik DFT



Gambar 3. Skema rancangan sistem otomatis hidroponik DFT

Perancangan dan Pembuatan Instalasi Hidroponik DFT

Instalasi hidroponik dirancang dengan model bertingkat menyerupai tangga yang terdiri dari empat talang pipa PVC. Masing-masing talang diberi lubang berdiameter 5 cm untuk menempatkan media tanam netpot. Pembuatan instalasi diawali dengan pengukuran lahan dan pemotongan pipa sesuai dimensi yang telah dirancang. Selanjutnya, pipa dirakit sesuai desain, kemudian dilakukan pengecekan terhadap kebocoran dan kelancaran aliran air. Instalasi Hidroponik DFT dapat dilihat pada Gambar 2.

Rancangan Alat Sistem Otomatis

Sistem hidroponik otomatis terdiri dari dua komponen utama seperti perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sensor suhu DS18B20 dan sensor Ultrasonik untuk mengukur ketinggian air digunakan sebagai masukan utama. Skema sistem otomatis disajikan pada Gambar 3.

Rancangan Sistem Kontrol Suhu

Sistem kontrol suhu terdiri dari Arduino Uno, sensor DS18B20, pompa air, relay, dan LCD. Sensor DS18B20 dipasang pada talang untuk mengukur suhu air, dengan rentang suhu ideal pertumbuhan pakcoy antara 23°C–30 °C (Pudjiwati & Asmina, 2020). Bila suhu berada di bawah batas optimal, pompa akan aktif secara otomatis untuk menyesuaikan suhu. Air yang dialirkan berasal dari bak penampung yang memiliki suhu yang lebih rendah. Penampungan terlindung dari paparan sinar matahari langsung dan diberi penutup serta di letakkan dibawah atap agar suhunya tetap di bawah 30°C.

LCD digunakan untuk menampilkan data suhu secara real-time. Pemasangan pin sensor dan LCD merujuk pada konfigurasi pin Arduino (Amaluddin & Haryoko, 2019). Output dari empat sensor suhu ditampilkan menggunakan serial monitor, dan diagram alir sistem pengairan disajikan pada Gambar 4.

Rancangan Sistem Kontrol Pengisian Air

Sensor ultrasonik dipasang pada bak penampung untuk memantau ketinggian air. Sensor ini dihubungkan dengan Arduino Uno dan relay yang mengendalikan pompa. Pompa akan aktif ketika air mencapai ketinggian minimum 30 cm dan akan berhenti saat mencapai 90 cm. Diagram alir sistem ini ditampilkan pada Gambar 5.

Kalibrasi dan Validasi Sensor

Analisis regresi pada penelitian yang dilakukan menggunakan analisis regresi linier sederhana yaitu menggunakan variabel independen untuk menjelaskan variabel Y (Khotimah, et al., 2022).

Kalibrasi Sensor

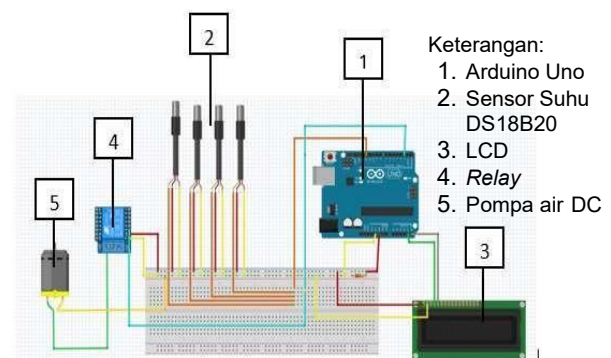
Persamaan garis Regresi linear $y = ax + b$ digunakan sebagai prediksi untuk menentukan hasil pengukuran sensor.

Nilai a atau konstanta garis

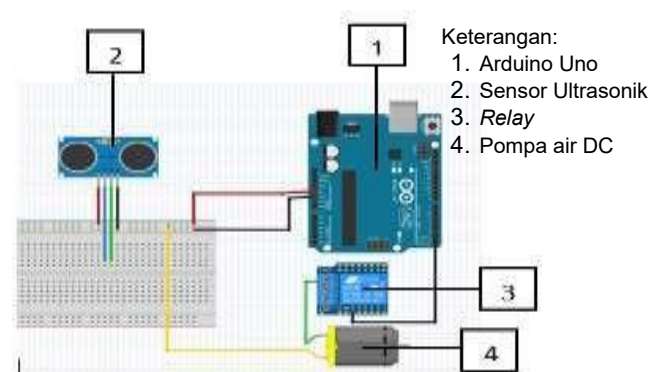
$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1)$$

Nilai b atau koefisien regresi

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2)$$



Gambar 4. Skematik sistem kontrol suhu DS18B20



Gambar 5. Skematik sistem kontrol pengisian air

Validasi Sensor

Validasi merupakan pengukuran sensor yang telah terkalibrasi dengan koefisien terkalibrasi (Jiménez-Barrionuevo et al., 2011). Validasi sensor bertujuan untuk mendapatkan nilai persamaan berdasarkan program uji kalibrasi dari hasil pembacaan sensor. Nilai persamaan digunakan sebagai indikator dalam menentukan sensor tersebut layak atau tidak digunakan.

Uji Kinerja

Uji kinerja bertujuan mengetahui kinerja alat berdasarkan syarat kualitas sensor. Uji kinerja dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dalam membaca suhu dan ketinggian air berbasis mikrokontroler Arduino Uno sesuai yang diinginkan. Uji kinerja alat terdiri dari dua pengujian yaitu akurasi dan stabilitas.

a. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan setelah mendapatkan data hasil akurasi. Uji akurasi di analisis dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pada percobaan sensor (Telaumbanua et al., 2019). Berikut merupakan persamaan akurasi yang dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Inaccuracy = \frac{X}{SD} \times 100\% \tag{3}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n |SP - NA i|}{n} \tag{4}$$

$$Accuracy = 100\% - Inaccuracy (\%) \tag{5}$$

Persamaan 3 memiliki keterangan: *Inaccuracy* merupakan persentase ketidakakuratan, *X* (Error/selisih), *SD* merupakan standar deviasi atau simpangan baku. Persamaan 4: \bar{X} merupakan nilai rata-rata, *SP* merupakan nilai setting point, *NA* adalah nilai aktual, dan *N* merupakan jumlah data.

b. Uji Stabilitas

Uji stabilitas dilakukan menggunakan data hasil pengujian akurasi yang telah disajikan dalam bentuk grafik maka didapatkan grafik stabilitas. Hasil uji stabilitas dihitung dengan menggunakan pengujian test re-test menggunakan microsoft excel memakai rumus korelasi yaitu rumus koefisien = CORREL. Alat dinyatakan reliabel jika koefisien korelasi positif dan signifikan. Korelasi uji pertama dan hasil uji selanjutnya diuji dengan korelasi *Product Moment* untuk mendapatkan koefisien korelasinya (Bajaj et al., 2012).

Pengamatan dalam Penerapan Sistem

Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy selama masa tanam dengan interval pengukuran setiap lima hari sejak 5 Hari Setelah Tanam (HST). Parameter pengamatan meliputi:

1. Jumlah daun (helai): Daun yang telah membuka sempurna dihitung setiap 5 HST.
2. Tinggi tanaman (cm): Diukur dari pangkal hingga pucuk tanaman.
3. Berat tanaman (gram): Diukur saat panen (± 25 HST), dengan standar mutu berupa pembersihan akar dan daun yang rusak sebelum penimbangan.

Pengamatan dilakukan pada 24 sampel acak, masing-masing 12 tanaman dari sistem hidroponik otomatis dan konvensional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan dan Pembuatan Instalasi Hidroponik DFT

Penelitian ini merancang dua instalasi hidroponik sistem DFT dengan ukuran kerangka sepanjang 130 cm, lebar 60 cm, tinggi bagian depan 70 cm, dan tinggi belakang 100 cm. Kerangka dibuat menggunakan pipa PVC berdiameter 1 inci (2,54 cm) dan dilengkapi dengan kanopi untuk mengurangi paparan sinar matahari langsung (Gambar. 6). Sistem DFT dipilih karena dapat mensirkulasikan nutrisi secara terus menerus dalam sistem tertutup, serta tetap mampu menyediakan oksigen saat listrik padam dalam waktu singkat. Instalasi ini memiliki pompa air dan rongga udara yang berfungsi membantu aerasi (Fitmawati et al., 2018).

Rancangan Alat Sistem Otomatis

Sistem kontrol otomatis terdiri dari Arduino Uno sebagai pusat kendali, sensor suhu DS18B20, sensor ultrasonik, LCD, adaptor, relay, dan pompa air DC. Alat ini dirancang untuk dua fungsi utama, yaitu pengaturan suhu otomatis dan pengisian bak penampungan otomatis. Pengaturan suhu otomatis, digunakan untuk menjaga agar suhu larutan nutrisi berada pada rentang 26°C hingga 28°C. Jika suhu terlalu tinggi atau melebihi batas yang ditentukan, maka pompa dapat menyala. Selanjutnya pengisian bak penampung secara otomatis dilakukan dengan menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian air serta mengaktifkan pompa jika air kurang dari batas minimum yaitu 30 cm.

Kalibrasi dan Validasi Sensor Suhu DS18B20 dan Sensor Ultrasonik.

1. Sensor Suhu DS18B20

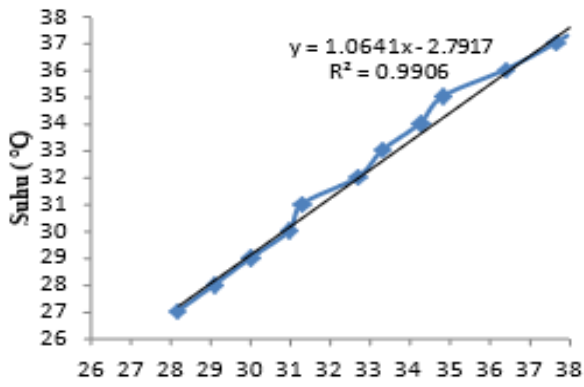
Hasil kalibrasi dari 4 sensor menunjukkan suhu DS18B20 yang menunjukkan masing-masing sensor memiliki karakteristik yang berbeda meskipun berasal tipe yang sama. Hal ini terlihat dari nilai persamaan regresi linear serta nilai koefisien determinan (R^2) yang didapatkan. Pengambilan data untuk kalibrasi sensor diukur selama satu jam dengan suhu berkisar 38°C - 27°C. Data yang didapatkan dicatat secara otomatis ke dalam *Microsoft excel* menggunakan *PLX-DAQ-R2*.



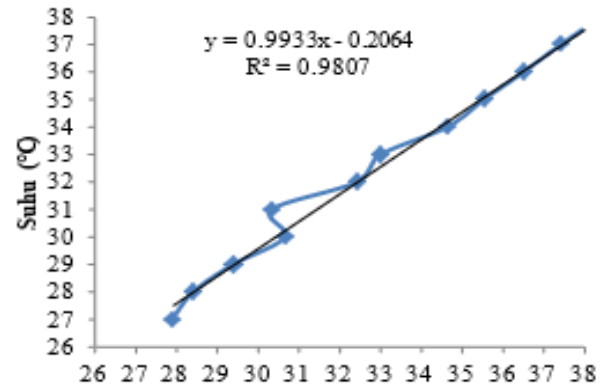
Gambar 6. Instalasi hidroponik DFT



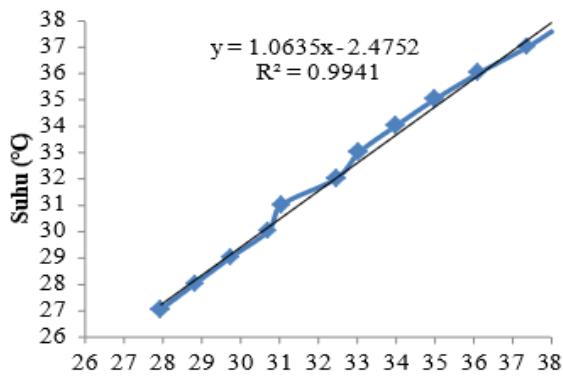
Gambar 7. Alat sistem otomatis



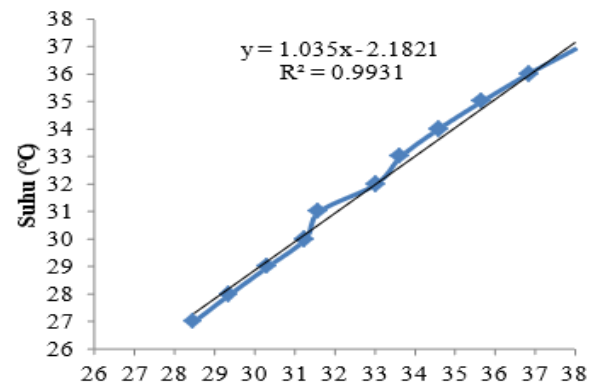
(a)



(b)

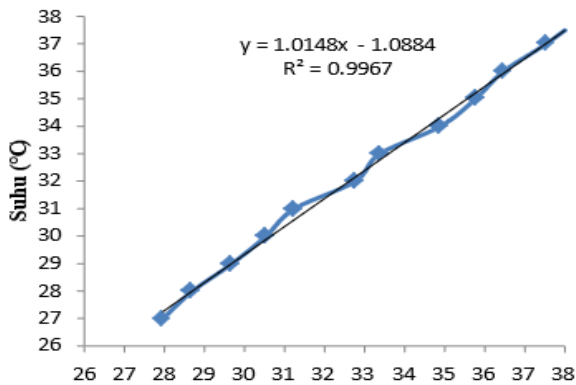


(c)

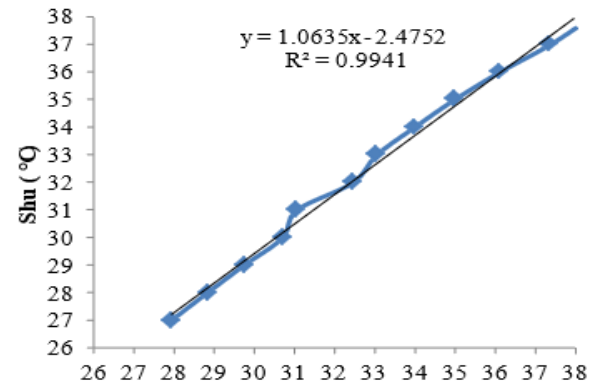


(d)

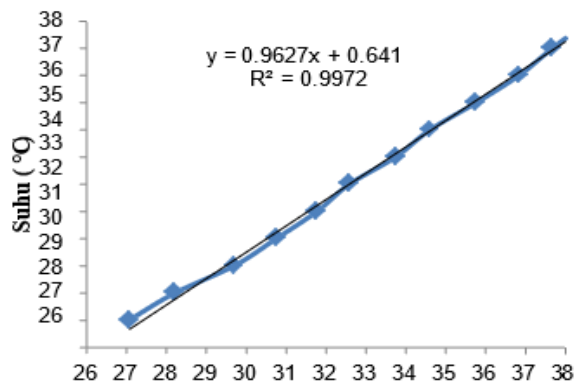
Gambar 8. Nilai kalibrasi sensor suhu: (a) DS18B20 I, (b) DS18B20 II, (c) DS18B20 III, (d) DS18B20 IV



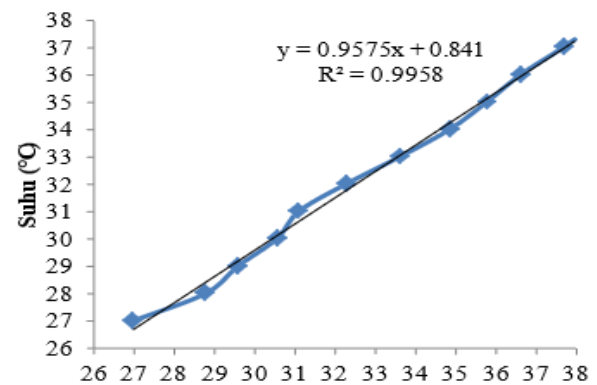
(a)



(b)

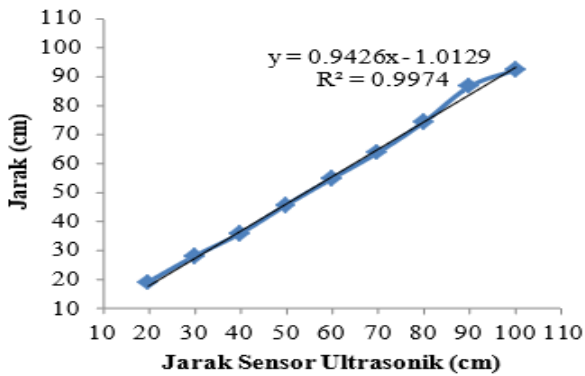


(c)

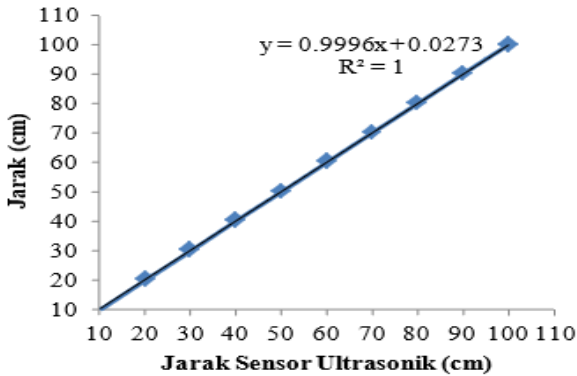


(d)

Gambar 9. Nilai validasi sensor suhu (a) DS18B20 I, (b) DS18B20 II, (c) DS18B20 III, (d) DS18B20 IV



Gambar 10. Nilai kalibrasi sensor ultrasonik



Gambar 11. Nilai validasi sensor ultrasonik

Sensor DS18B20 I dan III (Gambar a dan c) memiliki nilai regresi yang cukup tinggi, masing-masing sebesar 1.0641 dan 1.0635, yang menunjukkan pembacaan sensor sedikit lebih tinggi dari suhu actual. Nilai R^2 untuk keduanya yaitu 0.9906 dan 0.9941, yang menandakan pembacaannya linear antara sensor dengan kalibrator (Chicco et al., 2021).

Nilai Sensor suhu DS18B20 II (Gambar 8b) menunjukkan nilai regresi 0.9933 dan R^2 sebesar 0.9807. Nilai tersebut masih dalam kategori baik karena hasil pembacaan sensor memiliki tingkat kesesuaian tinggi terhadap nilai acuan, meskipun kurang konsisten pada titik suhu tertentu, seperti pada suhu 30°C. Sementara itu, sensor suhu DS18B20 IV (Gambar d) menunjukan performa yang cukup baik dengan nilai regresi $y = 1.035x - 2.182$ dan $R^2 = 0.9931$. Hasil ini menunjukkan tingkat kedekatan antara pembacaan sensor dan suhu referensi yang cukup akurat. Secara umum, keempat sensor menunjukkan pola hubungan linear yang baik terhadap suhu referensi namun, masih terdapat deviasi pada titik tertentu yang mengindikasikan sensor belum stabil dan perlu tahap validasi lanjut.

Setelah itu, dilakukan validasi sensor dengan cara pengambilan data selama satu jam. Nilai data yang didapat dibuatkan grafik regresi linear untuk memasukkan persamaan regresi ke dalam program Arduino. Hasil validasi menunjukkan bahwa semua sensor memiliki akurasi tinggi dengan nilai $R^2 > 0.99$, yang berarti sensor layak digunakan dalam sistem. Kelayakan sensor dapat dilihat dari sensor yang memiliki akurasi dan konsistensi pengukuran yang tinggi serta kesalahan yang rendah. Sensor juga mampu menghasilkan data yang valid dan stabil. Nilai validasi sensor dapat dilihat pada Gambar 9.

2. Sensor Ultrasonik

Kalibrasi sensor ultrasonik dilakukan dengan membandingkan hasil bacaannya terhadap pengukuran menggunakan meteran. Nilai R^2 hasil kalibrasi adalah 0.9974 (Gambar 10), sedangkan setelah validasi meningkat menjadi $R^2 = 1$ (Gambar 11). Ini menandakan bahwa sensor sangat akurat setelah dikalibrasi dan divalidasi.

Hasil pengukuran kalibrasi (Gambar 10) sensor ultrasonik memiliki pembacaan yang sangat baik dan presisi. Namun demikian, nilai kemiringan (slope) regresi sebesar 0,9426 yang lebih kecil dari 1 mengindikasikan adanya kecenderungan *underestimation*, yaitu sensor membaca jarak sedikit lebih kecil dibandingkan jarak actual, terutama pada jarak yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa di balik presisi yang tinggi masih terdapat bias sistematis yang relatif kecil pada sensor. Bias tersebut mengindikasikan kecenderungan pengukuran yang sedikit lebih rendah dari nilai sebenarnya, namun karena hubungan linear tetap kuat dan deviasi tidak signifikan, sensor masih dapat dikategorikan memiliki kinerja yang baik dan layak digunakan, khususnya setelah dilakukan koreksi menggunakan persamaan kalibrasi.

Uji Kinerja Alat

Uji kinerja dilakukan untuk mengetahui alat yang sudah dibuat sesuai dengan yang diinginkan. Uji kinerja dilakukan setelah pengujian kalibrasi dan validasi sensor. Sensor yang digunakan yaitu sensor suhu DS18B20 dengan kalibrator menggunakan termometer air raksa, sedangkan sensor Ultrasonik dengan menggunakan kalibrator meteran.

Uji Akurasi Sensor

1. Uji Akurasi Sensor Suhu DS18B20

Berdasarkan pada nilai rata-rata persentase error setiap sensor suhu DS18B20 sebesar 2.16%, 1.55%, 1.83% dan 1.90%. Nilai rata-rata akurasi setiap sensor suhu DS18B20 sebesar 97.84%, 98.45%, 98.17% dan 98.10%. Berdasarkan penelitian sebelumnya jika nilai akurasi sensor ≥ 95 dengan toleransi kesalahan sebesar 5% ($\alpha=0,05$) maka sensor dinyatakan sangat baik. Hasil nilai akurasi sensor suhu DS18B20 dapat dinyatakan baik karena telah ≥ 95 .

2. Uji Akurasi Sensor Ultrasonik

Berdasarkan hasil uji kinerja yang telah dilakukan pada sensor ultrasonik didapatkan rata-rata persentase error sebesar 0.17% dan nilai akurasi 99.83%. Nilai tersebut dinyatakan sangat baik karena telah ≥ 95 . Beberapa error terjadi karena adanya ketidaktepatan dalam peletakan sensor saat melakukan uji akurasi, jika peletakan sensor miring maka akan berpengaruh pada pembacaan sensor.

Uji Stabilitas Sensor

1. Uji Stabilitas Sensor Suhu DS18B20

Uji stabilitas dilakukan pada dua titik suhu, yaitu 27°C dan 32°C. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor suhu mampu membaca dengan stabil dan konsisten, dengan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* mendekati nol (Tabel 1 dan 2).

2. Uji Stabilitas Sensor Ultrasonik

Hal yang sama berlaku untuk sensor ultrasonik, meskipun ada sedikit kesalahan pada beberapa ulangan, namun secara keseluruhan hasil pembacaan tetap stabil (Tabel 3 dan 4).

Penerapan Sistem Otomatis Instalasi Hidroponik

Setelah semua sensor terkalibrasi dan divalidasi, sistem otomatis dipasang pada instalasi hidroponik. Pengambilan data saat pengujian dilakukan selama 2 jam sekali atau pada saat suhu berubah 1°C. Sensor suhu mengendalikan pompa berdasarkan suhu air, dengan pompa menyala saat suhu melebihi 28°C. Dari hasil pengamatan, pompa menyala pada pukul 09.00 hingga 17.00 dengan suhu lingkungan mencapai 30°C hingga 34°C. Suhu tinggi tersebut dipengaruhi oleh paparan sinar matahari langsung yang mengenai instalasi hidroponik serta jadwal tanam yang bertepatan pada musim kemarau sehingga menyebabkan suhu naik cukup tinggi (Tabel 5).

Tabel 1. Hasil pengujian stabilitas sensor suhu DS18B20 pada *setting point* 27°C

No	Setting point (°C)	Suhu Aktual (°C)	Error (%)	Error Kuadrat (%)
1	27	27.1	-0.1	0.01
2	27	27.1	-0.1	0.01
3	27	27.1	-0.1	0.01
4	27	27.1	-0.1	0.01
5	27	27.1	-0.1	0.01
6	27	27.06	-0.06	0.003
7	27	27.06	-0.06	0.003
8	27	27.06	-0.06	0.003
9	27	27.06	-0.06	0.003
10	27	27.06	-0.06	0.003
11	27	27	0	0
12	27	27	0	0
13	27	27	0	0
14	27	27	0	0
15	27	27	0	0
Standar Deviasi		0.043		
Total				0.068
MSE			0.004	
RMSE			0.067	

Tabel 2. Hasil pengujian stabilitas sensor suhu DS18B20 pada *setting point* 32°C

No	Setting point (°C)	Suhu Aktual (°C)	Error (%)	Error Kuadrat (%)
1	32	32.06	-0.06	0.0036
2	32	32.06	-0.06	0.0036
3	32	32.06	-0.06	0.0036
4	32	32.06	-0.06	0.0036
5	32	32.06	-0.06	0.0036
6	32	32.06	-0.06	0.0036
7	32	32.06	-0.06	0.0036
8	32	32.06	-0.06	0.0036
9	32	32	0	0
10	32	32	0	0
11	32	32	0	0
12	32	32	0	0
13	32	32	0	0
14	32	32	0	0
15	32	32	0	0
Standar Deviasi		0.031		
Total				0.0288
MSE			0.00192	
RMSE			0.043818	

Tabel 3. Hasil uji stabilitas sensor ultrasonik pada *setting point* 30 cm

No	Setting point (cm)	Jarak (cm)	Error (%)	Error Kuadrat (%)
1	30	30	0	0
2	30	30	0	0
3	30	30	0	0
4	30	30	0	0
5	30	30	0	0
6	30	30	0	0
7	30	30	0	0
8	30	30	0	0
9	30	30	0	0
10	30	30	0	0
11	30	30	0	0
12	30	29	1	1
13	30	29	1	1
14	30	30	0	0
15	30	30	0	0
Standar Deviasi		0.352		

Tabel 3. (Lanjutan)

No	Setting point (cm)	Jarak (cm)	Error (%)	Error Kuadrat (%)
Total				2
MSE		0.133		
RMSE		0.365		

Tabel 4. Hasil uji stabilitas sensor ultrasonik pada *setting point* 90 cm

No	Setting point (cm)	Jarak (cm)	Error (%)	Error Kuadrat (%)
1	90	90	0	0
2	90	90	0	0
3	90	90	0	0
4	90	89	1	1
5	90	90	0	0
6	90	90	0	0
7	90	90	0	0
8	90	90	0	0
9	90	90	0	0
10	90	91	-1	1
11	90	90	0	0
12	90	90	0	0
13	90	90	0	0
14	90	90	0	0
15	90	90	0	0
Standar Deviasi		0.378		
Total				2
MSE		0.133		
RMSE		0.365		

Tabel 5. Hasil pengujian sensor suhu DS18B20 pada instalasi

Waktu	Pompa	S1	S2	S3	S4	Termometer (°C)
06:50	off	27.58	27.88	27.45	27.78	27
09:00	on	28.13	28.45	28.09	28.35	28
11:00	on	31.15	31.47	31.17	31.4	31
13:00	on	31.16	31.28	31.16	31.33	31
15:00	on	32.6	32.8	32.65	32.98	32
17:00	on	30.05	30.23	30.1	30.35	30
05:30	off	26.16	26.32	26.18	26.45	26
08:00	on	28.05	28.22	28.11	28.32	28
10:00	on	28.02	28.14	28.09	28.25	28
12:00	on	31.32	31.43	31.45	31.56	31
14:00	on	32.13	32.35	32.23	32.46	32
16:00	on	32.19	32.23	32.33	32.42	32
08:00	on	28.25	28.32	28.28	28.45	28
10:00	on	28.05	28.22	28.11	28.32	28
12:00	on	29.2	29.41	29.09	29.25	29
14:00	on	31.32	31.43	31.45	31.56	31
15:00	on	32.13	32.35	32.23	32.46	32
19:00	off	27.23	27.3	27.33	27.42	27

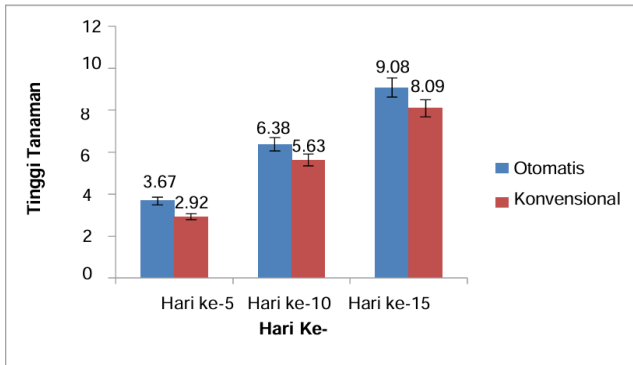
Keterangan: S1: Sensor DS18B20 I; S2: Sensor DS18B20 II; S3: Sensor DS18B20 III; S4: Sensor DS18B20 IV

Sensor ultrasonik digunakan untuk menjaga ketinggian air di bak penampung (Mardina et al., 2022). Ketika ketinggian air turun hingga 15 cm, pompa menyala untuk mengisi ulang air hingga mencapai 50 cm (Tabel 6). Pompa

yang mengisi bak penampung hanya berisi air biasa tanpa campuran nutrisi. Nutrisi akan ditambahkan ketika dibawah rentang 600-800 ppm yang berupa larutan AB-mix.

Tabel 6. Hasil pengamatan sensor ultrasonik

Tanggal	Waktu	Suhu Sistem (°C)	Pompa	Ketinggian Air (cm)	Nutrisi (ppm)
20/11/2023	07:00	26.26	off	50	300
27/11/2023	16:00	30.12	on	15	600
02/12/2023	18:00	28.23	on	40	340



Gambar 12. Rata-rata tinggi tanaman pakcoy

Hasil pemantauan sistem Pada tanggal 20 November 2023 pukul 07:00, suhu air tercatat sebesar 26.26°C, berada di bawah ambang batas suhu maksimum (28°C), sehingga pompa dalam kondisi mati. Ketinggian air berada pada level optimal yaitu 50 cm, dan konsentrasi nutrisi sebesar 300 ppm. Pada tanggal 27 November 2023 pukul 16:00, suhu meningkat menjadi 30.12°C, memicu aktivasi otomatis pompa. Penurunan ketinggian air menjadi 15 cm disertai peningkatan konsentrasi nutrisi hingga 600 ppm mengindikasikan penguapan atau konsumsi air oleh tanaman yang menyebabkan larutan nutrisi menjadi lebih pekat. Namun, ada beberapa penyebab yang terjadi saat pengamatan yaitu pompa tidak bekerja pada saat *setting point* 30cm. Hal tersebut disebabkan adanya keterlambatan respon sistem dan debit air yang keluar terlalu besar sehingga pompa bekerja setelah ketinggian air turun cukup jauh dari *setting point* yang diberikan.

Tanggal 02 Desember 2023 pukul 18:00, suhu sistem tercatat 28.23°C, tetap memicu aktivasi pompa. Ketinggian air meningkat menjadi 40 cm dan konsentrasi nutrisi turun ke 340 ppm, menunjukkan adanya penambahan air ke dalam sistem yang menyebabkan pengenceran larutan. Data ini menunjukkan bahwa sistem hidroponik otomatis bekerja secara responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan untuk menjaga kestabilan parameter penting dalam pertumbuhan tanaman, sesuai dengan fungsi yang telah dirancang.

Sistem Konvensional

Sistem ini bekerja berdasarkan kontrol ON/OFF manual tanpa pengaturan yang presisi sehingga air tetap mengalir setiap saat. Pengecekan sistem konvensional dilakukan secara berkala pada pagi pukul 07.00 WIB. Siang hari pukul 13.00 dan sore hari pukul 18.00 WIB. Perbedaan suhu dan aktivitas tanaman pada ketiga waktu tersebut mempengaruhi penguapan air, serta konsentrasi nutrisi, sehingga pengukuran pada tiga periode ini memberikan gambaran kondisi sistem yang representatif sebagai pembandingan dengan sistem otomatis.

Efisiensi air dan nutrisi pada sistem konvensional sangat rendah karena nutrisi sering terbuang dan pemakaian air tidak optimal. Sistem konvensional juga masih bergantung

pada tenaga manusia seperti penambahan air dan menyalakan pompa.

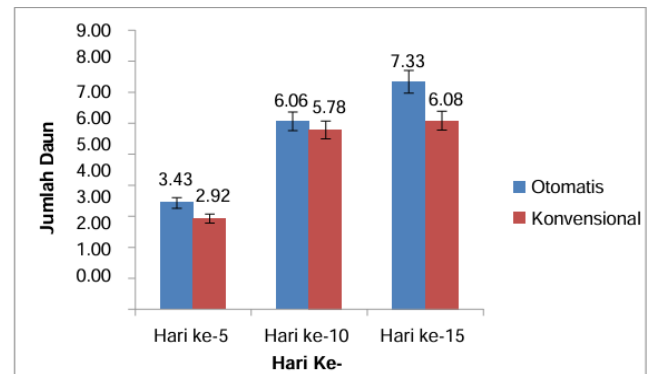
Analisis Data Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan dilakukan terhadap tanaman pakcoy menggunakan dua sistem: otomatis dan konvensional. Sistem otomatis pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler yang diatur sesuai dengan program yang diinginkan, sedangkan konvensional hanya ON/OFF pompa air yang masih menggunakan bantuan tenaga manusia begitu juga dengan pengisian air bak penampung yang juga membutuhkan tenaga manusia. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat tanaman (Agustin et al., 2024).

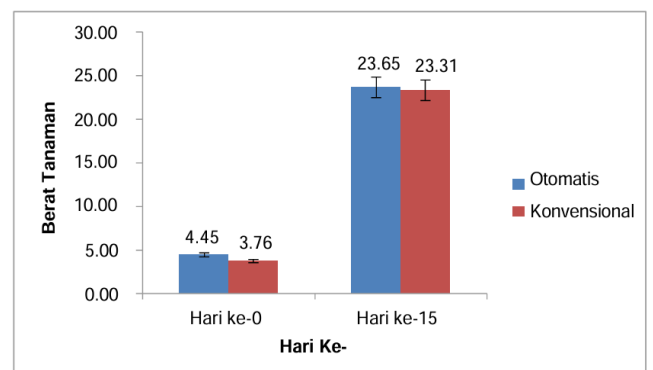
1. Tinggi Tanaman pada Gambar 12: Tanaman pada sistem otomatis tumbuh sedikit lebih tinggi dibanding sistem konvensional.
2. Jumlah Daun pada Gambar 13: Sistem otomatis menunjukkan rata-rata jumlah daun lebih banyak (Hakim et al., 2015).
3. Berat Tanaman pada Gambar 14: Berat rata-rata tanaman pada sistem otomatis sedikit lebih tinggi (23.65 g) dibanding sistem konvensional (23.31 g).

Analisis Uji ANOVA

Pengambilan data hasil uji ANOVA dilakukan selama 15 HST dengan interval 5 hari sekali. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan kontrol suhu dan volume larutan nutrisi menghasilkan nilai yang tidak signifikan. Namun, kontrol suhu yang dilakukan pada sistem otomatis memiliki nilai pengukuran yang lebih tinggi dari pada nilai pengukuran pada konvensional. Hal ini terjadi karena suhu pada sistem otomatis tetap berada pada suhu ideal tanaman pakcoy yang mampu meningkatkan efisiensi metabolisme perakaran.



Gambar 13. Rata-rata jumlah daun tanaman pakcoy



Gambar 14. Rata-rata berat tanaman pakcoy

Tabel 7. Hasil uji ANOVA pada tinggi tanaman

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.920	1	12.920	1.780	.187
Within Groups	508.159	70	7.259		
Total	521.079	71			

Tabel 8. Hasil uji ANOVA pada jumlah daun

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.125	1	10.125	2.507	.118
Within Groups	282.750	70	4.039		
Total	292.875	71			

Tabel 9. Hasil uji ANOVA pada berat tanaman

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.157	1	3.157	.031	.861
Within Groups	4651.913	46	101.129		
Total	4655.070	47			

Tabel 10. Biaya Pemakaian Listrik

Alat	Jumlah (Unit)	Waktu Pemakaian (Jam)	Energi (kWh)	Biaya/ Bulan (Rp)
Arduino	2	24	0.0144	0.633
Pompa (DC)	2	11	0.2376	10.456
DS18B20	1	12	0.00036	0.016
Ultrasonik	1	2	0.00015	0.006
Total				11.112

Biaya Pemakaian Listrik

Penggunaan sistem otomatis memerlukan listrik, terutama untuk mengoperasikan sensor dan pompa. Biaya listrik dihitung berdasarkan konsumsi daya selama proses penelitian. Meskipun menggunakan listrik, sistem otomatis dapat menghemat energi karena pompa hanya menyala saat dibutuhkan, berbeda dengan sistem konvensional yang menyala terus-menerus.

KESIMPULAN

Hasil rancangan kinerja sistem berbasis Arduino Uno pada hidroponik DFT didapatkan nilai rata-rata R^2 validasi yang cukup baik untuk sensor suhu DS18B20 yaitu 0.99, nilai akurasi rata-rata 98,14, kemudian nilai R^2 validasi ultrasonik adalah 1, nilai akurasi sensor sebesar 99.83%. nilai yang diperoleh dari membandingkan sensor dan kalibrator dapat dinyatakan presisi, tetapi tidak akurat.

Penerapan otomatis sistem hidroponik DFT pada pertumbuhan tanaman pakcoy terlihat perbedaannya dengan sistem hidroponik DFT yang pompa terus-menerus menyala. Tinggi tanaman tertinggi sebesar 12 cm, jumlah daun 9 helai dan berat 28.34 g. Tinggi tanaman terendah

sebesar 4 cm, jumlah daun 4 helai dengan berat 14.57 g. Hasil uji ANOVA pada pertumbuhan tanaman pakcoy didapatkan tidak adanya pengaruh yang signifikan antara sistem hidroponik otomatis dengan sistem konvensional selama 15 HST, hal ini dikarenakan tanaman belum mencapai pertumbuhan optimum saat melakukan pemanenan, namun dengan adanya sistem otomatis ini dapat mempermudah dalam mengontrol suhu dan pengairan sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Penelitian "Rancang Bangun Sistem Hidroponik Deep Flow Technique (DFT) Otomatis dengan Kontrol Suhu dan Volume Larutan Nutrisi pada Tanaman Pakcoy" menunjukkan bahwa penerapan sistem otomatis mampu meningkatkan stabilitas parameter lingkungan tumbuhan, khususnya pada suhu dan volume larutan nutrisi pada bak penampung, sehingga kondisi pertumbuhan tanaman menjadi lebih optimal. Sistem otomatisasi juga berkontribusi terhadap efisiensi penggunaan air dan nutrisi dan peningkatan konsistensi produksi. Secara praktis, teknologi ini mendukung pengembangan pertanian presisi dan budidaya hidroponik berkelanjutan, terutama pada lingkungan terbatas, serta berpotensi meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, L. A., Priyati, A., & Setiawan, D. A. (2024). Pengaruh Waktu Pengairan Nutrisi Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) dengan Sistem Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique). *J-AGENT*, 14(1), 563–567.
- Amaluddin, F., & Haryoko, A. (2019). Analisa Sensor Suhu dan Tekanan Udara terhadap Ketinggian Air Laut Berbasis Mikrokontroler. *ANTIVIRUS: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 13(2), 98–104. <https://doi.org/10.35457/antivirus.v13i2.843>
- Bajaj, S., Singla, D., & Sakhuja, N. (2012). Stability testing of pharmaceutical products. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(3), 129–138. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2012.2322>
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, 1–24. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.623>
- Chobir, A., Andang, A., & Hiron, N. (2017). Sistem Deteksi Elevasi permukaan Air Sungai dengan Sensor Ultrasonik Berbasis ARDUINO. *Jurnal Siliwangi, Seri Sains Dan Teknologi*, 3(1), 149–155. <https://doi.org/10.37058/jssainstek.v3i1.241>
- Fitmawati, F., Isnaini, I., Fatolah, S., Sofiyanti, N., & Roza, R. M. (2018). Penerapan teknologi hidroponik sistem deep flow technique sebagai usaha peningkatan pendapatan petani di Desa Sungai Bawang. *Riau Journal of Empowerment*, 1(1), 23–29. <https://doi.org/10.31258/raje.1.1.3>
- Hakim, Hendrawan, & Lutfi. (2015). Rancang Bangun Plant Factory untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Rapa var. Parachinensis*) dengan Menggunakan Light Emitting Diode Merah dan Biru. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 3(3), 382–390.
- Harini, R., Winarwan, D., & Supriyati. (2011). Analisis Luas Lahan Pertanian Terhadap Produksi Padi di Kalimantan Utara. *Jurnal Kawistara*, 1(3), 17–31. <https://journal.ugm.ac.id/kawistara/article/view/3922/3204>

- Hariono, T., & Fajriyah, L. F. (2021). Monitoring Sistem Otomatisasi Hidroponik Berbasis Mobile. *Exact Papers in Compilation (EPiC)*, 3(1), 347–352. <https://doi.org/10.32764/epic.v3i1.535>
- Hidayatullah, P., Orisa, M., & Mahmudi, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (Iot). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 1200–1207. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5433>
- Jiménez-Barrionuevo, M. M., García-Morales, V. J., & Molina, L. M. (2011). Validation of an Instrument to Measure Absorptive Capacity. *Technovation*, 31(5–6), 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.12.002>
- Mardina, V., Al Faraby, M., Ara, M., & Karang Baru, K. (2022). Pengaruh Nutrisi AB Mix terhadap Petumbuhan Sawi Pakcoy dan Selada Hijau dengan Sistem Hidroponik The Effect of AB Mix Nutrients on the Growth of Pakcoy Mustard and Green Lettuce Using a Hydroponic System. *Biologica Samudra*, 4(1), 32–42. <https://doi.org/10.33059/jbs.v4i1.4136>
- Mochtiarsa Yoni, S. B. (2016). Rancangan Kendali Lampu Menggunakan Mikrokontroler ATmega328 Berbasis Sensor Getar. *Jurnal Informatika SIMANTIK*, 1(1), 40–44. <https://www.simantik.pancasakti.ac.id/index.php/simantik/article/view/6/12>
- Mohammad, L., Khamim Asy, M., Husna, U., Pakpahan, S., Kunci-Baterai, K., Otomatis, H., Ppm, K., PH, N., Buatan, P., & Surya, P. (2021). Pengembangan Sistem Hidroponik Otomatis-Modern Berbasis Panel Surya dan Baterai (Development of Modern Automatic Hydroponic Systems Based on Solar Panels and Batteries). *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 10(1).
- Prayitno Wahyu Adi, Muttaqin Adharul, & Syauqy Dahnia. (2017). Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Pengendali Penyiraman Tanaman Hdiroponik Menggunakan Blynk Android. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi dan Ilmu Komputer*, 1(4), 292–297. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/87/46>
- Pudjiwati, E. H., & Asmina, D. D. (2020). Pengaruh Model Styrofoam dan Sistem Hidroponik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (Brassica Rapa L.). *J-PEN Borneo : Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 26–33. <https://doi.org/10.35334/jpen.v2i2.1512>
- Ridwan, M., & Sari, K. M. (2021). Penerapan IoT dalam Sistem Otomatisasi Kontrol Suhu, Kelembaban, dan Tingkat Keasaman Hidroponik. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(4), 481. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i4.481-487>
- Telaumbanua, M., Triyono, S., Haryanto, A., & Wisnu, F. K. (2019). Controlled electrical conductivity (EC) of tofu wastewater as a hydroponic nutrition. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 453–462.
- Wibowo, S. (2020). Pengaruh Aplikasi Tiga Model Hidroponik DFT Terhadap Tanaman Pakcoy (Brassica rapa L.). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(3), 245–252. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.03.06>
- Wirawan, W. A., Wirosodarmo, R., & Susanawati, L. D. (2014). Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Tanaman Kayu Apu (Pistia Stratiotes L .) (Deep Flow Technique) Domestic Wastewater Treatment Using Water Lettuce (Pistia stratiotes L .) Planting With DFT (Deep Flow Technique) Hydroponic System. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 1, 63–70.

Halaman ini sengaja dikosongkan