

MICHINE: Sistem Monitoring dan Penyiraman Otomatis untuk Budidaya Microgreen Wheatgrass sebagai Pakan Qurban

Dimas Ali Mukhtar¹, Daffa Faturrahman², Muhammad Lahwa Alghifari³, Febrian Joyo Kusumo⁴, Ade Maulana⁵, Lia Kamelia⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. AH. Nasution 105
Bandung, 40614, Indonesia

Korespondensi: dimasalimukhtar@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received: 09-12-2023

Revised: 22-06-2025

Accepted: 24-06-2025

Abstrak

Pada era modernisasi, sektor peternakan menghadapi tantangan pemenuhan pakan berkualitas, khususnya saat musim qurban. *Wheatgrass* dengan metode *microgreen* menjadi alternatif pakan bernutrisi tinggi, namun budidayanya memerlukan perawatan intensif yang menurunkan efisiensi tenaga kerja jika dilakukan secara manual. Penelitian ini bertujuan merancang *Microgreen Feed Machine* (MICHINE), sebuah sistem penyiraman otomatis dan monitoring berbasis *web server* lokal menggunakan ESP-32. Pendekatan *Research and Development* (R&D) digunakan dengan metode pengujian eksperimental untuk mengukur kinerja sensor dan akurasi sistem. Berdasarkan pengujian, modul RTC berhasil menjadwalkan penyiraman dengan presisi tinggi sesuai waktu aktual. Sensor DHT22 menunjukkan akurasi pengukuran suhu rata-rata sebesar 99,72% dan kelembaban 94,49%, sementara sensor ultrasonik mampu mendeteksi kesiapan panen dengan selisih error yang minim. Implementasi *web server* lokal terbukti andal dalam menyajikan data *real-time* tanpa ketergantungan pada koneksi internet eksternal. Sistem ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional dengan mengurangi intervensi manual, menjadikan budidaya *wheatgrass* untuk pakan qurban lebih ekonomis dan praktis.

Kata kunci: Microgreen, Otomatisasi Pertanian, Pakan Hewan Qurban, Web Server Monitoring, Wheatgrass.

MICHINE: Automatic Monitoring and Watering System for Wheatgrass Microgreen Cultivation as Qurban Fodder

Abstract

In the modernization era, the livestock sector faces challenges in meeting quality feed demands, particularly during the qurban season. Wheatgrass cultivated via the microgreen method offers a high-nutrient alternative, yet its cultivation requires intensive care, reducing labor efficiency in manual operations. This study aims to design the Microgreen Feed Machine (MICHINE), an automatic watering and monitoring system based on a local web server using ESP-32. A Research and Development (R&D) approach was employed with experimental testing to measure sensor performance and

system accuracy. Results indicate that the RTC module successfully scheduled watering with high precision. The DHT22 sensor demonstrated an average temperature accuracy of 99.72% and humidity accuracy of 94.49%, while the ultrasonic sensor effectively detected harvest readiness with minimal error. The implementation of a local web server proved reliable in delivering real-time data without relying on external internet connections. The system significantly enhances operational efficiency by reducing manual intervention, making wheatgrass cultivation for qurban feed more economical and practical.

Key words: *Automation in Agriculture, Livestock Feed for Qurban, Microgreen, Web Server Monitoring, Wheatgrass.*

1. Pendahuluan

Musim qurban menjadi salah satu periode besar yang peringati oleh mayoritas masyarakat muslim di Indonesia, pada musim qurban permintaan dari hewan ternak khususnya sapi dan kambing meningkat drastis. Sesuai data Badan Pusat Statistik (BPS) bahwa dalam empat tahun terakhir permintaan hewan ternak sebagai hewan qurban meningkat sebesar 9.73% artinya kebutuhan terhadap hewan ternak berupa sapi, domba, kambing dan kerbau secara rata-rata keseluruhan meningkat sekitar 4,075 juta hewan qurban sejak 2019 [1]. Hal tersebut menjadi hal menjanjikan potensi keuntungan yang besar bagi para peternak hewan ternak. Oleh karena itu, fokus utama bagi para peternak dan komunitas yang terlibat dalam persiapan penyembelihan hewan qurban adalah penyediaan pakan yang berkualitas dan memadai. Secara tradisional, rumput menjadi sumber pakan utama bagi hewan qurban, terutama sapi dan kambing. Namun, keberadaan pakan rumput yang memenuhi standar kualitas sangat penting untuk memastikan kesejahteraan dan kesehatan hewan qurban serta kualitas produk daging yang dihasilkan. Namun dalam pengadaan rumput ini terdapat beberapa kendala yang berlanjut pada distribusi dan ketersediaan rumput yang seringkali menjadi hambatan yang memiliki pengaruh besar terhadap operasional. Proses distribusi yang memerlukan biaya tinggi dan waktu yang panjang untuk penanaman rumput menjadi hal yang seringkali menjadi kendala yang serius. Jika diambil contoh pada rumput yang sering digunakan pada sebagai pakan ternak diantaranya adalah rumput gajah yang memerlukan jangka waktu 60-90 hari untuk dapat dipanen [2], sehingga untuk kebutuhan hewan qurban ini akan menjadi hal yang bertolak belakang karena pada hewan qurban diharapkan untuk mendapatkan penambahan berat badan yang cepat menjelang waktu penyembelihan, ketersediaan pakan menjadi sangat krusial.

Dalam menjawab tantangan tersebut muncul alternatif baru sebagai bahan pakan yaitu *microgreen wheatgrass* atau yang sering disebut dengan dengan rumput gandum yang menjadi opsi pakan hewan ternak yang menjanjikan. *Microgreen wheatgrass* menawarkan berbagai keunggulan, termasuk kandungan nutrisi yang kaya dan kemampuan untuk tumbuh dengan cepat dalam waktu yang relatif singkat [3]. Jika dibandingkan, rumput gandum ini dapat dipanen pada 7-14 hari serta memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi [4]. Namun dengan keunggulan tersebut, penanaman *microgreen wheatgrass* tidak semudah yang dibayangkan. Proses penanaman memerlukan perawatan yang intensif, termasuk penyiraman yang teratur, serta stabilitas suhu dan kelembaban

yang terjaga pada ruang penanaman. Terlebih dengan teknik penanaman yang umum digunakan, seperti hidroponik, menambah kompleksitas dalam pemeliharaan tanaman *wheatgrass* ini. Sehingga dengan perlakuan tersebut dalam penanamannya jika dilakukan dalam skala besar akan menimbulkan keterlibatan tenaga manusia yang cukup besar serta menjadi pekerjaan yang memakan waktu juga tenaga untuk rutinitas harian seperti penyiraman dan pemantauan kondisi tanaman. Berdasarkan hal tersebut jika keterbatasan sumber daya manusia dalam produksinya akan menghambat efisiensi produksi dan mempengaruhi kualitas pakan yang dihasilkan. Berdasarkan hal yang melatar belakangi, muncul kebutuhan akan inovasi teknologi yang dapat mengotomatisasi dan mengoptimalkan proses penanaman dan pengawasan pada pertumbuhan *microgreen wheatgrass* yang ditanam dengan metode hidroponik tersebut. Inovasi yang diharapkan adalah inovasi yang dapat pula meminimalkan keterlibatan tenaga manusia serta meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi dari *microgreen wheatgrass* yang diproyeksikan sebagai pakan hewan qurban.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomatisasi pertanian berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengatasi masalah efisiensi tenaga kerja. Sistem berbasis IoT yang terhubung ke *cloud* (awan) memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui internet dan telah banyak diterapkan pada budidaya hidroponik. Namun, penerapan IoT berbasis *cloud* memiliki kelemahan signifikan, yaitu ketergantungan penuh pada stabilitas koneksi internet. Di area peternakan atau pertanian yang seringkali berada di lokasi dengan jangkauan sinyal yang buruk, latensi jaringan dapat menyebabkan kegagalan pengiriman data *real-time* dan sistem menjadi tidak responsif. Selain itu, biaya berlangganan layanan *cloud* dan infrastruktur internet menambah beban operasional bagi peternak skala kecil hingga menengah.

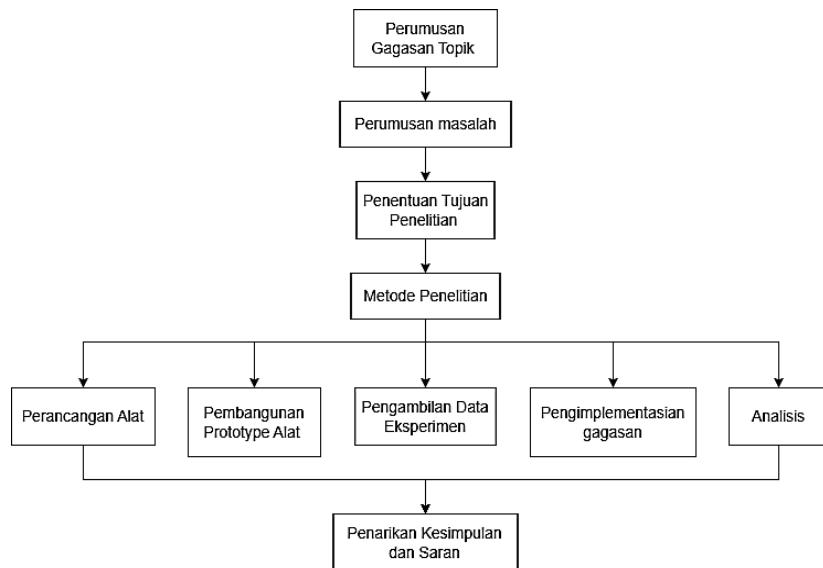
Terdapat kesenjangan (*gap*) penelitian di mana dibutuhkan sebuah sistem yang memiliki kemampuan monitoring digital namun mandiri dari koneksi internet publik untuk menjamin keandalan data dan menekan biaya. Penggunaan arsitektur *Web Server* lokal (Local Area Network) menjadi solusi yang belum banyak dieksplorasi secara spesifik untuk kasus pakan ternak *microgreen*. Dengan metode ini, ESP32 bertindak sebagai server independen yang dapat diakses langsung oleh perangkat di sekitarnya tanpa memerlukan kuota internet atau server pihak ketiga.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan "MICHINE" yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan antarmuka *Web Server* lokal. Pendekatan ini dipilih untuk menutupi kelemahan sistem IoT konvensional dari segi biaya dan stabilitas koneksi, sekaligus memberikan akurasi penjadwalan penyiraman berbasis *Real-Time Clock* (RTC) yang presisi.

2. Metode

Prosedur penelitian ini diawali dengan perumusan gagasan, penetapan rumusan masalah, dan tujuan. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) yang bertujuan merancang dan mengembangkan alat "Microgreen Feed Machine (MICHINE)" berbasis ESP32. Tahapan R&D ini mencakup perancangan konsep, perakitan prototipe, pemrograman sistem, serta pengujian fungsionalitas dan kinerja. Data kuantitatif

diperoleh dari eksperimen alat, yang kemudian dianalisis menggunakan teknik deskriptif untuk mengevaluasi performa, efektivitas, kestabilan otomatisasi, akurasi waktu RTC, dan komunikasi *web server* lokal. Hasil evaluasi ini menjadi dasar penarikan kesimpulan dan rekomendasi, di mana keseluruhan urutan penelitian dirangkum dalam diagram blok.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Dengan mengikuti rangkaian prosedur tersebut, penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur untuk mencapai hasil yang valid dan aplikatif sesuai tujuan yang telah ditetapkan.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif berbasis eksperimen lapangan sebagai bagian dari *Research and Development* (R&D). Pendekatan ini dipilih untuk melakukan pengukuran yang sistematis dan objektif terhadap variabel penelitian, yaitu akurasi modul RTC dalam menentukan waktu penyiraman *real-time* serta ketepatan sensor DHT22 dalam mengukur suhu dan kelembaban. Tujuan utamanya adalah menghasilkan temuan yang dapat diukur dan diuji secara statistik untuk mendukung hipotesis penelitian [5].

Pengujian sistem dilakukan secara intensif selama 4 hari berturut-turut pada tanggal 4–7 Mei 2024. Eksperimen dilakukan pada lingkungan dalam ruangan (*indoor*) dengan kondisi pencahayaan alami dan suhu ruang rata-rata 25–30°C. Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan metode replikasi data sebanyak 15 kali pengambilan sampel data acak (*random sampling*) pada interval waktu yang berbeda untuk memastikan konsistensi pembacaan. Variabel yang diuji meliputi penyimpangan waktu (*drift*) pada modul RTC, selisih pembacaan suhu dan kelembaban dibandingkan alat ukur yang responsivitas sistem penyiraman otomatis.

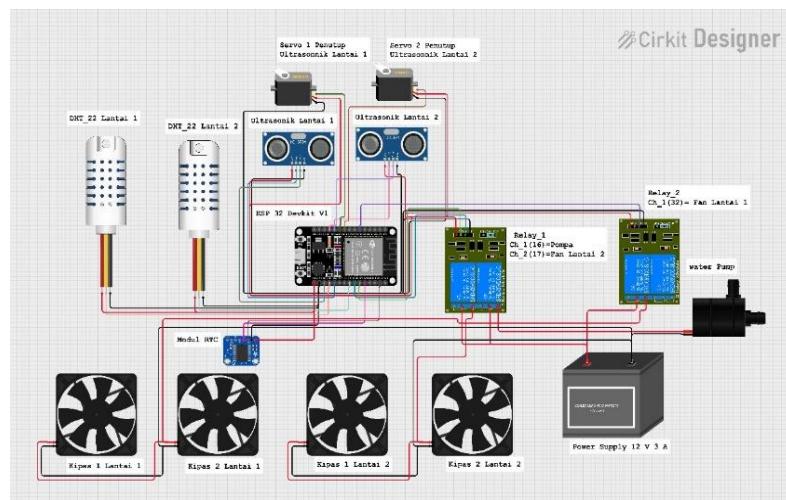
2.2 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif untuk mengevaluasi kinerja sistem "MICHINE". Analisis ini berfokus pada fungsi penyiraman otomatis berbasis RTC, monitoring *real-time* via *web server* lokal, serta akurasi sensor (DHT22, ultrasonik, RTC). Untuk memvalidasi akurasi pembacaan sensor, data yang terbaca oleh sistem

dibandingkan dengan alat ukur standar. Tingkat kesalahan (*Error*) dan Akurasi dihitung menggunakan persamaan error. Analisis statistik deskriptif dilakukan dengan menghitung rata-rata error dari serangkaian percobaan untuk memastikan konsistensi kinerja alat.

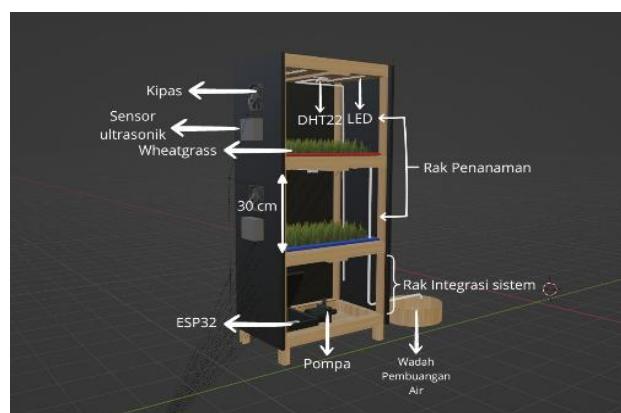
2.3 Desain Perancangan Alat

Alat “MICHINE” merupakan sebuah teknologi yang dibangun dengan memanfaatkan microcontroller ESP32 sebagai pusat pengontrolnya yang terdiri dari berbagai komponen diantaranya sensor DHT22, sensor ultrasonik, modul *real-time clock* (RTC), motor servo, pompa 12V yang terintegrasi. Alat ini akan bekerja untuk melakukan penyiraman otomatis terjadwal dan pemantauan suhu serta kelembabannya menggunakan web server pada penanaman jenis tanaman *microgreen* berupa *wheatgrass*. Menggunakan pemantauan web server dimaksudkan untuk menutupi kekurangan dari penggunaan *Internet of Things* (IoT). Pada alat “MICHINE” ini penggunaan modul *real-time* clock digunakan untuk mengatur penjadwalan waktu pada alat sehingga alat akan bekerja dengan waktu yang telah disesuaikan *real-time* sesuai dengan pencocokan zona waktu setempat. Kebutuhan komponen pada rancangan alat ini dirangkai menjadi rangkaian skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Skematik Alat MICHINE.

Alat michine yang di rancang dan dibangun, di wujudkan dengan dilakukan perancangan 3D design yang ditunjukkan pada Gambar 3.



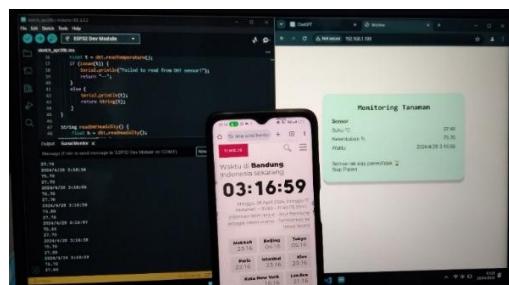
Gambar 3. Desain tiga dimensi dari alat MICHINE.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian nya berupa rumput *wheatgrass* yang menjadi bahan pakan untuk hewan potong karena memiliki kandungan yang tinggi dalam berbagai nutrisi diantaranya pada Protein, Serat kasar, Lemak, Karbohidrat, Vitamin A, Vitamin C, Vitamin E, Vitamin K, Kalsium, Magnesium, serta zat besi. Diantara kandungan rata-ratanya yang dimiliki tiap 100gram rumput ini memiliki kandungan Protein sebesar 20-30%, Serat kasar 5-10%, kandungan lemak 1-2%, kandungan karbohidrat 5-10%, serta kandungan Vitamin A, Vitamin K, Vitamin C dan magnesium yang tinggi tinggi serta dapat menghasilkan energi sebesar 2.5-3.0 kkal/g [6] [7] [8].

3.1 Pengujian Modul Real-time Clock (RTC)

Analisis pengujian modul *real-time clock* (RTC) menunjukkan bahwa modul bekerja akurat dalam menentukan waktu *real-time* pada sistem MICHINE. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data waktu dari Serial Monitor Arduino IDE, tampilan web server monitoring, dan sumber waktu referensi global (UTC) dari situs *time.is*. Proses pengujian modul RTC ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian sensor RTC.

3.2 Pengujian Sensor DHT22

Tabel 1. Data pengujian sensor DHT22 pada tempat penanaman lantai 1.

Data ke-	Lantai Atas						
	Suhu pada termometer	Suhu terukur serial monitor	Suhu terukur pada web server	Error pada serial monitor	Error pada web server	Akurasi pada serial monitor	Akurasi pada web server
1	28,4	28,5	28,5	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
2	28,5	28,6	28,6	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
3	28,5	28,6	28,6	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
4	28,5	28,6	28,6	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
5	28,6	28,7	28,7	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
6	28,7	28,8	28,8	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
7	28,7	28,8	28,8	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
8	28,8	28,8	28,8	0%	0%	100%	100%
9	28,7	28,8	28,8	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
10	28,7	28,7	28,7	0%	0%	100%	100%
11	28,7	28,7	28,7	0%	0%	100%	100%
12	28,6	28,7	28,7	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
13	28,6	28,7	28,7	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
14	28,6	28,7	28,7	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
15	28,6	28,7	28,7	0,35%	0,35%	99,65%	99,65%
Rata-rata				0,28%	0,28%	99,72%	99,72%

Pada pengujian ini, sensor suhu DHT22 diuji pada variasi suhu tertentu. Hasil perbandingan antara data sensor (serial monitor dan web server) dengan alat ukur standar pada kedua lantai ruang tanam menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Pengujian suhu menunjukkan akurasi rata-rata 99,72% di lantai 1 dan 99,54% di lantai 2. Sementara itu, pengujian kelembaban juga mencatat akurasi yang baik, yaitu 94,49% di lantai 1 dan 94,48% di lantai 2. Meskipun pengukuran suhu sedikit lebih akurat, secara keseluruhan sensor DHT22 terbukti andal dan sangat cocok untuk memonitor kedua parameter penting dalam sistem penanaman *microgreen wheatgrass* ini. Berikut pada Tabel 1 merupakan tabel data pengujian dari sensor DHT di salah satu lantai.

3.3 Pengujian Penggunaan Fan 12 Volt

Tabel 2. Data hasil pengujian menyala dan matinya Fan 12 Volt berdasarkan indikator suhu pada alat.

Data ke -	Pengujian Fan Lantai 1			Pengujian Fan Lantai 2			
	Variable Suhu	Kondisi	Keadaan Fan 12V		Variable Suhu	Kondisi	Keadaan Fan 12V
			Menyala	Mati			
1	25,5	ideal	-	√	25,5	ideal	-
2	25,6	ideal	-	√	25,6	ideal	-
3	26	ideal	-	√	26	ideal	-
4	26,5	tidak ideal	√	-	26,8	tidak ideal	√
5	26,9	tidak ideal	√	-	27,9	tidak ideal	√
6	30,1	tidak ideal	√	-	31,2	tidak ideal	√
7	30,4	tidak ideal	√	-	31,4	tidak ideal	√
8	34,5	tidak ideal	√	-	33,4	tidak ideal	√
9	38,4	tidak ideal	√	-	35,4	tidak ideal	√
10	39,3	tidak ideal	√	-	36,5	tidak ideal	√

Pengujian kipas dilakukan dengan 10 variasi suhu untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menjaga suhu ideal (20-26°C) berdasarkan sensor DHT22. Kipas diprogram untuk tetap mati pada rentang ideal dan menyala otomatis jika suhu melebihi 26° [9]. Hasil pengujian menunjukkan kipas berfungsi tepat, berhasil menurunkan suhu tinggi kembali ke titik ideal secara konsisten di kedua lantai. Pengujian ini membuktikan peran penting kipas untuk mengoptimalkan pertumbuhan *microgreen wheatgrass*, dengan data hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

3.4 Pengujian Sistem Penyiraman

Tabel 3. Data hasil kinerja alat dalam melakukan penyiraman.

Data ke-	Tanggal	Waktu	Pompa	Servo 1	Servo 2	Data ke-	Tanggal	Waktu	Pompa	Servo 1	Servo 2
1	04/05/2024	07:00	√	0°	0°	8	06/05/2024	12:00	X	90°	90°
2	04/05/2024	12:00	X	90°	90°	9	06/05/2024	16:00	√	0°	0°
3	04/05/2024	16:00	√	0°	0°	10	07/05/2024	07:00	√	0°	0°
4	05/05/2024	07:00	√	0°	0°	11	07/05/2024	12:00	X	90°	90°
5	05/05/2024	12:00	X	90°	90°	12	07/05/2024	16:00	√	0°	0°
6	05/05/2024	16:00	√	0°	0°	13	08/05/2024	07:00	√	0°	0°
7	06/05/2024	07:00	√	0°	0°	14	08/05/2024	12:00	X	90°	90°

Pengujian sistem penyiraman otomatis selama empat hari (4-7 Mei 2024) bertujuan untuk memvalidasi efektivitas dan keandalan penjadwalan. Sistem ini menggunakan pompa air untuk menyiram dan motor servo untuk mencegah sensor kelembaban tanah terkena air. Sensor ultrasonik kemudian dapat mengukur kesiapan panen *wheatgrass* hanya pada saat tidak ada penyiraman. Hasil pengujian menunjukkan sistem ini efektif dan andal dalam menyiram tanaman sesuai kebutuhan, dengan berbagai durasi penyiraman terbukti bermanfaat. Selain itu, sistem berhasil melindungi sensor kelembaban tanah selama penyiraman, memastikan pengukuran kelembaban tetap akurat. Hasil kinerja penyiraman otomatis ini ditunjukkan pada Tabel 3.

3.5 Pengujian Sensor Ultrasonik

Sistem sensor ultrasonik berhasil dibangun untuk mendeteksi kesiapan panen *microgreen wheatgrass* dengan mengukur tingginya. Pengujian, yang menggunakan jarak referensi 22,91 cm, menunjukkan bahwa sensor secara akurat mendeteksi *wheatgrass* yang telah mencapai ketinggian panen (ditandai dengan pembacaan jarak yang lebih pendek). Saat terdeteksi, informasi dikirim ke *web server* dan ditampilkan di *website*, memungkinkan pengguna memanen tepat waktu. Sistem ini terbukti efektif dan akurat untuk menjamin kualitas produk. Hasil pengujian sensor dan *website* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor ultrasonik.

Data ke	Lantai 1		Lantai 2	
	Ultrasonik	Web Server	Ultrasonik	Web Server
1	22,91	Belum Siap Panen	22,93	Belum Siap Panen
2	22,91	Belum Siap Panen	22,93	Belum Siap Panen
3	22,91	Belum Siap Panen	22,93	Belum Siap Panen
4	22,91	Belum Siap Panen	22,93	Belum Siap Panen
5	22,91	Belum Siap Panen	22,93	Belum Siap Panen
6	8,84	Siap Panen	8,6	Siap Panen
7	7,55	Siap Panen	7,57	Siap Panen
8	7	Siap Panen	6,85	Siap Panen
9	6,52	Siap Panen	6,49	Siap Panen
10	6,3	Siap Panen	6,29	Siap Panen

3.6 Hasil Pembuatan Web Server

Web server merupakan perangkat yang tidak hanya berfungsi untuk publikasi situs pada *World Wide Web*, tetapi juga banyak digunakan pada perangkat keras lain, seperti printer dan router, untuk menyediakan layanan HTTP pada jaringan lokal [10]. Pada penelitian ini, web server lokal dikembangkan sebagai platform monitoring *real-time* yang tidak memerlukan koneksi internet. Sistem ini memungkinkan pemantauan parameter utama, meliputi suhu, kelembaban, dan kesiapan panen secara langsung. Keunggulan web server lokal terletak pada kecepatan akses dan penyajian informasi, sehingga pengguna dapat memahami kondisi sistem dan mengambil keputusan dengan cepat. Informasi yang ditampilkan mencakup waktu *real-time*, data suhu dan kelembaban pada kedua lantai tanam, serta status kesiapan panen *wheatgrass*.

Implementasi MICHINE memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional peternakan. Dibandingkan metode konvensional yang memerlukan kehadiran peternak minimal dua kali sehari untuk penyiraman dan pemantauan suhu, sistem otomatis ini mampu menurunkan kebutuhan tenaga kerja hingga sekitar 90%, dengan intervensi manusia terbatas pada tahap pembibitan dan pemanenan. Kondisi ini memungkinkan

peningkatan skala produksi tanpa kenaikan biaya tenaga kerja secara linear, sehingga menurunkan biaya produksi pakan per kilogram dalam jangka panjang. Selain itu, akurasi penyiraman yang terjaga mengurangi risiko pembusukan akar akibat *over-watering* dan secara langsung meningkatkan tingkat keberhasilan panen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, alat "MICHINE" berhasil dikembangkan sebagai sistem otomatisasi budidaya *microgreen* yang andal, dibuktikan dengan kinerja modul *Real-Time Clock* (RTC) yang presisi serta akurasi sensor DHT22 yang mencapai rata-rata 99,72% untuk suhu dan 94,49% untuk kelembaban. Penerapan pemantauan berbasis *web server* lokal terbukti efektif menyajikan data *real-time* tanpa ketergantungan pada koneksi internet, sekaligus mampu meningkatkan efisiensi operasional dengan mereduksi kebutuhan tenaga kerja manual secara signifikan. Meskipun sistem ini menawarkan solusi pakan qurban yang lebih praktis dan ekonomis, penelitian saat ini masih terbatas pada skala prototipe di lingkungan terkontrol; oleh karena itu, pengembangan selanjutnya disarankan untuk menguji ketahanan alat pada kondisi kandang yang lebih variatif serta mengintegrasikan sistem *hybrid* (Lokal dan *Cloud*) guna mendukung penyimpanan data jangka panjang dan analisis ekonomi yang lebih mendalam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada pihak yang telah turut berpartisipasi dalam penelitian ini baik penyedia fasilitas penelitian maupun narasumber serta teman-teman yang telah turut serta mengsukseskan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Moch. Fikri Normansyah and Yoedo Ageng Surya, "Implementasi Sistem Kanopi Otomatis Menggunakan Aplikasi Smartphone berbasis IoT," *J. Zetroem*, vol. 5, no. 1, pp. 51–54, 2023, doi: 10.36526/ztr.v5i1.2628.
- [2] Y. I. Chandra, M. Riastuti, K. Kosdiana, and E. P. Nugroho, "Automatic Garden Umbrella Prototype with Light and Rain Sensor Based on Arduino Uno Microcontroller," *Int. J. Artif. Intell. Robot.*, vol. 2, no. 2, pp. 42–51, 2020, doi: 10.25139/ijair.v2i2.3152.
- [3] M. Iqbal and W. Mulia, "Perancangan Prototipe Sistem Tutup Kanopi Otomatis Pada Jemuran Pakaian Menggunakan Sensor Hujan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [4] P. Senakama, "RANCANG BANGUN ATAP JEMURAN OTOMATIS BERBASIS NODEMCU," *Pros. Senakama*, vol. 1, no. September, pp. 625–635, 2022.
- [5] M. Dimas Firdaus and F. Ariyani, "Prototipe Sistem Kanopi Otomatis Pada Tribun Sepak Bola Menggunakan Sensor Suhu Dan Sensor Hujan Berbasis Mikrokontroler Nodemcu Esp8266," *Semin. Nas. Mhs. Fak. Teknol. Inf. Jakarta-Indonesia*, no. September, pp. 1237–1245, 2022.

-
- [6] M. I. Mahendar Dwi Payana, Winni Mulia, “Perancangan Prototipe Sistem Tutup Kanopi Otomatis Pada,” *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2019.
 - [7] M. Z. Fauzi, H. Susilawati, and S. Nurpadillah, “Rancang Bangun Alat Penjemur Pakaian Semi Otomatis Berbasis Arduino Uno,” *Fuse-teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 125–134, 2024, doi: 10.52434/jft.v4i2.41950.
 - [8] L. I. Fitri, A. Hakim, and P. Yuniarto, “Rancang Bangun Atap Jemuran Otomatis Berbasis Internet of Things,” in *Senakama: Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa*, 2025, pp. 13–21.
 - [9] S. Mulyati, B. P. Purnomo, and A. Imanudin, “Rancang Bangun Prototype Kanopi Otomatis Pada Cafe Rooftop Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dengan Aplikasi Blynk,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, p. 60, 2023, doi: 10.31000/jte.v7i2.9806.
 - [10] B. A. Nugroho, R. Susanto, and A. I. Pradana, “Pengembangan Alat Monitoring Kanopi Pada Sistem Smart Home Berbasis IoT (Internet of Things),” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 3, pp. 1787–1797, 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i3.4533.