

Received : 22 May 2026

Revised : 12 June 2026

Published : 15 June 2026

Issued : 30 June 2026



## Implementasi *Internet of Things* untuk Monitoring RealTime Suhu dan Kelembaban pada Budidaya Maggot

Ariep Jaenul<sup>1\*</sup>, Sidik Mulyono<sup>1</sup>, Inda Wahyuni<sup>1</sup>  
Legenda Prameswono Pratama<sup>1</sup>, Brainvendra Widi Dionova<sup>1</sup>  
Muhammad Yusro<sup>2</sup>, Elka Pranita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universitas Global Jakarta, Grand Depok City Jl. Boulevard Raya No.2, Kota Depok, 16412, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Negeri Jakarta, Jl.R.Mangun Muka, No.11, Rawamangun, East Jakarta 13220, Indonesia

<sup>3</sup> Universitas Teknokrat Indonesia, Jl. Zainal Abidin Pagaralam, No.9-11 Labuhan Ratu, Kota Bandar Lampung, 35132, Indonesia

\*Email: [ariep@jgu.ac.id](mailto:ariep@jgu.ac.id)

### Abstrak

Budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF) menjadi salah satu solusi alternatif dalam pengelolaan limbah organik sekaligus sumber pakan berprotein tinggi. Namun, kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban sangat mempengaruhi pertumbuhan dan kestabilan budidaya maggot. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) secara real-time pada budidaya maggot. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22 dan soil moisture untuk memantau kondisi lingkungan budidaya. Sistem juga dilengkapi aktuator berupa lampu, ultrasonic mist maker, kipas DC, buzzer, LCD, serta notifikasi Telegram untuk pengendalian otomatis dan monitoring jarak jauh. Pengujian sistem dilakukan melalui pengujian akurasi sensor, pengendalian otomatis, respon waktu sistem, dan monitoring notifikasi berbasis IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki nilai error suhu sebesar 0,00%–3,75% dan error kelembaban sebesar 0,00%–3,90%. Sensor soil moisture memiliki nilai error maksimum sebesar 3,92%. Sistem mampu menjaga kondisi lingkungan pada rentang optimal suhu 30°C–36°C dan kelembaban 60%–70% dengan waktu respon 1–2 menit. Selain itu, Telegram Bot berhasil mengirimkan notifikasi monitoring secara real-time.

**Kata-kunci:** budidaya maggot, internet of things, realtime monitoring

### Abstract

Black Soldier Fly (BSF) maggot cultivation has become an alternative solution for organic waste management and a high-protein feed source. However, environmental conditions such as temperature and humidity significantly affect maggot growth and cultivation stability. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring and control system for real-time temperature and humidity management in maggot cultivation. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrated with DHT22 and soil moisture sensors to monitor environmental conditions. The system also utilized actuators including lamps, ultrasonic mist makers, DC fans, buzzers, LCD displays, and Telegram notifications for automatic control and remote monitoring. System performance was evaluated through sensor accuracy testing, automatic control testing, response time analysis, and IoT-based notification monitoring. The results showed that the DHT22 sensor achieved temperature measurement errors ranging from 0.00%–3.75% and humidity measurement errors ranging from 0.00%–3.90%. The soil moisture sensor produced a maximum error value of 3.92%. The system successfully maintained environmental conditions within the optimal range of 30°C–36°C and 60%–70% humidity with a response time of 1–2 minutes. In addition, the Telegram Bot successfully delivered real-time monitoring notifications remotely.

**Keywords:** internet of things, maggot cultivation, realtime monitoring

## Pendahuluan

Peningkatan limbah organik dari rumah tangga, pasar, industri makanan, dan pertanian menjadi masalah lingkungan yang memerlukan solusi pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan (Zareie et al., 2025). Menurut berbagai laporan, sebagian besar limbah padat di negara berkembang didominasi oleh limbah organik. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini bisa menyebabkan pencemaran. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan saat ini adalah penggunaan larva Black Soldier Fly (BSF) (*Hermetia illucens*) sebagai agen biokonversi limbah organik. Larva BSF dapat mengonsumsi berbagai jenis limbah organik dan mengubahnya menjadi biomassa bernilai tinggi dalam waktu yang relatif singkat (Iqbal et al., 2024). Selain mengurangi volume limbah, hasil budidaya maggot BSF dapat menjadi sumber protein alternatif untuk pakan ikan, unggas, dan ternak (Zareie et al., 2025). Larva ini mengandung protein kasar yang tinggi, antara 35-45%, serta asam amino esensial yang dibutuhkan oleh hewan ternak (Mohan et al., 2023).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber pakan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, budidaya maggot BSF semakin berkembang di berbagai negara, termasuk Indonesia. Penggunaan maggot sebagai pakan alternatif dapat mengurangi ketergantungan pada tepung ikan yang harganya terus meningkat. Selain itu, budidaya maggot juga mendukung ekonomi sirkular karena limbah organik yang sebelumnya menjadi sumber pencemaran dapat diubah menjadi produk yang bernilai ekonomi (Darmawan et al., 2025). Oleh karena itu, mengoptimalkan sistem budidaya maggot menjadi penting untuk meningkatkan produktivitas larva dan kualitas hasil panen.

Keberhasilan budidaya maggot sangat tergantung pada kondisi lingkungan tempat larva dibesarkan (Mkilima, 2025). Faktor seperti suhu, kelembaban, kadar air media, intensitas cahaya, dan ketersediaan pakan sangat penting untuk menentukan pertumbuhan, aktivitas metabolisme, konsumsi pakan, dan kelangsungan hidup larva BSF (Ogello et al., 2025). Di antara faktor-faktor tersebut, suhu dan kelembaban adalah yang paling kritis karena memengaruhi aktivitas biologis larva langsung. Suhu yang rendah dapat memperlambat metabolisme dan pertumbuhan, sedangkan suhu yang tinggi dapat menyebabkan stres fisik hingga kematian. Kelembaban yang tidak sesuai juga dapat mengurangi efisiensi dekomposisi limbah, memicu pertumbuhan mikroorganisme tidak diinginkan, dan menurunkan kualitas media budidaya (Ravi et al., 2025). Oleh karena itu, menjaga suhu dan kelembaban dalam rentang optimal sangat penting untuk mencapai produktivitas yang maksimum.

Namun, banyak peternak skala kecil dan menengah masih menggunakan metode konvensional untuk memantau kondisi lingkungan. Pengukuran suhu dan kelembaban biasanya dilakukan secara manual dengan termometer atau higrometer yang dibaca secara berkala (Zilni & Wibisono, 2025).

Metode ini memiliki keterbatasan seperti tidak bisa menyediakan data terus-menerus, dapat menyebabkan kesalahan pencatatan, dan membuat penundaan dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan larva (Pawar et al., 2026). Akibatnya, tindakan korektif sering kali diambil setelah kondisi lingkungan melampaui batas optimal, yang dapat menurunkan efisiensi dan produktivitas maggot.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk meningkatkan pengelolaan budidaya dengan sistem pemantauan otomatis, terintegrasi, dan waktu nyata. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik, sensor, aktuator, dan mikrokontroler terhubung melalui internet untuk bertukar data secara otomatis (Thilakarathne et al., 2025). Di sektor pertanian dan peternakan, teknologi IoT telah diterapkan untuk memantau kondisi lingkungan, mengendalikan sistem irigasi, memonitor kesehatan hewan, dan meningkatkan efisiensi produksi dengan pengambilan keputusan berbasis data (Anjum et al., 2025). Dengan menggunakan sensor lingkungan dan konektivitas internet, pengguna dapat mengakses informasi kondisi budidaya secara langsung tanpa harus mendatangi lokasi.

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan ESP8266 yang digabungkan dengan sensor DHT22. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IoT dapat meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan dan menyediakan data yang bisa diakses secara daring melalui aplikasi atau platform berbasis web (Kaya, 2025). Penelitian lain juga telah menerapkan IoT untuk memantau kondisi kandang ternak, rumah kaca, dan sistem budidaya pertanian secara real-time (El-Sheshny et al., 2025). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian ini masih fokus pada fungsi pemantauan tanpa mengintegrasikan mekanisme pengendalian lingkungan secara otomatis. Selain itu, implementasi IoT khusus untuk budidaya maggot BSF masih terbatas dan belum banyak yang menggabungkan pemantauan suhu, kelembaban udara, serta kelembaban media budidaya dalam satu sistem terintegrasi.

Berdasarkan kajian sebelumnya, terdapat kekurangan dalam penelitian yang menunjukkan perlunya sistem yang tidak hanya memantau lingkungan secara real-time, tetapi juga memberi respons otomatis ketika kondisi budidaya tidak sesuai. Integrasi sensor suhu dan kelembaban dengan aktuator serta sistem notifikasi jarak jauh sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya maggot. Selain itu, penggunaan aplikasi pesan instan seperti Telegram sebagai media notifikasi memungkinkan peternak menerima peringatan secara cepat tanpa perangkat lunak khusus. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan responsivitas peternak dalam menjaga stabilitas lingkungan budidaya sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan produksi.

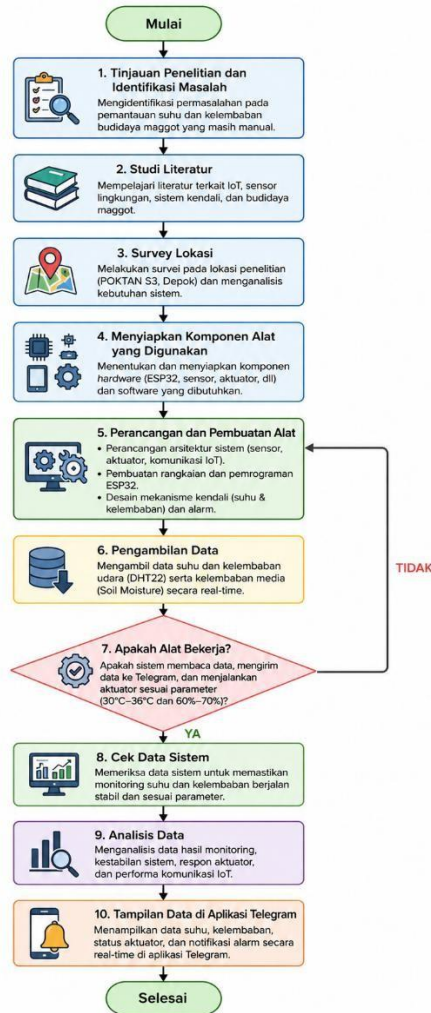
Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembaban berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, sensor kelembaban tanah, dan platform Telegram untuk notifikasi. Sistem yang dirancang tidak hanya bisa memantau kondisi lingkungan secara real-time, tetapi juga bisa mengaktifkan mekanisme pengendalian kelembaban otomatis ketika kondisi media budidaya keluar dari batas yang ditetapkan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemantauan multi-parameter, sistem notifikasi Telegram, dan pengendalian kelembaban otomatis dalam satu platform IoT yang diterapkan khusus untuk budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF). Diharapkan sistem ini dapat mendukung budidaya maggot yang lebih efisien, produktif, dan berbasis teknologi cerdas.

## **Metode**

### **System Architecture and Implementation**

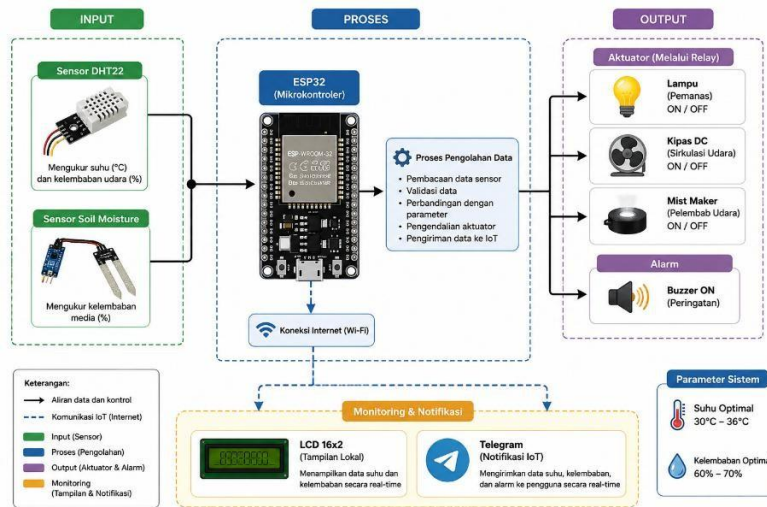
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan Internet of Things (IoT) untuk monitoring suhu dan kelembaban budidaya maggot secara real-time. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali yang terintegrasi dengan sensor DHT22 dan soil

moisture untuk membaca suhu udara, kelembaban udara, dan kelembaban media budidaya. Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, hingga analisis hasil monitoring. Tahapan tersebut digunakan sebagai acuan dalam proses pengembangan sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban berbasis IoT pada budidaya maggot.



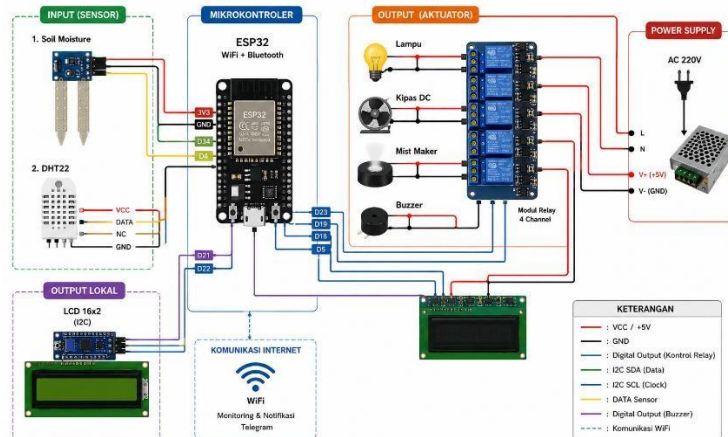
**Gambar 1.** Tahapan Penelitian Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT pada Budidaya Maggot

Gambar 2 menunjukkan arsitektur sistem monitoring dan pengendalian berbasis IoT yang terdiri dari bagian input, proses, dan output. Pada bagian input, sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban udara, sedangkan sensor soil moisture digunakan untuk membaca kelembaban media budidaya. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan dibandingkan dengan parameter sistem yang telah ditentukan, yaitu suhu optimal 30°C–36°C dan kelembaban 60%–70%.



Gambar 2. Arsitektur Sistem Monitoring dan Pengendalian Berbasis IoT

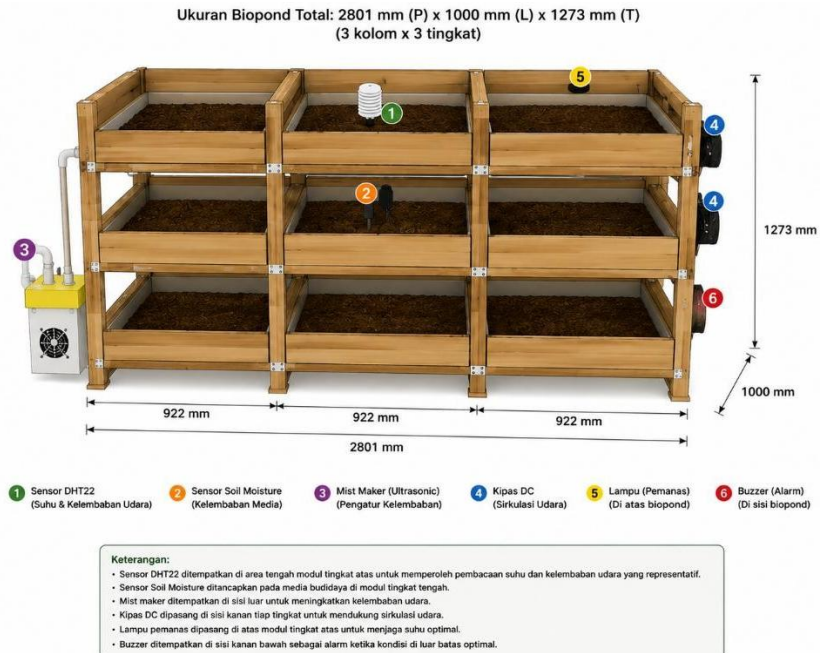
Ketika kondisi lingkungan berada di luar rentang optimal, ESP32 akan mengaktifkan aktuator berupa lampu, ultrasonic mist maker, kipas DC, dan buzzer melalui relay secara otomatis. Selain itu, hasil monitoring ditampilkan pada LCD dan dikirimkan melalui Telegram Bot menggunakan jaringan WiFi untuk mendukung monitoring jarak jauh secara real-time. Implementasi hubungan antar komponen sistem ditunjukkan pada Gambar 3. Wiring diagram tersebut menunjukkan integrasi antara ESP32, sensor DHT22, sensor soil moisture, relay, buzzer, LCD, lampu, kipas DC, dan ultrasonic mist maker dalam satu sistem monitoring dan pengendalian otomatis.



Gambar 3. Wiring Diagram Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT

### Data Collection and System Testing

Pengambilan data dilakukan pada budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF) di Kelompok Tani Sosial 3 (POKTAN S3), Kota Depok, Jawa Barat. Data yang diamati meliputi suhu udara, kelembaban udara, dan kelembaban media budidaya menggunakan sensor DHT22 dan soil moisture. Gambar 4 menunjukkan implementasi sistem monitoring pada media budidaya maggot. Sensor ditempatkan pada area budidaya untuk memperoleh pembacaan suhu dan kelembaban secara representatif, sedangkan aktuator dipasang untuk mendukung proses pengendalian suhu dan kelembaban secara otomatis.



**Gambar 4.** Implementasi Sistem Monitoring pada Budidaya Maggot

Pengujian sistem dilakukan terhadap akurasi sensor, pengendalian otomatis, respon waktu sistem, serta monitoring notifikasi Telegram. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat pembanding berupa termometer digital dan soil meter. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap aktuator dan alarm untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menjaga kondisi lingkungan budidaya secara otomatis dan real-time.

## Hasil dan Pembahasan

### System Implementation Results

Implementasi sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban berbasis IoT berhasil dilakukan pada media budidaya maggot menggunakan ESP32, sensor DHT22, sensor soil moisture, relay, buzzer, lampu, kipas DC, ultrasonic mist maker, LCD, dan Telegram Bot.

Gambar 5 menunjukkan hasil implementasi sistem monitoring pada budidaya maggot. Berdasarkan hasil implementasi, seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi untuk melakukan monitoring lingkungan budidaya secara otomatis dan real-time. Data hasil pembacaan sensor berhasil ditampilkan pada LCD dan dikirimkan melalui Telegram menggunakan jaringan WiFi.



**Gambar 5.** Implementasi Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu serta Kelembaban pada Budidaya Maggot

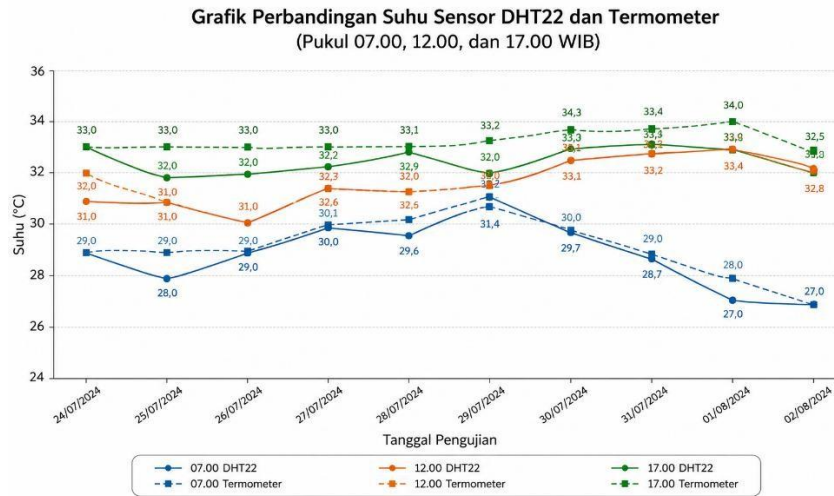
### Sensor Accuracy Testing

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT22 dan soil moisture pada sistem monitoring. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat pembanding selama 10 hari pada tiga waktu pengamatan, yaitu pukul 07.00 WIB, 12.00 WIB, dan 17.00 WIB. Tabel 1 menunjukkan ringkasan hasil pengujian sensor DHT22 dan soil moisture. Berdasarkan hasil pengujian, sensor DHT22 memiliki error maksimum sebesar 3,75% pada pengukuran suhu dan 3,90% pada pengukuran kelembaban, sedangkan sensor soil moisture memiliki error maksimum sebesar 3,92%.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengujian Sensor

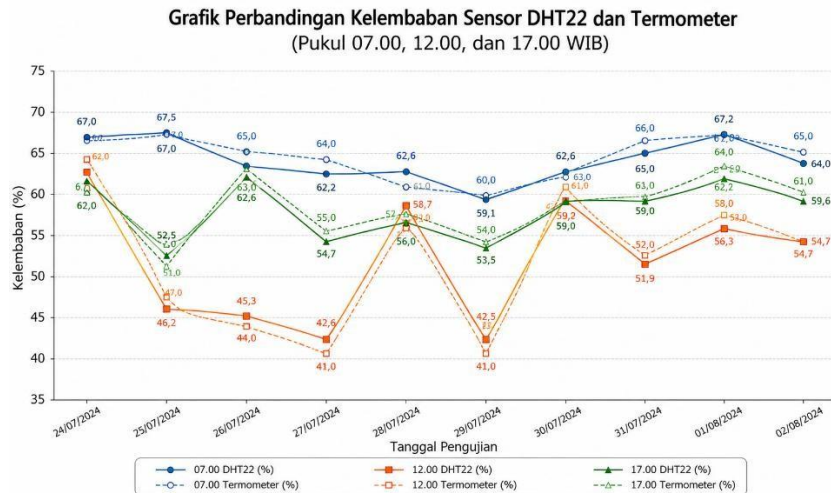
Parameter	Minimum Error	Maximum Error	Average Error
Temperature	0.00%	3.75%	1.82%
Humidity	0.00%	3.90%	1.96%
Soil Moisture	0.00%	3.92%	1.88%

Nilai error di bawah 4% menunjukkan bahwa sensor DHT22 dan soil moisture cukup layak digunakan pada sistem monitoring budidaya maggot berbasis IoT karena masih berada pada rentang toleransi monitoring lingkungan non-industri. Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan suhu antara sensor DHT22 dan termometer digital. Grafik menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor mengikuti pola perubahan suhu lingkungan dengan selisih pengukuran yang relatif kecil.



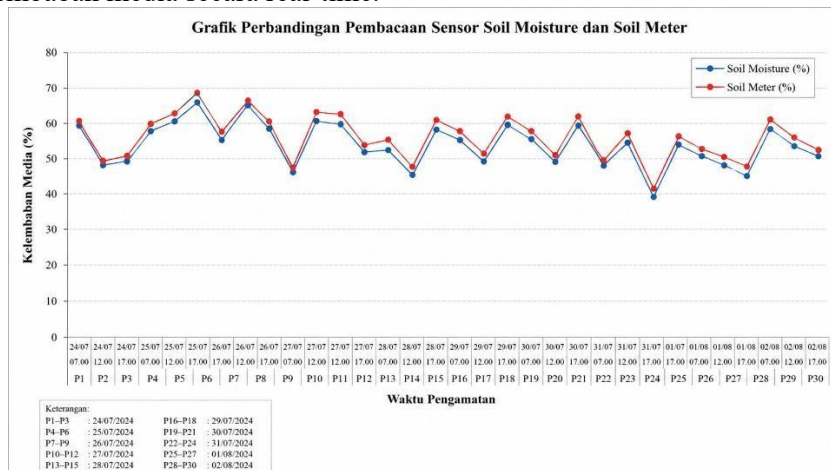
Gambar 6. Grafik Perbandingan Suhu Sensor DHT22 dan Termometer

Selanjutnya, Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan kelembaban antara sensor DHT22 dan termometer digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca perubahan kelembaban secara stabil meskipun terjadi fluktuasi kondisi lingkungan selama pengamatan.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kelembaban Sensor DHT22 dan Termometer

Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan pembacaan sensor soil moisture dan soil meter pada media budidaya maggot. Berdasarkan hasil pengujian, sensor soil moisture mampu membaca perubahan kelembaban media dengan tingkat error yang relatif kecil sehingga mendukung proses monitoring kelembaban media secara real-time.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Sensor Soil Moisture dan Soil Meter

### Automatic Control and System Response Results

Pengujian pengendalian otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam merespon perubahan suhu dan kelembaban lingkungan budidaya. Sistem menggunakan parameter suhu optimal sebesar 30°C–36°C dan kelembaban 60%–70%.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian pengendalian otomatis dan respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan. Ketika suhu berada di bawah 30°C, sistem mengaktifkan lampu dan buzzer secara otomatis. Sebaliknya, ketika suhu melebihi 36°C atau kelembaban berada di bawah batas optimal, sistem mengaktifkan mist maker dan kipas DC untuk menjaga kestabilan lingkungan budidaya.

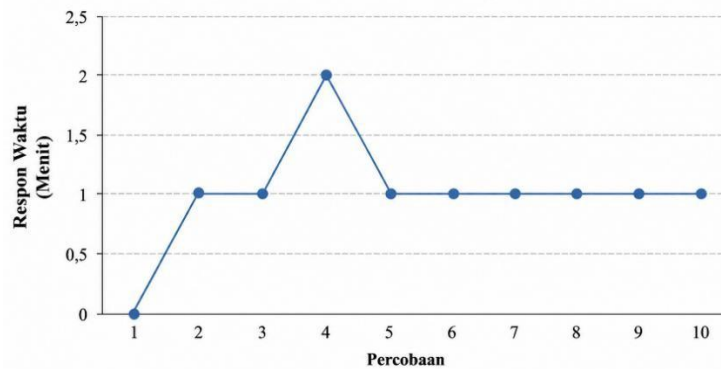
Tabel 2. Hasil Pengujian Pengendalian Otomatis dan Respon Sistem

Kondisi	Aktuator	Respon Sistem
Suhu < 30°C	Lampu ON	Sistem normal
Suhu > 36°C	Mist Maker ON	Sistem normal

<b>Kelembaban</b>	<	Mist Maker	Sistem
<b>60%</b>		ON	normal
<b>Kondisi</b>		Aktuator	Sistem
<b>Normal</b>		OFF	stabil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi sensor, relay, dan aktuator memungkinkan sistem merespon perubahan kondisi lingkungan secara otomatis dan responsif.

Gambar 9 menunjukkan grafik respon waktu sistem monitoring dan pengendalian terhadap perubahan suhu lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menstabilkan kondisi lingkungan dengan waktu respon sekitar 1–2 menit hingga suhu kembali mendekati kondisi normal.



**Gambar 9.** Grafik Respon Waktu Sistem Monitoring dan Pengendalian

Waktu respon tersebut menunjukkan bahwa sistem cukup responsif untuk diterapkan pada monitoring lingkungan budidaya maggot secara real-time.

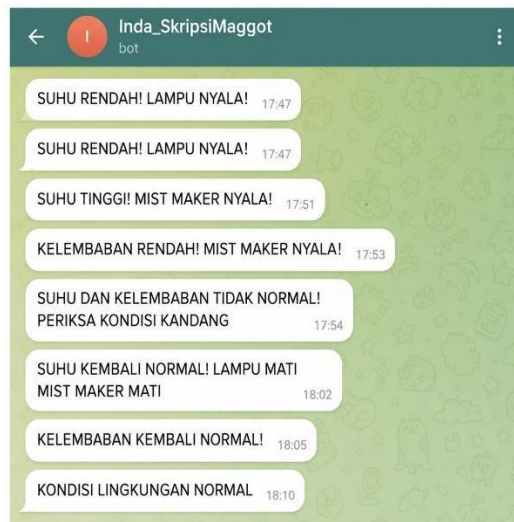
### IoT Monitoring and Notification Results

Pengujian monitoring berbasis IoT dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data monitoring suhu dan kelembaban secara real-time melalui Telegram Bot. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian alarm dan notifikasi Telegram berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban lingkungan budidaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan notifikasi secara otomatis ketika kondisi lingkungan berada di luar rentang optimal.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Alarm dan Notifikasi Telegram

Kondisi	Alarm	Telegram Notification
<b>Suhu rendah</b>	ON	Terkirim
<b>Suhu tinggi</b>	ON	Terkirim
<b>Kelembaban rendah</b>	ON	Terkirim
<b>Kondisi normal</b>	OFF	Terkirim

Selain itu, hasil monitoring juga berhasil ditampilkan secara real-time pada LCD dan Telegram melalui jaringan WiFi. Gambar 10 menunjukkan tampilan hasil monitoring dan notifikasi Telegram yang diterima pengguna melalui smartphone. Sistem berhasil mengirimkan informasi kondisi suhu dan kelembaban secara real-time sehingga pengguna dapat melakukan monitoring lingkungan budidaya secara jarak jauh.



**Gambar 10.** Hasil Monitoring dan Notifikasi Telegram

## Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) pada budidaya maggot Black Soldier Fly (BSF) menggunakan ESP32, sensor DHT22, sensor soil moisture, serta aktuator dan notifikasi Telegram. Sistem mampu melakukan monitoring lingkungan budidaya secara otomatis dan real-time melalui jaringan internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT22 dan soil moisture memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai error maksimum di bawah 4%. Sistem juga mampu menjaga kondisi lingkungan pada rentang optimal suhu 30°C–36°C dan kelembaban 60%–70% dengan waktu respon sekitar 1–2 menit. Selain itu, integrasi Telegram Bot berhasil mendukung monitoring jarak jauh melalui pengiriman notifikasi kondisi lingkungan secara real-time. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara responsif dan efektif dalam membantu proses monitoring serta pengendalian lingkungan budidaya maggot secara otomatis.

## Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Global Jakarta atas dukungan fasilitas dan lingkungan akademik selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta Kelompok Tani Sosial 3 (POKTAN S3) Kota Depok atas dukungan dan bantuan selama proses penelitian dan pengambilan data.

## Referensi

- Anjum, M., Kraiem, N., Min, H., Dutta, A. K., Daradkeh, Y. I., & Shahab, S. (2025). Big data-driven agriculture: a novel framework for resource management and sustainability. *Cogent Food & Agriculture*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2470249>
- Darmawan, A., Hartono, M., Prayitno, H., Ambya, A., Andayani, S., & Lutviati, C. (2025). Enhancing the Economic Value of Waste with Maggot Utilization in Village-Owned Enterprises of Arthomoro Based on Circular Economy. *Community : Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.51903/v375g469>
- El-Sheshny, A. A., Abdel-Hameed, A. M., Al-Rajhi, M. A., Ghanem, H. G., Elzanaty, T. M., & Fayed, M. H. (2025). Optimizing water management in greenhouse farming through an IoT-enabled monitoring system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24(4). <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00039-2>

- Iqbal, W., Elahi, U., Zhang, H., Ahmad, S., Usman, M., & Yaqoob, M. U. (2024). Clean and green bioconversion – a comprehensive review on black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae for converting organic wastes to quality products. *Annals of Animal Science*, 0(0). <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0046>
- Kaya, C. (2025). Intelligent Environmental Control in Plant Factories: Integrating Sensors, Automation, and AI for Optimal Crop Production. *Food and Energy Security*, 14(1). <https://doi.org/10.1002/fes3.70026>
- Mkilima, T. (2025). Harnessing Black Soldier Fly Larvae for Sustainable Waste Valorisation: Advances, Challenges, and Biotechnological Innovations. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03372-3>
- Mohan, K., Sathishkumar, P., Rajan, D. K., Rajarajeswaran, J., & Ganesan, A. R. (2023). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as potential feedstock for the biodiesel production: Recent advances and challenges. *Science of the Total Environment*, 859, 160235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160235>
- Ogello, E. O., Outa, N. O., Muthoka, M., Juma, F., & Hoinkis, J. (2025). Optimizing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) production: effects of substrate variation on biomass, nutritional quality, hatchability, fecundity, and frass quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1621034>
- Pawar, S. V., Subedi, B., Mueller, R., Pawar, M., Paranjape, S. M., Peiffer, M., Kersch-Becker, M., Ali, J., & Felton, G. W. (2026). Salinity impacts biocontrol: a tri-trophic assessment of the effects of soil salinity on plant signaling and parasitoid fitness. *Journal of Pest Science*, 99(3). <https://doi.org/10.1007/s10340-026-02043-z>
- Ravi, J. L., Ghosh, P., Ahmad, F., Haque, S., Barciela, P., Chamorro, F., Olivia, A., Prieto, M. A., & Rana, S. S. (2025). Microbial conversion of vegetable waste for flavor additives via solid-state fermentation: a comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1445189>
- Siddiqui, S. A., Süfer, Ö., Koç, G. Ç., Lutuf, H., Rahayu, T., Castro-Muñoz, R., & Fernando, I. (2024). Enhancing the bioconversion rate and end products of black soldier fly (BSF) treatment – A comprehensive review. *Environment, Development and Sustainability*, 27(5). <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04306-6>
- Thilakarathne, N. N., Muhammad, M., Abas, P. E., & Yassin, H. (2025). Internet of Things Enabled Smart Agriculture: Current Status, Latest Advancements, Challenges and Countermeasures. *Heliyon*, 11(3), e42136–e42136. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42136>
- Zareie, Z., Moayedi, A., & Nooshkam, M. (2025). Food Waste Upcycling and Applications: Circular Economy in Modern Food Industries. *Reducing Food Loss and Waste: Challenges, Trends, and Solutions*, 295–320. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-91693-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-91693-9_12)
- Zilni, A., & Wibisono, I. S. (2025). IoT-Based Smart Classroom Prototype Using NodeMCU and Blynk for Environmental Monitoring. *Journal of Information Systems and Informatics*, 7(4), 3989–4013. <https://doi.org/10.63158/journalisi.v7i4.1356>