

Sistem IoT Monitoring dan Pengendalian Otomatis Mesin Pencacah Komposter BSF.

Ryan Yudha Adhitya¹, Rabbani Rifqi Fannani^{2*)}, Vivin Setiani³, Mirna Apriani⁴, Ulvi Priastuti⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: rabbanirifqi18@student.ppns.ac.id

Received: 03/09/2025

Revised: 23/12/2025

Accepted: 06/04/2026

ABSTRAK

Proses pengelolaan sampah organik melalui komposting memerlukan pengendalian suhu dan kelembapan yang optimal untuk mendukung dekomposisi yang efisien. Pengaturan manual konvensional kurang efektif dalam memantau parameter tersebut secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian otomatis pada mesin pencacah BSF berbasis Internet of Things (IoT) guna mengatur suhu dan kelembapan di ruang kompos. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan sensor soil moisture untuk kelembapan, yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk pemantauan melalui platform IoT. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, pembuatan prototipe, serta evaluasi kinerja sensor dan pengendalian motor dengan teknik PWM. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem IoT meningkatkan efisiensi komposting melalui kontrol otomatis yang lebih akurat, sekaligus mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual. Sistem ini menawarkan solusi ramah lingkungan yang mendukung pengelolaan sampah organik secara berkelanjutan dan efisien.

Kata Kunci: *Internet Of Things (IoT), Black Soldier Fly (BSF), Komposting*

ABSTRACT

The management of organic waste through composting requires optimal temperature and humidity control to support efficient decomposition. Conventional manual settings are ineffective in monitoring these parameters in real time. This study aims to develop an automated monitoring and control system for an Internet of Things (IoT)-based BSF shredder machine to regulate temperature and humidity in the composting chamber. The system utilizes a DHT22 sensor for temperature measurement and a soil moisture sensor for humidity, integrated with an ESP32 microcontroller for monitoring via an IoT platform. The research methods include system design, prototype development, and evaluation of sensor performance and motor control using PWM techniques. Test results show that the IoT system improves composting efficiency through more accurate automatic control, while reducing reliance on manual settings. This system offers an environmentally friendly solution that supports sustainable and efficient organic waste management.

Keywords: *Internet Of Things (IoT), Black Soldier Fly (BSF), Composting*

1. PENDAHULUAN

Setiap aktivitas sehari-hari menghasilkan limbah, yaitu sisa material yang dianggap tidak bernilai lagi. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022, total limbah di Indonesia mencapai 18,30 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 4,89 juta ton (26,72%) dapat dikurangi setiap tahun, dan penanganan limbah mencakup 9,25 juta ton (50,55%). Sebanyak 14,14 juta ton (77,28%) limbah berhasil dikelola, sementara 4,16 juta ton (22,72%) masih belum terkelola. Komposisi limbah didominasi oleh sisa makanan (41,9%), limbah tumbuhan seperti kayu, ranting, dan daun (12%), kertas/karton (10,7%), plastik (18,7%), serta jenis limbah lainnya (6,9%). Berdasarkan sumbernya, limbah terutama berasal dari rumah tangga (37,6%), pasar tradisional (16,6%), dan pusat perniagaan (22,1%). Volume limbah yang besar ini

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



9 772356 053009

memerlukan pengelolaan yang tepat agar tidak mencemari lingkungan atau membahayakan makhluk hidup. Limbah dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat (organik, anorganik, B3), wujud (cair, padat, gas), dan sumbernya (alam, manusia, konsumsi, industri). Salah satu pendekatan pengelolaan limbah yang efektif adalah dengan menerapkan prinsip 3R (reduce, reuse, recycle).

Pengolahan limbah organik dapat dilakukan melalui komposting menggunakan larva Black Soldier Fly (BSF). Metode ini terbukti efisien karena larva BSF mampu mendegradasi limbah organik dengan cepat. Menurut laporan Salam Yogyakarta (2023), larva BSF dapat mengurangi volume limbah organik hingga 50-60% dalam waktu singkat. Keberhasilan proses ini bergantung pada tingkat degradasi dan durasi pengolahan. Faktor suhu dan kadar air pakan juga sangat penting untuk mendukung kinerja larva. Suhu ideal untuk pakan larva BSF berkisar antara 27°C hingga 30°C, dengan kadar air optimal antara 60% dan 90%. Jika kadar air terlalu tinggi, larva cenderung menjauh dari area pengolahan, sedangkan kadar air yang terlalu rendah dapat menghambat proses penguraian (Koloni, 2023). Berbagai jenis limbah organik, seperti sisa makanan, buah, sayuran, limbah ikan, limbah perkotaan, serta kotoran manusia dan hewan, dapat digunakan sebagai pakan larva BSF [1].

Untuk mendukung pengolahan limbah organik dengan larva BSF, diperlukan mesin pencacah untuk menghasilkan kompos berbentuk bubuk. Mesin pencacah yang efisien dapat mempercepat proses pengolahan limbah dan meningkatkan produktivitas larva BSF. Namun, tantangan seperti konsumsi energi yang tinggi, keterbatasan pemantauan kondisi mesin secara real-time, dan kurangnya fitur keselamatan kerja dapat menurunkan efisiensi dan meningkatkan risiko kecelakaan. Penelitian oleh [2] menunjukkan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) dapat digunakan untuk memantau kondisi mesin dan proses pencacahan secara real-time. Sensor suhu, kelembapan kompos, dan kadar CO ppm yang terhubung ke platform berbasis web memungkinkan operator mengelola proses dengan lebih baik [3].

Untuk meningkatkan keselamatan, mesin pencacah dapat dilengkapi dengan fitur safety intake berbasis sensor limit switch, yang memastikan motor hanya beroperasi saat penutup intake tertutup rapat, sehingga mengurangi risiko kecelakaan [4]. Selain itu, protokol komunikasi MQTT dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor AC secara otomatis, mendukung pengiriman data sensor secara real-time, dan memastikan komunikasi yang efisien antara sensor, motor, dan sistem kendali [5]. Sistem ini juga dilengkapi dengan algoritma Decision Tree untuk menganalisis data sensor secara real-time, mendeteksi anomali seperti lonjakan suhu atau kelembapan yang tidak normal, dan memberikan peringatan dini kepada operator [6]. Dengan integrasi teknologi IoT, MQTT, dan algoritma Decision Tree, mesin pencacah ini diharapkan dapat beroperasi dengan lebih efisien, aman, dan berkelanjutan, sehingga mendukung pengelolaan limbah organik yang lebih optimal dan meningkatkan produktivitas proses komposting dengan larva BSF.

2. METODE PENELITIAN

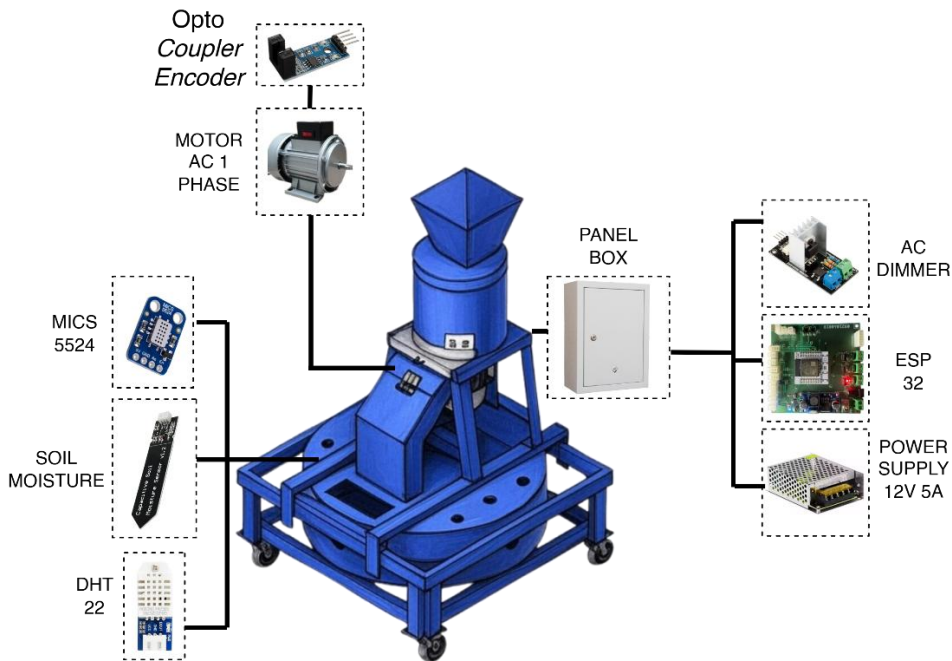
Penelitian ini menerapkan pendekatan rekayasa sistem berbasis IoT untuk merancang mesin pencacah komposter BSF yang dilengkapi dengan fungsi pemantauan dan pengendalian otomatis. Metode penelitian dilakukan secara berurutan, mulai dari identifikasi permasalahan hingga evaluasi sistem, menggunakan pendekatan kombinasi antara perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan analisis data dengan algoritma machine learning sederhana (Decision Tree).

2.1 Gambar Mekanik

Sistem yang digambarkan adalah perangkat mekanis yang dilengkapi dengan sensor dan sistem pengendalian. Inti sistem ini terdiri dari rangka berbahan besi yang dilengkapi roda untuk memudahkan pergerakan. Pada rangka tersebut terdapat sebuah wadah berbentuk silinder yang berfungsi sebagai tempat



menyimpan atau mengolah material. Bagian atas wadah dirancang mengerucut untuk mempermudah pengisian material. Di bagian bawah wadah, terdapat mekanisme putar berupa piringan atau platform yang digerakkan oleh motor AC satu fasa, yang bertugas untuk memindahkan atau mendistribusikan material dari wadah. Sistem ini juga dilengkapi dengan sensor dan komponen kontrol yang terpasang pada panel box, termasuk sensor suhu (DHT22), sensor kelembapan tanah, dan sensor gas (MICS 5524), yang digunakan untuk memantau kondisi di dalam reaktor kompos BSF.



Gambar 8. Prototype Mesin Pencacah dengan komponen

2.2 Perhitungan Data dengan metode

TABEL I : HASIL PENGAMATAN

No	Suhu (°C)	Kelembapan kompos (%)	Kadar CO ppm (%)	Kondisi
1	34.4	85	0.1	Anomali
2	31.4	82	0.0	Normal
3	32.2	88	0.1	Normal
4	31.4	80	0.0	Normal
5	30.0	90	0.0	Normal
6	29.9	95	1.8	Anomali
7	31.0	84	0.1	Anomali
8	32.2	87	0.1	Anomali
9	33.2	91	0.1	Anomali
10	34.4	83	0.0	Normal

Pada Tabel I, Suhu Ruang Kompos BSF ,Anomali Min: 25°C ,Anomali Max: 35–38°C ,Normal: 26°C – 34°C untuk Kelembapan Komposter BSF (Media): Anomali Min: 70% Anomali Max: 100% Normal: 80% – 95% , lalu ambang Batas Aman CO : 0 ppm: Normal ,1.0- 10 ppm: Anomali.



Tahap awal dalam pembentukan pohon keputusan dilakukan dengan menghitung nilai entropy dari keseluruhan data. Entropy digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian atau keragaman kelas pada data. Semakin tinggi nilai entropy, maka semakin besar tingkat campuran kelas pada data tersebut. Sebaliknya, apabila entropy bernilai nol, maka seluruh data berada pada satu kelas yang sama atau bersifat homogen. Pada penelitian ini digunakan total 10 data, yang terdiri atas 4 data dengan kondisi Normal dan 6 data dengan kondisi Anomali. Data yang termasuk dalam kelas Normal adalah data nomor 2, 4, 5, dan 10, sedangkan data yang termasuk dalam kelas Anomali adalah data nomor 1, 3, 6, 7, 8, dan 9. Berdasarkan jumlah tersebut, probabilitas kelas Normal adalah sebesar 0,4 ditunjukkan pada persamaan 2, sedangkan probabilitas kelas Anomali adalah sebesar 0,6 ditunjukkan pada persamaan 3. Nilai entropy total dihitung menggunakan persamaan entropy sebagai berikut:

$$E(S) = - \sum_{i=1}^c p_i \log_2(p_i) \tag{1}$$

$$p_{\text{Normal}} = \frac{4}{10} = 0.4 \tag{2}$$

$$p_{\text{Anomali}} = \frac{6}{10} = 0.6 \tag{3}$$

Dengan memasukkan nilai probabilitas masing-masing kelas, maka diperoleh:

$$E(S) = - \frac{4}{10} \log_2 \frac{4}{10} + \frac{6}{10} \log_2 \frac{6}{10} \tag{4}$$

$$\log_2 0.4 = \log_{10} 0.4 / \log_{10} 2 \approx -1.3219 \tag{5}$$

$$\log_2 0.6 = \log_{10} 0.6 / \log_{10} 2 \approx -0.7369 \tag{6}$$

$$E(S) = -4(0.4(-1.3219)) + 0.6 \cdot (-0.7369) \tag{7}$$

$$E(S) = -(-0.5288 - 0.4421) = 0.9709 \tag{8}$$

Nilai logaritma basis dua dari 0,4 adalah sekitar -1,3219, sedangkan nilai logaritma basis dua dari 0,6 adalah sekitar -0,7369. Dengan demikian, hasil perhitungan entropy total adalah: $E(S) \approx 0.971$. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai entropy total sebesar 0,971. Nilai ini menunjukkan bahwa data masih memiliki tingkat ketidakpastian yang cukup tinggi karena komposisi data Normal dan Anomali masih bercampur.

Selanjutnya dilakukan penghitungan entropy untuk masing-masing atribut, yaitu Suhu, Kelembapan, dan Kadar CO. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui atribut mana yang paling baik digunakan sebagai pemisah data pada proses pembentukan pohon keputusan. Atribut yang memiliki nilai information gain paling besar akan dipilih sebagai atribut terbaik karena mampu mengurangi ketidakpastian data paling besar.

Pada atribut Suhu, digunakan kondisi pemisahan Suhu < 32°C. Data yang memenuhi kondisi tersebut adalah data nomor 2, 4, 5, 6, dan 7, sehingga terdapat 5 data. Dari 5 data tersebut, sebanyak 3 data termasuk kelas Normal, yaitu data nomor 2, 4, dan 5, sedangkan 2 data termasuk kelas Anomali, yaitu data nomor 6 dan 7. Dengan demikian, entropy untuk kelompok data dengan Suhu < 32°C dihitung berdasarkan probabilitas 3/5 untuk kelas Normal dan 2/5 untuk kelas Anomali.

$$E(S|Suhu < 32) = - \left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{3}{5} \log_2 \frac{3}{5} \right) \tag{9}$$



$$\log_2 \frac{2}{5} \approx -1.3219, \log_{10} 2 \frac{3}{5} \approx -0.7369 \quad (10)$$

$$E(S|Suhu < 32) \quad (11)$$

$$= - (0.4 \cdot (-1.3219) + 0.6 \cdot (-0.7369))$$

Hasil = **0.9709**

Hasil tersebut menunjukkan bahwa subset data pada kondisi Suhu < 32°C masih memiliki campuran kelas Normal dan Anomali, sehingga nilai entropy masih tinggi.

Pada atribut Kelembapan, digunakan kondisi pemisahan Kelembapan < 85%. Data yang memenuhi kondisi tersebut adalah data nomor 2, 4, dan 10, sehingga terdapat 3 data. Seluruh data pada kelompok ini termasuk kelas Normal dan tidak terdapat data Anomali. Karena seluruh data berada pada satu kelas yang sama, maka nilai entropy untuk kelompok ini adalah 0. Hal ini menunjukkan bahwa atribut kelembapan pada kondisi tersebut mampu membentuk subset data yang homogen.

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai rata-rata entropy untuk atribut Kelembapan. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai entropy bersyarat atribut Kelembapan adalah sebesar 0,6042, sehingga information gain dapat dihitung sebagai berikut:

$$E(Kelembapan) = \frac{7}{10} \cdot 0.8631 + \frac{3}{10} \cdot 0 = 0.3668 \quad (12)$$

- Information Gain Kelembapan :

$$IG(Kelembapan) = E(S) - E(Kelembapan) = 0.971 - 0.6042 = 0.3668$$

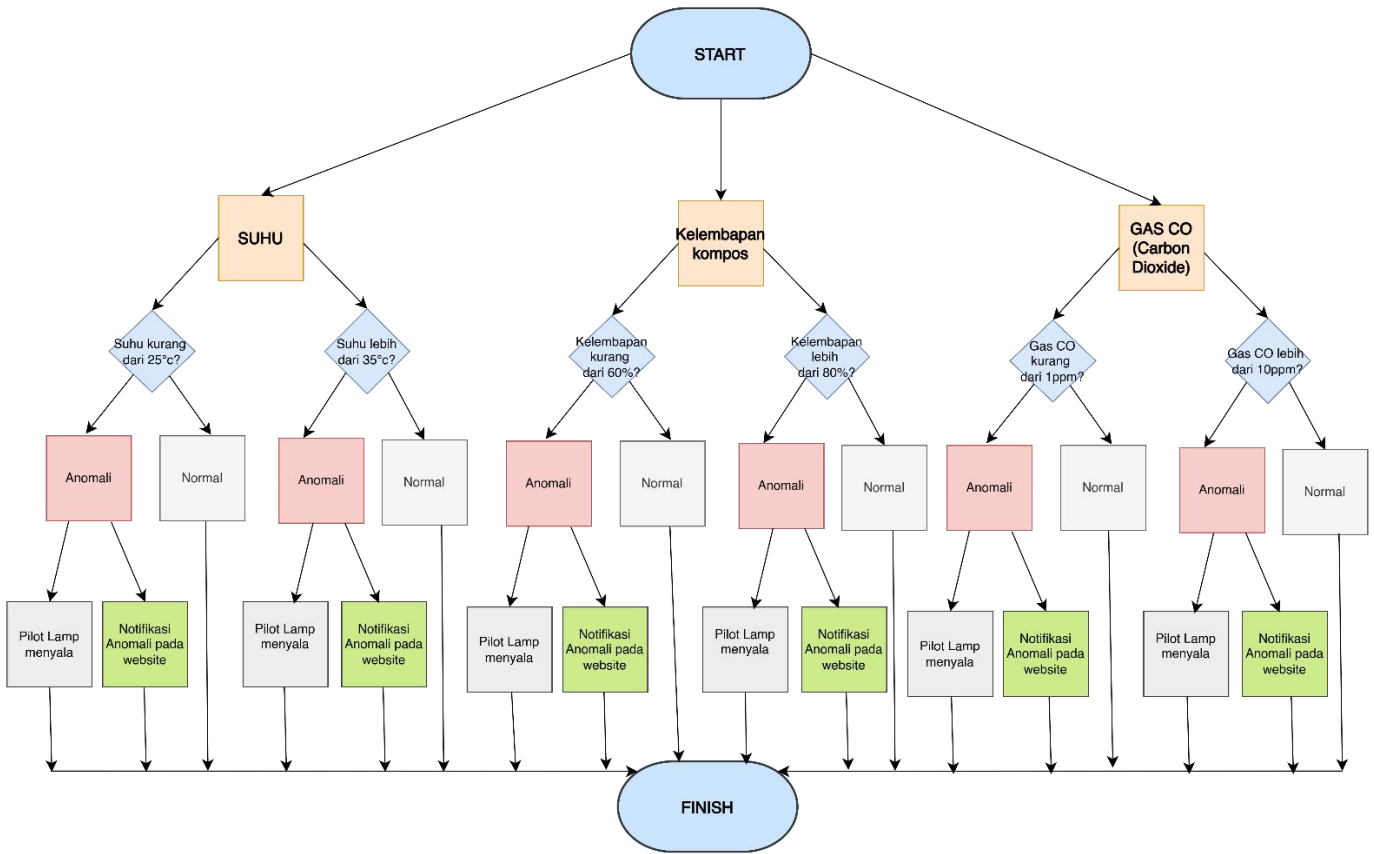
Nilai information gain sebesar 0,3668 menunjukkan bahwa atribut Kelembapan memberikan pengurangan ketidakpastian yang cukup besar terhadap klasifikasi data Normal dan Anomali.

Pada atribut Kadar CO, digunakan kondisi pemisahan Kadar CO < 1,0 ppm. Data yang memenuhi kondisi tersebut adalah data nomor 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, dan 10, sehingga terdapat 9 data. Dari 9 data tersebut, sebanyak 4 data termasuk kelas Normal, yaitu data nomor 2, 4, 5, dan 10, sedangkan 5 data termasuk kelas Anomali, yaitu data nomor 1, 3, 7, 8, dan 9. Berdasarkan komposisi tersebut, entropy untuk kelompok data dengan Kadar CO < 1,0 ppm adalah sebesar 0,9911.

$$E(S|Kadar CO) = \frac{1}{10} \cdot 0 + \frac{9}{10} \cdot 0.9911 = 0.0791 \quad (13)$$

Nilai entropy bersyarat untuk atribut Kadar CO dihitung dengan mempertimbangkan jumlah data pada masing-masing subset. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai information gain untuk atribut Kadar CO adalah sebesar 0,0791. Nilai ini lebih kecil dibandingkan information gain pada atribut Kelembapan, sehingga kemampuan atribut Kadar CO dalam mengurangi ketidakpastian data masih relatif rendah.





Gambar 8. Flowchart Keputusan Decision Tree

Penelitian ini mengimplementasikan algoritma *Decision Tree* sebagai instrumen pengambilan keputusan utama. Pemilihan metode ini didasarkan pada efektivitasnya dalam memetakan parameter sensor yang kompleks ke dalam struktur logika yang sederhana. Berbeda dengan sistem kontrol linier, *Decision Tree* memungkinkan sistem untuk memberikan respon cepat terhadap anomali data melalui ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan secara sistematis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pemantauan berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan koneksi Wi-Fi memungkinkan pengawasan real-time terhadap suhu, kelembapan, kadar CO, dan putaran motor (RPM) melalui sensor DHT22, MiCS-5524, soil moisture, dan opto-coupler, dengan data divisualisasikan pada antarmuka web dalam bentuk bilah kemajuan dan tabel. Pengamatan dari 7 hingga 15 Juli 2025 mencatat suhu 28,8–34,4°C, kelembapan 80–95%, dan kadar CO 0–1,8 ppm. Mesin pencacah dioptimalkan dengan modul dimmer AC berbasis PWM untuk mengatur kecepatan motor AC satu fasa, menghasilkan tegangan 29–225 V dan putaran 622–3051 RPM, sementara limit switch CZ-7121 memastikan motor hanya aktif pada kondisi normally closed, meningkatkan kinerja dan keselamatan. Sensor mendeteksi anomali seperti suhu di luar rentang 25–38°C, kelembapan 100%, atau kadar CO melebihi 1 ppm dengan akurasi tinggi, dan algoritma pohon keputusan pada antarmuka web mengidentifikasi masalah untuk memungkinkan tindakan cepat guna mencegah gangguan operasional. ESP32 mengolah data sensor secara otomatis, menampilkan hasil pada antarmuka web dengan fitur pengaturan kecepatan motor dan laporan berbasis waktu, serta memberikan saran pengendalian saat anomali terdeteksi, seperti lonjakan CO 1,8 ppm pada 12 dan 14 Juli 2025, sehingga mendukung pertumbuhan larva Black Soldier Fly secara efektif.



3.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memverifikasi bahwa perangkat keras dan lunak beroperasi sesuai dengan tujuan dan spesifikasi yang ditetapkan. Proses ini mencakup beberapa aspek utama, yaitu akurasi pembacaan sensor, respons sistem pengendalian terhadap kecepatan motor, dan kemampuan sistem untuk menampilkan data secara real-time melalui situs web. Sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor gas MiCS-5524, serta sensor kelembapan tanah diuji dengan membandingkan hasilnya terhadap alat ukur standar untuk memastikan keakuratannya. Selain itu, sensor opto-coupler yang digunakan untuk mengukur putaran motor (RPM) dikalibrasi menggunakan tachometer guna menjamin ketelitian pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua sensor bekerja dengan tingkat akurasi yang memadai untuk kebutuhan pemantauan lingkungan dalam proses pengomposan.



Gambar 9. Pengamatan dan Pengecekan komponen alat

Pengujian juga dilakukan pada sistem pengendalian motor yang menggunakan modul dimmer AC berbasis PWM. Tegangan yang dihasilkan berkisar antara 29 hingga 225 volt, dengan kecepatan putaran motor antara 622 hingga 3051 RPM, tergantung pada nilai PWM yang diterapkan. Selain itu, sistem diuji untuk mendeteksi kondisi anomali, seperti suhu di luar rentang optimal (25–38°C), kadar CO yang melebihi 1 ppm, dan tingkat kelembapan kompos yang berlebihan. Saat parameter melampaui batas aman, antarmuka web akan menampilkan indikator peringatan. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu beroperasi secara efektif untuk mendukung proses pengomposan berbasis larva Black Soldier Fly.

3.2 Perbandingan dengan Metode Kontrol Lain

Dalam pengembangan sistem otomasi, terdapat beberapa metode kontrol seperti Fuzzy Logic dan PID (Proportional-Integral-Derivative). Namun, pada penelitian ini Decision Tree dipilih karena beberapa keunggulan spesifik untuk kasus komposter BSF:

1. Efisiensi Komputasi: Berbeda dengan Fuzzy Logic yang memerlukan proses defuzzifikasi yang intensif secara matematis, Decision Tree bekerja dengan logika if-then sederhana yang sangat ringan untuk diproses oleh ESP32 secara real-time.
2. Karakteristik Respon: PID Controller sangat efektif untuk menjaga satu titik set-point tetap (misalnya menjaga suhu tepat di 30°C). Namun, dalam pengolahan limbah organik, parameter lingkungan cenderung berubah secara fluktuatif dan non-linear. Decision Tree lebih unggul dalam



mengklasifikasikan kondisi 'Aman' atau 'Bahaya' berdasarkan range/ambang batas (threshold) yang luas.

- Integrasi Safety Intake: Decision Tree memudahkan integrasi variabel keamanan seperti Limit Switch. Logika biner (buka/tutup) pada Limit Switch dapat langsung diproses sebagai syarat utama (*Interlock*) sebelum algoritma pencacahan dijalankan, memberikan tingkat keamanan (*Safety Intake*) yang lebih pasti dibandingkan kontrol berbasis PID yang bersifat kontinu.

3.3 Perbandingan Pengembangbiakan

Tabel berikut membandingkan kondisi larva yang dipantau dan tidak dipantau. Dengan pemantauan, parameter lingkungan seperti suhu (24–30°C), kelembapan (80–95%), dan kadar gas CO diatur secara optimal menggunakan alat ukur, sehingga mendukung perkembangan larva menjadi pupa dalam waktu satu minggu. Berat larva, diukur dari 20 ekor, meningkat dari 16 gram menjadi 22 gram, dengan panjang tubuh mencapai 2,5–3 cm. Sebaliknya, tanpa pemantauan, pengukuran dilakukan secara manual, menyebabkan suhu dan kelembapan sering tidak stabil, yang meningkatkan risiko kekeringan dan paparan gas berbahaya. Akibatnya, pertumbuhan larva terhambat, dengan berat hanya meningkat menjadi 20 gram dan panjang tubuh sekitar 2–2,5 cm. Data ini menunjukkan pentingnya pemantauan untuk mencapai hasil optimal dalam perawatan larva.

TABEL II : HASIL PERBANDINGAN

No	Parameter	Dengan Monitoring	Tanpa Monitoring
1	Parameter Lingkungan	Suhu: Alat pengukur menjaga suhu ideal 26-34°C. Kelembapan: Alat pengukur memastikan kadar air media 60-90%. Gas CO ppm: Pendeteksian gas berbahaya untuk keamanan.	Suhu: Perkiraan dengan tangan, berisiko melampaui 26--34°C. Kelembapan: Pengukuran manual, rentan terlalu basah atau kering. Gas CO ppm: Tidak terdeteksi, meningkatkan risiko paparan.
2	Komposter	Menghindari kekurangan air pada larva agar larva dapat bertahan hidup hingga menjadi pupa, dengan waktu yang diperlukan sekitar 2 minggu	Resiko dehidrasi kekurangan air sehingga menghambat pertumbuhan
3	Berat Larva	Larva digunakan untuk sampel berat sejumlah 20 ekor , berat awal 16 gram berat akhir nya yaitu 22 gram	Larva digunakan untuk sampel berat sejumlah 20 ekor , berat awal 16 gram berat akhir nya yaitu 20 gram



4	Ukuran	7 maggot × 2 cm = 14 cm	10 maggot × 2 cm = 20 cm
		7 maggot × 2,5 cm = 17,5 cm	10 maggot × 2,5 cm = 25 cm
		6 maggot × 3 cm = 18 cm	

4. KESIMPULAN

Sistem pemantauan dan pengendalian berbasis IoT untuk pengomposan larva Black Soldier Fly (BSF) terbukti efektif dalam menjaga kondisi lingkungan optimal, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pengujian pada 7–15 Juli 2025. Dengan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, MiCS-5524, sensor kelembapan tanah, dan opto-coupler, sistem mampu memantau suhu (28,8–34,4°C), kelembapan (80–95%), kadar CO (0–1,8 ppm), dan putaran motor (622–3051 RPM) secara real-time dengan akurasi tinggi, yang divisualisasikan melalui antarmuka web. Sistem pengendalian motor berbasis PWM dan limit switch CZ-7121 meningkatkan efisiensi dan keselamatan operasional, sementara deteksi anomali seperti lonjakan CO atau suhu di luar rentang optimal memungkinkan tindakan korektif cepat. Pertumbuhan larva yang dipantau menunjukkan peningkatan signifikan (berat 22 gram, panjang 2,5–3 cm) dibandingkan tanpa pemantauan (berat 20 gram, panjang 2–2,5 cm), menggarisbawahi pentingnya pemantauan lingkungan. Meskipun demikian, tantangan seperti lonjakan CO menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi sistem ventilasi otomatis, untuk memastikan stabilitas lingkungan yang lebih baik dan mendukung efisiensi pengomposan BSF di masa depan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, yang dengan kesabaran dan dedikasi telah meluangkan waktu untuk membimbing saya hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Vivin Setiani, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan arahan, koreksi, solusi, serta dukungan penuh sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Ii Munadhif, S.ST., M.T., Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T., Bapak Afif Zuhri Arfianto, S.T., M.T., dan Bapak Edy Setiawan, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji, yang telah meluangkan waktu serta memberikan masukan, saran, dan kritik yang sangat berharga untuk memperbaiki dan memperdalam pemahaman saya terhadap materi. Tak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh jajaran Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan dukungan selama saya menjalani studi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Yuwono and P. D. Mentari, *Penggunaan larva (maggot) black soldier fly (BSF) dalam pengolahan limbah organik*. 2018.
- [2] A. Fitriansyah and M. R. Suryanto, "Teknologi Kontrol Lampu dan Kunci Rumah Berbasis IoT," *J. Teknol. Inform. dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 88–96, 2021, doi: 10.37012/jtik.v7i1.505.
- [3] B. Dortmans, J. Egger, S. Diener, and C. Zurbrügg, *Proses Pengelolaan Sampah Organik dengan Black Soldier Fly (BSF): Panduan Langkah-langkah Lengkap Edisi Kedua*. 2021.
- [4] A. Singh, D. Marathe, and K. Kumari, "Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.): Ideal Environmental Conditions and Rearing Strategies," *Indian J. Entomol.*, pp. 1–11, Mar. 2022, doi: 10.55446/IJE.2022.166.
- [5] 311-320 Kumar, A., & Sharma, R., 2021, IoT-based environmental monitoring system using ESP32 microcontroller, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), "Kumar, A., & Sharma, R., 2021, IoT-based environmental monitoring system using ESP32 microcontroller, *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 311-320," *New Trends Comput. Vis. Bio-Inspired Comput. - Sel. Work. Present. ICCVBIC 2018*, pp. 417–422, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-41862-5_40.
- [6] Q. Zhang, "Financial Data Anomaly Detection Method Based on Decision Tree and Random Forest Algorithm," *J. Math.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/9135117.



- [7] V. Achmad, "Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Dan Pengendalian Banjir Pada Pintu Air Jagir Wonokromo Dengan Protokol Komunikasi Mqtt Wonokromo Dengan Protokol Komunikasi Mqtt," 2023.
- [8] S. Hidayat, M. Hidayatullah, T. Andriani, and A. Jaya, "SISTEM KONTROL WAKTU DAN SUHU PADA MESIN PENERING KEMIRI OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 BERBASIS ARDUINO UNO Time and Temperature Control System an Automatic Hazelnut Drying Machine Using Arduino Uno Based DHT22 Sensor," vol. 04, no. 01, pp. 17–25, 2025, doi: 10.51401/altron.v4i1.4381.g2539.
- [9] A. Refalista, R. Irawati, I. Irawan, and T. W. Wisjhnuadji, "Pengunaan Sensor MQ-2,4,7,135 dan ESP32 Untuk Air Pollution Monitoring Berbasis Internet of Things," *J. Ticom Technol. Inf. Commun.*, vol. 12, no. 1, pp. 31–36, 2023, doi: 10.70309/ticom.v12i1.104.
- [10] V. Matus, E. Eso, S. R. Teli, R. Perez-Jimenez, and S. Zvanovec, "Experimentally derived feasibility of optical camera communications under turbulence and fog conditions," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 3, 2020, doi: 10.3390/s20030757.

