



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (AE43250)

IMPLEMENTASI APLIKASI *MONITORING DAN PENGENDALIAN* PADA MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Rabbani Rifqi Fannani
NRP.0921040019

Dosen Pembimbing
Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.
Vivin Setiani, S.T., M.Eng.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025



PPNS
POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (AE43250)

IMPLEMENTASI APLIKASI MONITORING DAN PENGENDALIAN PADA MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Rabbani Rifqi Fannani
NRP. 0921040019

Dosen Pembimbing
Ryan Yudha Adhitya, S.T., M.T.
Vivin Setiani, S.T., M.Eng.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI

JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**IMPLEMENTASI APLIKASI MONITORING DAN PENGENDALIAN PADA
MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS
INTERNET OF THINGS**

Disusun Oleh:
Rabbani Rifqi Fannani
0921040019

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 18 Juli 2025
Periode Wisuda : Oktober 2025

Menyetujui,

NUPTK

(7042769670130383)

Tanda Tangan

(.....)

Dosen Penguji

1. Ii Munadhif, S.ST., M.T.
2. Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.
3. Afif Zuhri Arfianto, S.T., M.T.
4. Edy Setiawan, S.T., M.T.

(9948769670130352)

(4535765666130243)

(3843757658130122)

(.....)

(.....)

(.....)

Dosen Pembimbing

NUPTK

1. Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T. (9948769670130352)
2. Vivin Setiani, S.T., M.Eng. (7248767668230273)

Tanda Tangan

(.....)

(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,



**Isa Rachman, S.T., M.T.
NIP. 198008162008121001**

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

**Agus Khumaidi, S.T., M.T.
NIP. 199308172020121004**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LEMBAR BEBAS PLAGIAT

 PPNS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA	PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	---------------------------------	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rabbani Rifqi Fannani

NRP 0921040019

Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal/D4 Teknik Otomasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahawa :

Tugas Akhir yang saya kerjakan dengan judul :

IMPLEMENTASI APLIKASI *MONITORING DAN PENGENDALIAN* PADA MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Adalah **benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.**

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 28 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



(Rabbani Rifqi Fannani)

NRP. 0921040019

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “IMPLEMENTASI APLIKASI *MONITORING DAN PENGENDALIAN PADA MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS INTERNET OF THINGS*” sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Diploma 4 pada program Studi Teknik Otomasi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran berbagai pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan dari segi motivasi, moral, materi, serta semangat yang tiada hentinya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada.

1. Kedua orang tua saya, Bapak Luckman Setiawan dan Mamah Yati Umanah yang tiada hentinya terus mendoakan, memberikan semangat dan motivasi untuk terus berusaha serta mendukung segala usaha yang telah dilakukan oleh penulis semasa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir.
2. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST.,M.T. selaku koordinator tugas akhir.
5. Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST.,M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktunya untuk membimbing saya dengan sabar sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Ibu Vivin Setiani, S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengarahkan, memberi koreksi, memberi solusi serta dukungan penuh dalam penyusunan Tugas Akhir ini dengan baik.
7. Bapak Bapak Ii Munadhif, S.ST.,M.T. , Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST.,M.T. , Afif Zuhri Arfianto, S.T.,M.T. , Edy Setiawan, S.T.,M.T. selaku Dosen penguji yang telah meluangkan waktu serta memberikan masukan, saran, dan kritik yang membantu saya untuk memperbaiki dan memahami materi dengan baik.

8. Seluruh Jajaran Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya selama penulis menjalankan studi.

9. Seluruh teman-teman saya Teknik Otomasi 2021 atas 4 tahun yang sangat berkesan sehingga dapat dijadikan pengalaman berharga selama hidup.

10. Kepada kiai yang sudah membantu dan menemani penulis selama Tugas Akhir sehingga tidak merasa sendirian .

11. Kepada keluarga besar cibubur yang tiada hentinya terus mendoakan, memberikan semangat dan motivasi untuk terus berusaha serta mendukung segala usaha yang telah dilakukan oleh penulis semasa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir.

12. Kepada keluarga besar O2H , Luthfi Halimawan ,Windah Basudara, dan teman-teman discord , yang sudah menemani penulis dan menghibur pengerjaan Tugas Akhir sehingga penulis terhindar dari stress berkepanjangan.

13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga kebaikannya dibalas oleh Allah SWT. Dengan berlipat gana, Amiin.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari katasempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa depan. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang yang membacanya. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bisa menjadi amal jariyah yang bermanfaat bagi penulis dan bagi siapa pun yang membacanya.

Penulis,

(Rabbani Rifqi Fannani)



IMPLEMENTASI APLIKASI MONITORING DAN PENGENDALIAN PADA MESIN PENCACAH KOMPOSTER MAGGOT BERBASIS INTERNET OF THINGS

Rabbani Rifqi Fannani

ABSTRAK

Penelitian ini merancang sistem pemantauan dan pengendalian otomatis untuk pengolahan limbah organik menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memakai mikrokontroler ESP32 untuk memantau suhu, kelembapan, kadar CO, dan putaran motor secara real-time melalui sensor DHT22 dan MiCS-5524. Data ditampilkan pada dashboard web dengan notifikasi otomatis saat parameter melebihi batas aman (suhu >38°C, kelembapan >95%, CO >1 ppm). Pengendalian putaran motor AC diatur dengan modul dimmer PWM. Hasilnya, sistem ini meningkatkan pertumbuhan larva (berat 16 g ke 22 g; panjang 2,475 cm ke 2,55 cm) dan mempercepat siklus pupa dalam 2 minggu, dibandingkan tanpa pemantauan. Model *decision tree* mendeteksi anomali di ruang kompos. Penelitian ini menunjukkan kontribusi positif sistem IoT terhadap pertumbuhan larva melalui penciptaan lingkungan yang stabil, menjadikannya efisien untuk pengelolaan limbah organik.

Kata Kunci: *Internet of Things* (IoT), ESP32, Kelembapan Kompos, Motor AC Dimmer, Deteksi Anomali

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

IMPLEMENTATION OF A MONITORING AND CONTROL APPLICATIONS FOR THE INTERNET OF THINGS-BASED MAGGOT COMPOSTER CHOPPING MACHINE.

Rabbani Rifqi Fannani

ABSTRACT

This study designed an automatic monitoring and control system for organic waste processing using Black Soldier Fly (BSF) larvae based on the Internet of Things (IoT). This system uses an ESP32 microcontroller to monitor temperature, humidity, CO levels, and motor rotation in real time through DHT22 and MiCS-5524 sensors. Data is displayed on a web dashboard with automatic notifications when parameters exceed safe limits (temperature >38°C, humidity >95%, CO >1 ppm). AC motor rotation control is regulated with a PWM dimmer module. As a result, this system increases larva growth (weight from 16 g to 22 g; length from 2.475 cm to 2.55 cm) and accelerates the pupation cycle by 2 weeks, compared to without monitoring. The decision tree model detects anomalies in the composting chamber. This study demonstrates the positive contribution of the IoT system to larval growth by creating a stable environment, making it efficient for organic waste management.

Keywords: Internet of Things (IoT), ESP32, Compost Humidity, AC Dimmer Motor, Anomaly Detection.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	7
2.2 Kajian Pustaka	11
2.2.1 <i>Black Soldier Fly (BSF)</i>	11
2.2.2 Proses Pengomposan Menggunakan BSF.....	11
2.2.3 Komposter Larva BSF	12
2.2.4 Mesin Pencacah dalam Proses Pengomposan	12
2.2.5 Integrasi IoT pada Komposter BSF	12

2.3	Kontroller yang Digunakan.....	13
2.3.1	ESP 32	13
2.4	Input yang Digunakan.....	14
2.4.1	Sensor DHT 22	14
2.4.2	Sensor <i>Limit Switch</i>	16
2.4.3	Sensor MICS 5524.....	17
2.4.4	Sensor <i>Capacitive Soil Moisture</i>	18
2.4.5	Sensor Opto <i>Coupler Encoder</i>	19
2.5	Aktuator yang Digunakan	20
2.5.1	<i>Pilot Lamp</i>	20
2.5.2	AC Dimmer	21
2.5.3	LCD 16x2	22
2.5.5	Motor AC 1 Phase	23
2.5.6	Buck Converter.....	24
2.5.7	Power Supply 12V.....	25
2.6	Software yang Digunakan.....	25
2.6.1	MQTT.....	25
2.6.2	Python.....	27
2.6.3	PHP	28
2.6.4	AJAX.....	28
2.6.5	MySQL Database	29
2.6.6	XAMPP	30
2.6.7	Visual Studio Code (VS Code).....	30
2.6.8	HiveMQ	31
2.6.9	Arduino IDE	31
2.7	Metode yang Digunakan.....	32

2.7.1 Metode <i>Decision Tree</i>	32
BAB 3 METODE PENELITIAN	37
3.1 Tahap Identifikasi Awal	37
3.1.1 Identifikasi Masalah.....	37
3.1.2 Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	38
3.2 Studi Literatur.....	38
3.3 Analisis Kebutuhan Sistem	38
3.4 Perancangan Sistem.....	39
3.4.1 Diagram Blok Sistem	39
3.4.2 <i>Flowchart</i> Sistem	40
3.5 Perancangan <i>Software</i>	41
3.5.1 Rancangan Tampilan <i>Website</i> pada browser	42
3.5.2 <i>Use Case Diagram</i>	42
3.5.3 Arsitektur Protokol <i>Website</i>	43
3.5.4 Proses Metode <i>Decision Tree</i>	43
3.6 Tahap Perancangan <i>Hardware</i> dan Mekanik	48
3.6.1 Perancangan <i>Hardware</i>	49
3.6.2. Perancangan Mekanik	49
3.7 Tahap Perancangan Panel dan <i>wiring</i>	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Pembuatan PCB	55
4.2 Hasil Pengujian Hardware	56
4.2.1 Pengujian Sensor DHT 22	57
4.2.2 Pengujian Motor AC 1 Phase.....	59
4.2.3 Pengujian Sensor AC <i>Dimmer</i>	60
4.2.4 Pengujian Sensor Opto <i>Coupler Encoder</i>	62

4.2.5 Pengujian Senssor <i>Limit Switch</i>	64
4.2.6 Pengujian <i>Pilot Lamp</i>	65
4.2.4 Pengujian Senssor MICS5524	66
4.2.5 Pengujian Sensor <i>Soil Moisture</i>	68
4.3 Hasil perhitungan data dengan metode	70
4.4 Tampilan <i>Website</i>	75
4.5 Hasil Pengamatan.....	78
4.6 Pengujian Sistem.....	81
4.7 Perbandingan Pengembangbiakan	82
4.7.1 Rata-rata ukuran tanpa monitoring	84
4.7.2 Rata-rata ukuran menggunakan monitoring	84
4.7.3 Rata-rata perbandingan	85
BAB 5 PENUTUPAN	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	93
Biodata Mahasiswa.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nameplate Spesifikasi Motor AC 1 Phase	21
Tabel 3.1 Analisa Kebutuhan Sistem.....	34
Tabel 3.2 Data Percobaan	43
Tabel 3.3 Tabel Wiring dan Panel Listrik.....	51
Tabel 4. 1 Hasil pembacaan serta nilai erorr DHT22 suhu	56
Tabel 4.2 Perubahan tegangan pada keluaran Motor AC 1 Phase.	58
Tabel 4.3 Perubahan tegangan pada keeluaran AC dimmer	59
Tabel 4.4 Hasil pengukuran rpm dengan sensor dan tachometer.....	61
Tabel 4.6 Pengujian Pilot Lamp menggunakan multimeter.....	62
Tabel 4.7 Pengujian sensor MiCS 5524 menggunakan MSA Altair 5X Detector	65
Tabel 4.8 Hasil pengujian sensor Soil Moisture menggunakan soil meter	67
Tabel 4.9 Tabel Pengamatan	75
Tabel 4.10.Perbandingan	76

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Mesin Prototype Komposter tampak samping	8
Gambar 2.2 Maggot BSF	11
Gambar 2.3 ESP 32.....	13
Gambar 2.4 DHT 22.....	15
Gambar 2.5 Sensor <i>limit switch</i>	17
Gambar 2.6 Sensor Mics 5524.....	18
Gambar 2.7 Sensor Capacitive Soil Moisture	18
Gambar 2.8 Sensor Opto <i>Coupler Encoder</i>	19
Gambar 2.9 Pilot Lamp	20
Gambar 2.10 Ac Dimmer.....	23
Gambar 2.11 LCD 16x2.....	19
Gambar 2.12 Motor AC 1 Phase.....	24
Gambar 2.13 Buck Converter	24
Gambar 2.14 Power Supply 12 v	25
Gambar 2.15 MQTT	27
Gambar 2.16 Pyhton	27
Gambar 2.17 PHP	28
Gambar 2.18 logo AJAX.....	29
Gambar 2.19 MySQL Database	29
Gambar 2.20 Xampp	30
Gambar 2.21 Visual Studio Code (VS Code)	31
Gambar 2.22 HiveMQ.....	31
Gambar 2.23 Arduino IDE.....	32
Gambar 2.24 Flowchart Decision Tree	35
Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian	37
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	39
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> sistem	41
Gambar 3.4 Rancangan Tampilan Website pada browser	42
Gambar 3.5 Arsitektur Protokol <i>Website</i>	43
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> Keputusan <i>Decision Tree</i>	48

Gambar 3.7 Rancangan Hardware.....	49
Gambar 3.8 Prototype Mesin pencacah dengan komponen	49
Gambar 3.9 Desain Panel	50
Gambar 3.10 Wiring pada panel.....	54
Gambar 4.1 Hasil Pembuatan PCB	55
Gambar 4.2 Pengujian ssensor DHT 22	57
Gambar 4.3 Uji aktuator Motor AC 1 Phase.	59
Gambar 4.4 Uji aktuator AC dimmer	61
Gambar 4.5 Pengujian sensor pada kecepatan motor	62
Gambar 4.6 Pengukuran rpm pada motor menggunakan <i>tachometer</i>	64
Gambar 4.7 Pengujian <i>limit switch</i>	64
Gambar 4.8 Percobaan sensor MiCS 5524 dengan MSA Altair 5X Detect	67
Gambar 4.9 Percobaan sensor Soil Moisture dengan soil meter	69
Gambar 4.10 Flowchart Keputusan Decision Tree	74
Gambar 4.11 Tampilan <i>Login</i>	75
Gambar 4.12 Tampilan Dashboard	76
Gambar 4.13 Tampilan Laporan	77
Gambar 4.14 Tampilan Cetak laporan	77
Gambar 4.15 Tampilan Tables	78
Gambar 4.16 Pengamatan dan Pengecekan alat	81
Gambar 4.17 Pengamatan monitoring ruang komposter	82
Gambar 4.18 Proses pemberian makan larva BSF	84

DAFTAR NOTASI

BSF	: <i>Black Soldier Fly</i>
IoT	: <i>Internet of Things</i>
MSE	: <i>Mean Squared Error</i>
Sensor	:Alat untuk mengukur suhu, kelembapan, dan kadar co ppm
MQTT	:Protokol komunikasi untuk pengaturan kecepatan motor
Safety Intake	:Fitur keselamatan pada mesin pencacah untuk mencegah kecelakaan
Anomali	: Perubahan kondisi yang tidak wajar dalam proses pengolongan
CO	: <i>Carbon Monoxide</i>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Latar Setiap aktivitas yang dilakukan setiap hari menghasilkan produk berupa limbah. Limbah merupakan sisa atau buangan yang tidak digunakan dan dianggap sudah tidak memiliki nilai lagi. Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022, jumlah timbulan limbah di Indonesia mencapai 18,30 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, 4,89 juta ton dapat dikurangi setiap tahunnya, setara dengan 26,72%, sedangkan penanganan limbah mencakup 9,25 juta ton atau sekitar 50,55%. Data SIPSN juga menunjukkan bahwa limbah yang berhasil dikelola mencapai 14,14 juta ton per tahun atau sekitar 77,28%, sementara sisanya, yaitu 4,16 juta ton, masih belum dikelola atau setara dengan 22,72%.

SIPSN mencatat bahwa limbah yang dihasilkan sebagian besar terdiri dari limbah sisa makanan (41,9%), limbah tumbuhan seperti kayu, ranting, dan daun (12%), limbah kertas atau karton (10,7%), limbah plastik (18,7%), dan limbah lainnya (6,9%). Sementara itu, berdasarkan sumbernya, limbah yang dihasilkan dominan berasal dari rumah tangga (37,6%), pasar tradisional (16,6%), dan pusat perniagaan (22,1%). Adanya volume limbah yang cukup besar ini perlu diolah dengan tepat agar tidak merusak lingkungan dan membahayakan makhluk hidup. Limbah dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu berdasarkan sifatnya (organik, anorganik, dan limbah B3), berdasarkan wujudnya (cair, padat, dan gas), dan berdasarkan sumbernya (alam, manusia, konsumsi, dan industri). Metode pengolahan limbah yang tepat sangat penting untuk mengurangi pencemaran lingkungan, dan salah satunya adalah dengan penerapan prinsip 3R (reduce, reuse, recycle).

Salah satu metode pengolahan limbah organik adalah dengan mendaur ulangnya menjadi kompos menggunakan larva BSF. Proses pengomposan dengan larva BSF terbukti efektif karena larva ini dapat mendegradasi limbah organik dengan cepat. Dalam siklus hidupnya.

Larva BSF memiliki kemampuan luar biasa untuk mengurangi volume limbah organik secara signifikan. Berdasarkan laporan dari Salam Yogyakarta (2023), maggot BSF mampu memproses limbah organik dengan cepat, sehingga volume limbah dapat berkurang hingga 50-60% dalam waktu yang relatif singkat. Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh tingkat degradasi limbah dan durasi waktu pengolahan. Dalam proses penguraian, perhatian terhadap suhu dan kadar air pakan sangat penting untuk memastikan larva berfungsi dengan optimal. Suhu yang ideal untuk pakan larva BSF berada dalam kisaran 27° hingga 30°C, sementara kadar air optimalnya adalah antara 60% dan 90%. Jika kadar air terlalu tinggi, larva cenderung menjauh dari area pengolahan, sedangkan kadar air yang terlalu rendah akan menghambat proses penguraian (Koloni, 2023). Beragam jenis limbah dapat dijadikan pakan larva BSF, seperti sisa dapur, buah-buahan, sayuran, limbah ikan, limbah kota, kotoran manusia, dan kotoran hewan (Koloni, 2023).

Untuk mendukung pengolahan limbah organik menggunakan maggot BSF, dibutuhkan metode BSF komposting ,disaran bahan kompos berbentuk bubur, oleh karna itu di butuhkan mesin pencacah untuk pengomposan dalam bentuk bubur.menunjukkan bahwa mesin pencacah yang efisien dapat mempercepat proses pengolahan limbah dan meningkatkan produksi larva BSF. Namun, terdapat sejumlah tantangan dalam operasional mesin pencacah, seperti tingginya konsumsi energi, kesulitan dalam memantau kondisi mesin secara real-time, dan terbatasnya fitur keselamatan kerja, yang dapat menurunkan efisiensi dan meningkatkan risiko kecelakaan. Penelitian oleh (Putra et al. 2022) menyatakan bahwa penerapan *Internet of Things* (IoT) bisa menjadi solusi untuk memantau kondisi mesin dan proses pencacahan secara *real-time*. Penggunaan sensor suhu , kelembapan kompos, dan kadar co ppm yang terhubung ke platform berbasis web dapat membantu operator dalam mengelola proses pencacahan secara lebih efektif (Johnson & Lee, 2020).

Untuk meningkatkan keselamatan kerja, mesin pencacah dapat dilengkapi dengan fitur safety intake yang menggunakan sensor *limit switch*. Fitur ini memastikan bahwa motor pencacah hanya akan berfungsi jika penutup intake tertutup rapat, sehingga dapat mengurangi potensi kecelakaan pada operator (Singh

et al., 2022). Selain itu, MQTT dapat digunakan sebagai protokol komunikasi untuk mengatur kecepatan motor AC secara otomatis, memungkinkan pengiriman data sensor secara real-time dan memastikan komunikasi yang efisien antara sensor, motor, dan sistem kendali (Gupta & Kumar, 2021).

Sistem ini juga dilengkapi dengan algoritma *Decision Tree* untuk menganalisis data sensor secara *real-time*. Algoritma ini dapat mendeteksi adanya anomali, seperti lonjakan suhu atau kelembapan kompos yang tidak wajar, dan memberikan peringatan dini kepada operator. Dengan pendekatan ini, operator dapat segera mengambil langkah untuk mencegah kerusakan pada mesin atau masalah lainnya yang lebih serius (Zhang et al., 2021). Dengan memanfaatkan teknologi IoT, MQTT, dan algoritma *Decision Tree*, mesin pencacah ini diharapkan dapat bekerja dengan lebih efisien, aman, dan berkelanjutan. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dalam pengelolaan sampah organik dan mendukung pengolahan larva BSF yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana mengintegrasikan teknologi IoT dengan sensor akurat untuk memantau mesin pencacah dan proses pengomposan reactor BSF secara *real-time*?
2. Bagaimana mengoptimalkan efisiensi dan keamanan kerja mesin pencacah kompos BSF melalui fitur-fitur seperti *safety intake* dan kontrol kecepatan motor?
3. Bagaimana efisiensi dan efektivitas sistem dalam kondisi tanpa monitoring dengan menggunakan monitoring, untuk perkembang biakan BSF?
4. Bagaimana merancang sistem yang dapat memantau data sensor secara otomatis untuk mendeteksi perubahan kondisi reactor kompos BSF ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Merancang sistem mesin pencacah kompos BSF berbasis IoT yang mampu memantau suhu, kelembapan, dan kadar oksigen secara real-time.
2. Mengimplementasikan fitur safety intake untuk meningkatkan keselamatan operator dalam pengoperasian mesin pencacah.
3. Mengembangkan kontrol kecepatan motor berbasis website untuk meningkatkan efisiensi energi dan fleksibilitas pengoperasian.
4. Menyediakan sistem notifikasi otomatis yang dapat mendeteksi anomali pada sistem monitoring dan memberikan peringatan kepada operator.

1.4 Manfaat

Bagian Manfaat yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagi Industri Larva BSF: Meningkatkan efisiensi dalam pengolahan limbah organik dan mempercepat produksi maggot.
2. Bagi Operator Mesin: Memberikan rasa aman selama pengoperasian mesin melalui penambahan fitur keselamatan.
3. Bagi Lingkungan: Mendukung pengelolaan limbah organik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.
4. Bagi Penelitian: Menambah referensi serta kontribusi inovasi teknologi IoT dalam bidang pengolahan limbah organik.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa batasan untuk menjaga fokus dan keberhasilan pengembangan, yaitu:

1. Sistem IoT yang dikembangkan hanya akan mencakup pemantauan suhu, kelembapan, dan kadar oksigen pada area kompos yang telah dicacah oleh mesin pencacah.
2. Penelitian ini hanya monitoring suhu,kelembapan,oksigen pada reactor kompos BSF dan control kecepatan motor pencacah .

3. Website hanya difokuskan untuk monitoring dan pengaturan dasar, dan tidak mencakup manajemen limbah secara keseluruhan.
4. Penelitian ini tidak membahas aspek desain struktural atau material mesin pencacah secara mendalam mesin pencacah.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini, disajikan rangkuman literatur yang menguraikan penelitian-penelitian sebelumnya. Tinjauan pustaka tersebut menjadi rujukan untuk merancang metode penelitian, membahas dasar teori yang mendukung latar belakang permasalahan yang diangkat, serta mencakup perangkat lunak dan perangkat keras yang akan dimanfaatkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Kajian Penelitian pertama berjudul “Mesin Komposter Terintegrasi” oleh (D Hayati, 2020) . Penelitian ini membahas pengujian mesin komposter terintegrasi untuk mengevaluasi efisiensi proses pengomposan. Mesin ini dibuat menggunakan bahan aluminium karena sifatnya yang tahan keropos, anti rayap, lebih awet, dan tidak mudah menyusut seperti bahan kayu Mesin terdiri dari tiga komponen utama, yaitu ruang pencacahan, jalur perpindahan bahan, dan ruang pengomposan.

Komponen pertama adalah ruang pencacahan, yang dilengkapi dengan pisau untuk menghaluskan bahan kompos menjadi slurry. Hal ini penting untuk memenuhi kebutuhan larva BSF, yang lebih mudah melahap pakan berbentuk slurry (Aurelia Anggita Putri & Mohamad Mirwan, 2023). Meski demikian, ruang pencacahan memiliki kekurangan karena tidak dapat mengolah bahan dalam jumlah besar sekaligus, sehingga prosesnya harus dilakukan secara bertahap.

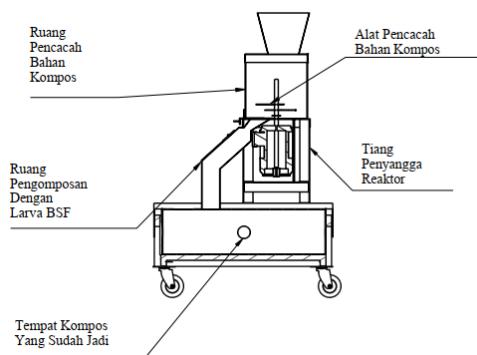
Komponen kedua adalah jalur perpindahan bahan yang menghubungkan ruang pencacahan dengan ruang pengomposan. Jalur ini mempermudah proses pemindahan bahan karena hasil cacahan dapat langsung jatuh ke ruang pengomposan. Namun, jika bahan terlalu lengket, perlu bantuan manual untuk memastikan bahan berpindah dengan baik.

Komponen terakhir adalah ruang pengomposan, yang dirancang dengan kapasitas besar untuk menampung lebih banyak bahan. Walaupun dimensinya mendukung daya tampung yang besar, ukurannya juga memerlukan ruang lebih luas untuk penempatan mesin. Ruang ini dilengkapi lubang untuk sirkulasi udara, yang membantu menciptakan kondisi aerobik guna meningkatkan efisiensi kerja larva BSF, meski kondisi ini dapat menimbulkan bau .Mesin juga dilengkapi

dengan selang dan toples yang berfungsi sebagai tempat migrasi larva ke area yang lebih lembap (Utami, 2023).

Pada uji coba, bahan yang digunakan untuk kompos perlu ditambahkan sedikit air sebelum dimasukkan ke ruang pencacahan agar lebih mudah diolah (Hartono et al., 2021). Setelah bahan diolah menjadi slurry, hasilnya dapat langsung mengalir ke ruang pengomposan tanpa intervensi manual. Meski demikian, proses memasukkan bahan ke ruang pencacahan masih membutuhkan bantuan manusia.

Secara keseluruhan, mesin komposter terintegrasi telah mampu mengurangi keterlibatan manusia dalam proses pengomposan , dan tidak adanya otomatisasi seperti safety intake pada bagian atas ruang pencacahan bahan kompos, control motor pencacah bahan kompos, dan website monitoring pada bagian tempat kompos yang sudah jadi .



Gambar 2.1 Gambar Mesin Prototype Komposter tampak Samping

(Sumber: Hayati,2020)

Penelitian kedua dengan judul “Alat Monitoring Kandang Lalat BSF (*Black Soldier Fly*) Berbasis IoT” yang dilakukan oleh Shafrijal et al. (2024) mengkaji tentang pengembangan sistem untuk memantau kondisi kandang lalat BSF menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang untuk mengawasi faktor-faktor lingkungan, seperti suhu, kelembapan, dan kualitas udara, yang mempengaruhi pertumbuhan larva BSF. Data yang diperoleh melalui sensor akan dikirim secara langsung ke aplikasi berbasis web, memungkinkan peternak untuk memantau kondisi kandang secara jarak jauh.

Sistem ini menggunakan mikrokontroler untuk mengambil data dari sensor, yang kemudian disalurkan ke server berbasis cloud melalui protokol komunikasi.

Data yang terkumpul ditampilkan secara real-time pada situs web, memberikan informasi terkini kepada peternak mengenai kondisi lingkungan kandang. Fitur alarm juga disertakan dalam sistem ini, yang akan memberikan peringatan kepada peternak jika ada perubahan kondisi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan larva.

Kelemahan dari penelitian ini adalah bahwa meskipun sistem ini efektif untuk pemantauan, tidak ada mekanisme pengendalian otomatis yang diterapkan. Dengan kata lain, meskipun kondisi lingkungan dapat dipantau, sistem ini tidak dapat secara otomatis mengubah parameter yang terdeteksi, seperti suhu atau kelembapan. Oleh karena itu, sistem ini hanya berfungsi sebagai alat untuk memantau tanpa memberikan kemampuan untuk melakukan penyesuaian otomatis. Penelitian ini juga tidak membahas kemungkinan integrasi dengan sistem lain, seperti pengaturan pemberian pakan atau pengolahan kompos yang berhubungan dengan larva BSF.

Selain itu, meskipun data dapat disimpan di cloud, tidak ada pembahasan terkait pengamanan data dan ketahanan sistem dalam skala yang lebih besar, yang sangat penting untuk implementasi pada skala industri. Oleh karena itu, penelitian ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut, terutama dalam hal peningkatan pengendalian otomatis dan penguatan aspek keamanan serta keandalan sistem.

Penelitian ketiga yang berjudul “Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan dengan Metode Histerisis untuk Proses Pembuatan Pupuk Kompos” yang dilakukan oleh Mukhammad Thoifuri Thobroni, Hari Kurnia Safitri, dan Fitri dari Politeknik Negeri Malang, mengkaji pengembangan sistem kontrol untuk mengatur suhu dan kelembapan dalam proses pembuatan pupuk kompos (Thobroni et al., 2023). Sistem ini dirancang dengan menggunakan metode histerisis, yang memungkinkan pengendalian otomatis terhadap dua parameter lingkungan utama yang berpengaruh pada keberhasilan proses dekomposisi bahan organik.

Sistem ini beroperasi dengan memanfaatkan sensor suhu dan kelembapan untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Ketika parameter yang diukur berada di luar rentang toleransi yang telah ditentukan, mekanisme kontrol akan diaktifkan untuk menyesuaikannya. Sebagai contoh, jika suhu terlalu tinggi, kipas pendingin akan dihidupkan, atau jika kelembapan terlalu rendah, sistem akan

menambahkan uap air ke dalam lingkungan. Metode histerisis yang diterapkan memastikan bahwa sistem tidak terlalu peka terhadap fluktuasi kecil, sehingga mengurangi frekuensi pengaktifan dan meminimalkan konsumsi energi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode histerisis efektif dalam menjaga stabilitas suhu dan kelembapan selama proses pembuatan kompos. Sistem ini juga dinilai mudah digunakan oleh pengguna karena dilengkapi dengan antarmuka berbasis digital yang menampilkan data suhu dan kelembapan secara langsung. Dengan kontrol yang akurat dan real-time, sistem ini dapat membantu meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan (Thobroni et al., 2024).

Kelebihan utama dari sistem ini adalah desain yang sederhana dan keandalannya dalam mempertahankan kondisi lingkungan yang ideal untuk proses pengomposan. Sistem ini mampu mengoptimalkan proses dekomposisi bahan organik, yang pada akhirnya dapat mempercepat waktu produksi pupuk kompos sekaligus meningkatkan efisiensinya. Selain itu, teknologi ini dapat diterapkan baik dalam skala kecil maupun besar, sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Namun, terdapat kelemahan dalam penelitian ini, yaitu kurangnya integrasi dengan sistem lain yang relevan, seperti pemantauan kualitas kompos selama proses berlangsung. Selain itu, penelitian ini belum mengeksplorasi secara mendalam pengaruh sistem kontrol terhadap efisiensi energi. Pada skala yang lebih besar, aspek ketahanan sistem terhadap gangguan eksternal, seperti kerusakan komponen atau gangguan pasokan listrik, juga perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut.

Di samping itu, penelitian ini tidak membahas secara rinci potensi pengembangan menuju sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), yang dapat memberikan akses pemantauan jarak jauh kepada pengguna. Dengan integrasi IoT, data dapat disimpan di cloud, dianalisis untuk pola jangka panjang, dan diakses melalui perangkat seluler, sehingga memberikan nilai tambah bagi petani atau pengguna komersial (Thobroni et al., 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini memiliki peluang untuk pengembangan lebih lanjut, terutama dalam aspek integrasi teknologi, penghematan energi, serta peningkatan keandalan dan skalabilitas sistem untuk aplikasi dalam skala industri. Inovasi tambahan, seperti pemanfaatan energi terbarukan untuk operasional sistem dan penerapan algoritma prediksi berbasis kecerdasan buatan untuk memantau dan

mengoptimalkan proses pengomposan, juga dapat menjadi fokus pengembangan di masa mendatang (Thobroni et al., 2024).

2.2 Kajian Pustaka

Pada bagian ini merupakan penjelasan teori yang akan digunakan dalam penelitian yang mencakupi objek penelitian, metode penelitian, perangkat keras dan perangkat lunak yang nantinya digunakan dalam tugas akhir ini.

2.2.1 *Black Soldier Fly* (BSF)

Black Soldier Fly (BSF) atau *Hermetia illucens* adalah jenis serangga yang dikenal luas karena kemampuannya dalam mengolah limbah organik. Larva BSF memiliki efektivitas tinggi dalam menguraikan limbah organik, yang kemudian diubah menjadi bahan bernutrisi untuk pakan ternak atau pupuk organik. Siklus hidup BSF terdiri atas beberapa tahap, yaitu telur, larva, prepupa, pupa, dan imago. Tahap larva menjadi fase yang paling signifikan dalam proses penguraian karena kemampuannya dalam mengonsumsi berbagai jenis limbah organik (Diener et al., 2020).



Gambar 2.2 Larva BSF

(Sumber : peternakankita.com)

2.2.2 Proses Pengomposan Menggunakan BSF

Pengomposan dengan memanfaatkan larva BSF dimulai dengan pemberian limbah organik sebagai pakan. Larva BSF dapat mengurangi volume limbah organik sebanyak 50–60% dalam waktu yang relatif singkat (Koloni, 2023). Tingkat keberhasilan pengomposan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu, kadar air, dan jenis limbah yang digunakan. Suhu ideal untuk larva

BSF berkisar antara 27–30°C, sedangkan kadar air yang optimal berada di antara 60–90%. Jika kadar air terlalu tinggi, larva cenderung menjauh dari limbah yang diberikan. Sebaliknya, jika kadar air terlalu rendah, proses penguraian menjadi kurang efisien.

2.2.3 Komposter Larva BSF

Komposter berbasis larva BSF dirancang untuk meningkatkan efisiensi penguraian limbah organik. Komposter ini biasanya dilengkapi dengan wadah utama untuk menampung larva dan limbah organik serta dilengkapi dengan mekanisme kontrol lingkungan seperti pengaturan suhu, kelembapan, dan ventilasi udara. Dengan perkembangan teknologi, komposter BSF kini dapat diintegrasikan dengan *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi secara waktu nyata (real-time). Sistem ini menggunakan sensor untuk mengukur suhu, kelembapan, dan kadar oksigen, sehingga operator dapat memastikan kondisi lingkungan tetap ideal untuk mendukung aktivitas larva (Putra et al., 2022).

2.2.4 Mesin Pencacah dalam Proses Pengomposan

Mesin pencacah digunakan untuk memperkecil ukuran limbah organik agar lebih mudah dikonsumsi oleh larva BSF. Menurut penelitian Smith et al. (2021), penggunaan mesin pencacah mampu meningkatkan efisiensi pengomposan hingga 30%. Selain itu, penerapan teknologi IoT memungkinkan pemantauan kinerja mesin pencacah, termasuk pengendalian kecepatan motor dan kondisi mekanis, sehingga konsumsi energi dapat lebih hemat dan keselamatan kerja lebih terjamin (Johnson & Lee, 2020).

2.2.5 Integrasi IoT pada Komposter BSF

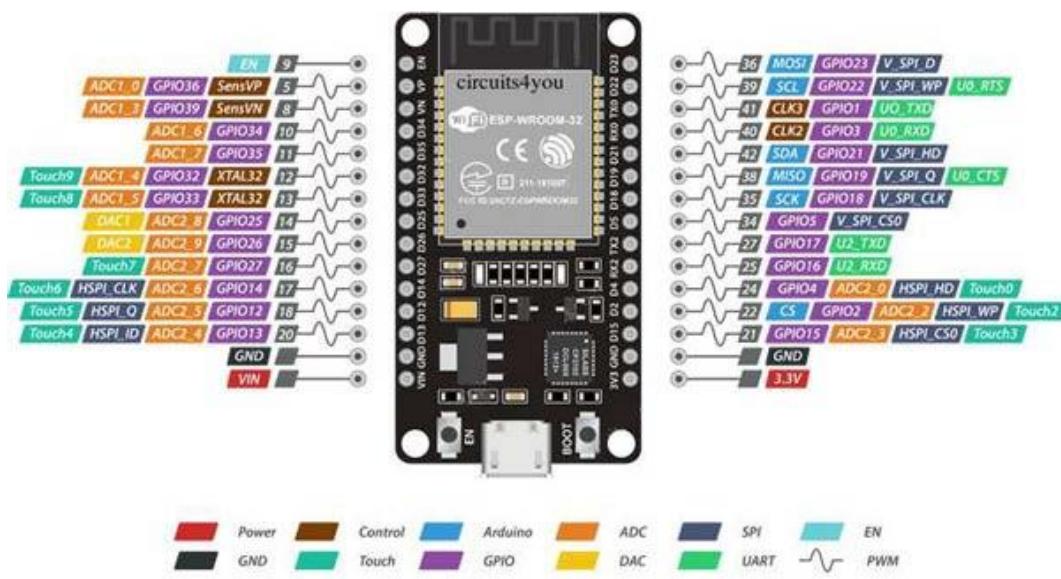
Teknologi *Internet of Things* (IoT) mendukung pemantauan dan pengendalian proses pengomposan secara jarak jauh. Dalam sistem ini, sensor digunakan untuk mengukur parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan kadar oksigen. Data yang diperoleh akan dikirimkan ke platform berbasis web atau aplikasi, memudahkan pengelolaan komposter. Selain itu, algoritma seperti Decision Tree dapat digunakan untuk menganalisis data secara otomatis dan mendeteksi anomali, misalnya lonjakan suhu atau kelembapan yang tidak normal (Zhang et al., 2021).

2.3 Kontroller yang Digunakan

Kontroler yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini mencakup ESP 32 dan laptop. Berikut adalah penjelasan mengenai kontroler yang dimanfaatkan dalam penelitian tersebut.

2.3.1 ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler serbaguna dan populer yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Mikrokontroler ini menawarkan berbagai fitur unggulan yang menjadikannya pilihan ideal untuk proyek *Internet of Things* (IoT) dan pengembangan perangkat bergerak. ESP32 dilengkapi dengan dua inti CPU Xtensa 32-bit, beragam antarmuka, termasuk Wi-Fi dan *Bluetooth*, serta modul radio terintegrasi (Achmad, 2023). Kemampuan komunikasi nirkabelnya membuat ESP32 sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan koneksi IoT. Selain itu, mikrokontroler ini mendukung berbagai bahasa pemrograman, seperti C dan Python, yang mempermudah pengembang dalam mplementasikan fungsi-fungsi kompleks. Dengan kinerja yang andal, fleksibilitas, serta kemampuan koneksi IoTnya, ESP32 menjadi pilihan utama bagi pengembang IoT maupun pegiat elektronika. Dalam penelitian ini, ESP32 berperan sebagai mikrokontroler yang digunakan untuk mengirimkan data ke web.



Gambar 2.3 ESP 32

(Sumber: ardutech.com)

2.4 Input yang Digunakan

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini mencakup limit switch, sensor MQ-131, dan sensor DHT22. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing sensor yang digunakan dalam penelitian ini.

2.4.1 Sensor DHT 22

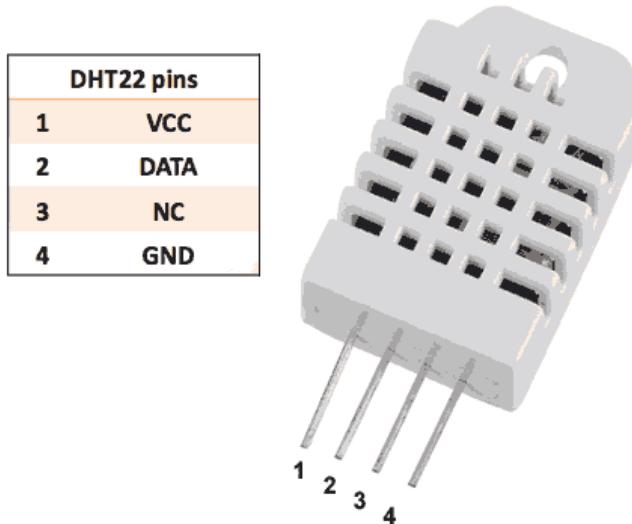
Sensor DHT-22 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan secara bersamaan. Sensor ini terdiri dari komponen thermistor dan beberapa lapisan elektroda yang disusun dalam satu rangkaian. Untuk mengukur kelembapan, DHT-22 menggunakan komponen substrat penahan kelembapan yang terhimpit oleh dua elektroda. Ketika substrat tersebut menyerap uap air, ion-ion akan terlepas, menyebabkan peningkatan konduktivitas pada elektroda yang mengarah pada perubahan resistansi. Perubahan resistansi inilah yang diterjemahkan oleh DHT-22 dalam bentuk sinyal digital yang dikirimkan ke mikrokontroler dan diproses menjadi data kelembapan .

Untuk pengukuran suhu, DHT-22 menggunakan thermistor yang sudah terintegrasi dalam modul. Thermistor sendiri adalah resistor variabel yang terbuat dari bahan keramik, di mana resistansinya dipengaruhi oleh perubahan suhu yang sangat kecil. Ketika suhu yang terdeteksi oleh thermistor naik, resistansinya akan berkurang, dan sebaliknya, jika suhu menurun, resistansi thermistor akan meningkat (D. Kurniawan & Witanti, 2021).

DHT-22 berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui bus tunggal menggunakan protokol satu. Sensor ini mengirimkan data dalam format biner, di mana data suhu dan kelembapan relatif masing-masing terdiri dari 16 bit, sementara data cek-sum terdiri dari 8 bit. Misalnya, saat sensor mendeteksi suhu 33,7°C, DHT-22 akan mengirimkan data biner 0000 0001 0101 0001, yang mewakili nilai 337 dalam sistem biner. Angka ini kemudian dibagi 10 untuk mendapatkan nilai suhu dalam format desimal, yakni 33,7°C. Proses serupa juga berlaku untuk pengukuran kelembapan (Hidayat et al., 2025).

DHT-22 memiliki spesifikasi teknis Pasokan daya: 3.3V – 6V DC Sinyal keluaran Single-bus ,Elemen penginderaan: Kapasitor kelembapan polimer & DS18B20

Rentang pengukuran Kelembapan 0–100% RH ,Suhu: -40°C hingga 125°C ,Akurasi Kelembapan: $\pm 2\%$,Suhu: $\pm 0.2^\circ\text{C}$,Periode penginderaan: ~2 detik dengan kemampuan ini, DHT-22 sangat cocok untuk aplikasi monitoring yang memerlukan data suhu dan kelembapan secara akurat dan berkala.



Gambar 2.4 Sensor DHT 22

(Sumber : electroschematics.com)

Sensor DHT22 bekerja dengan mengukur suhu dan kelembapan udara, lalu mengirimkan datanya secara digital melalui satu pin data ke ESP32. Sensor ini memiliki dua bagian utama, yaitu sensor suhu berbasis thermistor dan sensor kelembapan kapasitif, serta dilengkapi dengan ADC internal untuk mengubah sinyal analog menjadi digital. Untuk membaca data, mikrokontroler mengirimkan sinyal awal berupa tegangan rendah selama minimal 1 milidetik. Setelah itu, DHT22 merespons dengan sinyal balasan dan mulai mengirimkan data sebanyak 40 bit, yang terdiri dari 16 bit untuk kelembapan, 16 bit untuk suhu, dan 8 bit sebagai checksum. Data ini dikirim secara berurutan dan dikodekan dalam bentuk digital, yang kemudian diubah oleh mikrokontroler menjadi nilai suhu dan kelembapan aktual. Nilai suhu dan kelembapan dihitung dengan menjumlahkan dua byte data, lalu dibagi 10 untuk mendapatkan angka desimal. Checksum digunakan untuk memastikan data yang diterima tidak rusak; jika hasil perhitungan checksum sesuai, maka data dianggap valid. Proses ini berlangsung cepat dan efisien,

sehingga DHT22 cocok untuk aplikasi monitoring lingkungan berbasis mikrokontroler.

2.4.2 Sensor *Limit Switch*

Sensor *limit switch* merupakan jenis sakelar mekanis yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan atau posisi suatu objek. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan aktuator mekanis yang akan mengubah kondisi sakelar saat ada kontak fisik dengan objek. Limit switch biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi industri untuk mengontrol pergerakan mesin dan memberikan perlindungan tambahan dalam sistem yang memerlukan tingkat keamanan tinggi .

Dalam penelitian ini, limit switch digunakan sebagai bagian dari sistem keamanan (*safety*) pada intake mesin pencacah kompos BSF. Fungsi utamanya adalah untuk mendeteksi keberadaan benda atau material yang akan masuk ke mesin pencacah. Jika terjadi kondisi yang tidak sesuai, seperti benda asing yang dapat merusak mesin atau membahayakan operator, limit switch akan mengirimkan sinyal ke pengendali utama untuk menghentikan mesin atau memberikan peringatan. Hal ini memastikan bahwa proses pencacahan berjalan dengan aman dan efisien (Muharni et al., 2023).

Prinsip kerja limit switch dimulai ketika aktuator pada sensor tersentuh oleh objek atau material. Sentuhan ini mengaktifkan mekanisme internal yang mengubah kondisi sirkuit menjadi terbuka atau tertutup. Perubahan ini menghasilkan sinyal yang dikirimkan ke sistem kontrol untuk diproses lebih lanjut. Sensor ini sangat handal karena dapat bekerja dalam kondisi lingkungan yang keras, seperti suhu tinggi, kelembapan, atau keberadaan debu .

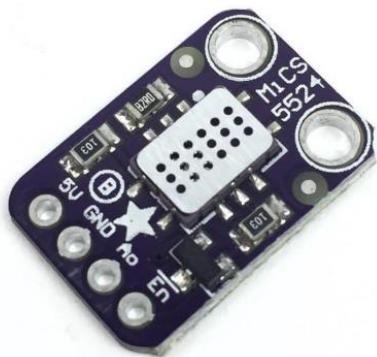
Penggunaan limit switch untuk pengamanan mesin tidak hanya meningkatkan keselamatan kerja, tetapi juga memperpanjang umur mesin karena dapat mencegah kerusakan yang disebabkan oleh material yang tidak sesuai. Dengan demikian, *limit switch* menjadi komponen penting dalam sistem pencacah kompos berbasis BSF.



Gambar 2.5 Sensor Limit Switch
(Sumber : www.atstekno.com)

2.4.3 Sensor MICS 5524

Sensor MiCS-5524 adalah alat pendekripsi gas berbasis teknologi MEMS yang digunakan untuk mengukur konsentrasi karbon monoksida (CO) dalam rentang 1 hingga 1000 ppm. Sensor ini memanfaatkan lapisan semikonduktor oksida logam, seperti SnO₂, yang mengalami perubahan hambatan listrik saat terpapar gas CO, menghasilkan sinyal analog yang dapat diolah oleh mikrokontroler, seperti Arduino. Dengan desain yang kecil dan hemat daya (25-35 mA), sensor ini cocok untuk memantau kualitas udara dalam ruangan, mendekripsi kebocoran gas, atau digunakan dalam penelitian sederhana. Namun, sensor ini memerlukan pemanasan awal selama 24 jam untuk menstabilkan kinerja dan dapat dipengaruhi oleh gas lain, seperti amonia atau etanol, sehingga memerlukan kalibrasi cermat untuk akurasi optimal (M. A. Kurniawan et al., 2020). Keunggulan MiCS-5524 terletak pada sensitivitasnya terhadap CO dan kemudahan integrasi dengan sistem berbasis IoT untuk pemantauan real-time, seperti pada sistem ventilasi otomatis atau peringatan kebocoran gas di ruangan tertutup. Meski demikian, sensor ini kurang ideal untuk aplikasi keselamatan kritis karena sensitivitasnya terhadap berbagai gas, sehingga lebih cocok untuk prototipe atau eksperimen pendidikan. Untuk hasil pengukuran yang lebih akurat, kalibrasi dengan gas standar sangat diperlukan, terutama dalam lingkungan dengan potensi interferensi gas lain (Refalista et al., 2023).



Gambar 2.6 Sensor MICS 5524 Gas CO

(Sumber cytron.io.com)

Sensor MICS-5524 adalah sensor gas jenis semikonduktor yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan berbagai jenis gas seperti karbon monoksida (CO), metana (CH₄), alkohol, serta gas-gas mudah terbakar lainnya di udara. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan resistansi pada material sensitif di dalamnya, umumnya berbahan dasar timah dioksida (SnO₂), yang terjadi saat sensor terpapar gas tertentu. Ketika gas terdeteksi, resistansi sensor akan mengalami perubahan—biasanya menurun—yang menyebabkan perubahan tegangan pada keluaran sensor. Tegangan ini kemudian dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32 melalui pin analog. MICS-5524 menggunakan konfigurasi jembatan resistif untuk mengubah perubahan resistansi menjadi sinyal tegangan yang dapat dibaca. Selanjutnya, tegangan analog ini dikonversi menjadi data digital melalui konverter analog-ke-digital (ADC) yang terdapat pada ESP32.

2.4.4 Sensor *Capacitive Soil Moisture*



Gambar 2.7 Sensor *Capacitive Soil Moisture*

(Sumber: thepihut.com)

Sensor Capacitive Soil Moisture adalah perangkat elektronik yang mengukur tingkat kelembapan media, seperti tanah atau bahan organik, berdasarkan perubahan kapasitansi akibat kandungan air di dalamnya (Matus et al., 2020). Sensor ini mengubah perubahan kapasitansi menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh mikrokontroler untuk pemantauan secara real-time. Keunggulan sensor kapasitif meliputi ketahanan terhadap korosi dan kestabilan hasil pengukuran dalam jangka waktu panjang, sehingga sangat cocok digunakan untuk mengukur kelembapan pada kompos *Black Soldier Fly* (BSF) yang membutuhkan kondisi lingkungan optimal untuk perkembangan larva. Implementasi sensor ini dalam sistem IoT pertanian pintar memungkinkan otomatisasi pengelolaan kelembapan kompos, sehingga menjaga kualitas dan efisiensi proses dekomposisi organik (Matus et al., 2020)

2.4.5 Sensor Opto Coupler Encoder



Gambar 2.8 Sensor Opto Coupler Encoder

(Sumber: einstronic.com)

Sensor opto-coupler encoder merupakan komponen yang sangat vital dalam sistem pengukuran kecepatan putaran (RPM). Alat ini berfungsi untuk mengubah gerakan mekanis menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem kontrol. Teknologi yang digunakan dalam sensor ini berbasis prinsip optik, di mana opto-coupler berperan sebagai pemisah rangkaian input dan output untuk mengurangi gangguan listrik yang bisa memengaruhi ketepatan sinyal. Sensor encoder ini bekerja dengan cara mendeteksi perubahan cahaya yang ada pada sebuah disk atau roda gigi yang berputar, memungkinkan sistem untuk menghitung kecepatan putaran dengan tingkat akurasi yang tinggi. Oleh karena itu, sensor ini banyak digunakan dalam pengaturan kecepatan motor serta aplikasi otomatisasi industri yang memerlukan pengukuran yang presisi (Setian et al., 2020)

2.5 Aktuator yang Digunakan

Kontroller yang digunakan oleh penulis dalam penelitian kali ini meliputi: Pilot Lamp, Relay, Motor AC 1 Phase, AC Dimmer. Lalu berikut ini adalah uraian terkait dari kontroller yang digunakan dalam penelitian.

2.5.1 Pilot Lamp

Lampu pilot, atau yang sering disebut pilot lamp, adalah lampu indikator kecil yang berfungsi untuk menunjukkan status operasional atau kondisi tertentu pada suatu perangkat elektronik atau sistem (Febriansyah, 2023). Lampu ini memberikan sinyal visual kepada pengguna atau operator tentang keadaan perangkat atau proses yang sedang berlangsung. Umumnya, lampu pilot memiliki warna berbeda untuk merepresentasikan kondisi tertentu, seperti warna hijau yang menunjukkan perangkat dalam keadaan aktif atau normal, warna merah untuk indikasi adanya masalah atau bahaya, dan warna kuning sebagai tanda kondisi siaga atau peringatan.

Lampu pilot sering digunakan pada panel kontrol berbagai perangkat, seperti peralatan rumah tangga, kendaraan, atau mesin industri. Keberadaan lampu ini memudahkan pengguna atau operator untuk dengan cepat mengenali status perangkat atau sistem yang sedang diawasi, sehingga mendukung efisiensi dalam pengawasan dan pemeliharaan. Bentuk fisik lampu pilot dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pilot Lamp

(Sumber : sinarmandirisejahtera.co.id)

2.5.2 AC Dimmer

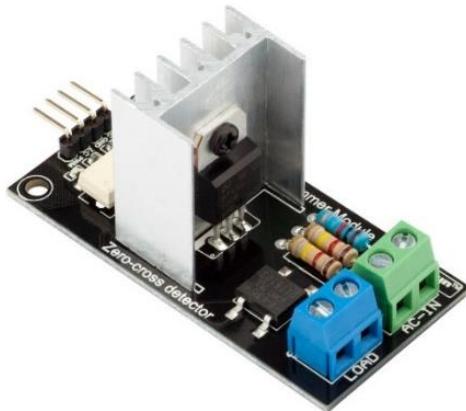
AC Dimmer adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur daya listrik yang dialirkan ke beban, seperti motor AC atau lampu. Dengan mengatur daya listrik, AC Dimmer dapat mengontrol intensitas pencahayaan lampu atau kecepatan putaran motor. Dalam penelitian ini, AC Dimmer digunakan sebagai aktuator untuk mengontrol kecepatan motor AC pada mesin pencacah reaktor kompos BSF, baik melalui pengendalian dari panel maupun website.

Cara kerja AC Dimmer didasarkan pada teknik pemotongan fasa (phase-cutting), di mana gelombang listrik AC diatur dengan memutus bagian tertentu dari gelombang sinusoidal. Hal ini memungkinkan dimmer untuk mengatur jumlah daya yang dialirkan ke beban tanpa mematikan arus sepenuhnya. Komponen utama dalam AC Dimmer adalah triac, yang bertugas sebagai saklar elektronik untuk mengontrol arus listrik dengan cepat dan akurat (Prasetyo, 2021).

Keunggulan AC Dimmer meliputi kemampuan untuk menghemat daya, meningkatkan efisiensi kontrol perangkat listrik, dan memberikan fleksibilitas dalam pengaturan kecepatan motor atau intensitas lampu. Selain itu, dimmer ini mendukung kendali jarak jauh yang diintegrasikan dengan sistem berbasis web, memungkinkan operator untuk memantau dan mengatur mesin pencacah dari lokasi yang berbeda (Alkhafidh & Ibrahim, 2024).

Namun, penggunaan AC Dimmer juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti potensi gangguan elektromagnetik (electromagnetic interference, EMI) yang dapat memengaruhi perangkat lain di sekitarnya. Meski demikian, dengan desain sirkuit yang baik dan penerapan filter, gangguan ini dapat diminimalkan (Putri, M., Syahruddin, M., Medan, 2023).

Penggunaan AC Dimmer pada mesin pencacah reaktor kompos BSF membantu mengoptimalkan proses pencacahan dengan menyesuaikan kecepatan motor sesuai kebutuhan, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses kompos. Bentuk fisik AC Dimmer dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 AC Dimmer

(Sumber : <https://www.sinauprogramming.com/>)

2.5.3 LCD 16x2

LCD 16x2 adalah jenis layar berbasis teknologi Liquid Crystal Display (LCD) yang memiliki kemampuan untuk menampilkan hingga dua baris teks dengan masing-masing baris terdiri dari 16 karakter. Komponen ini umum digunakan dalam berbagai aplikasi untuk menampilkan informasi secara real-time. Dalam penelitian ini, LCD 16x2 digunakan sebagai aktuator untuk menampilkan data suhu, kelembapan, dan kadar oksigen pada panel kontrol reaktor kompos BSF.

LCD 16x2 bekerja dengan memanfaatkan teknologi kristal cair yang diatur sedemikian rupa sehingga mampu merefleksikan cahaya untuk membentuk karakter yang terlihat pada layar. Tampilan layar ini beroperasi melalui komunikasi dengan mikrokontroler menggunakan antarmuka paralel atau serial. Antarmuka tersebut memungkinkan pengiriman perintah, data, dan informasi dari mikrokontroler untuk ditampilkan pada layar (Fitriansyah & Suryanto, 2021).

Keunggulan LCD 16x2 meliputi konsumsi daya yang rendah, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, dan kemampuan menampilkan informasi yang cukup untuk keperluan monitoring sederhana. Layar ini juga dilengkapi dengan fitur backlight yang memudahkan pembacaan informasi dalam kondisi pencahayaan yang minim.

Dalam aplikasi pada reaktor kompos BSF, LCD 16x2 memberikan kemudahan bagi operator untuk memantau parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan kadar oksigen secara langsung di panel. Hal ini sangat bermanfaat dalam mengontrol kondisi lingkungan reaktor sehingga proses dekomposisi dapat

berlangsung dengan optimal .Namun, LCD 16x2 juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti kapasitas tampilan yang terbatas dan ketergantungan pada mikrokontroler untuk operasi yang lebih kompleks. Meskipun demikian, layar ini tetap menjadi pilihan yang efektif untuk aplikasi monitoring. Bentuk fisik AC Dimmer dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 LCD 16X2
(Sumber : soldered.com)

2.5.5 Motor AC 1 Phase

Motor AC satu fase adalah jenis motor listrik yang menggunakan arus bolak-balik (AC) dengan satu fase sebagai sumber daya. Motor ini banyak digunakan dalam berbagai peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, atau kompresor kecil, karena kemudahan dalam pemasangan dan penggunaannya (Irfan Syah, 2021). Meskipun memiliki keunggulan tersebut, motor ini cenderung memiliki torsi awal yang lebih rendah dibandingkan motor AC tiga fase, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi dengan beban awal yang ringan.

Secara umum, motor AC terdiri atas dua komponen utama, yaitu stator yang bersifat diam dan rotor yang berputar. Salah satu ciri khas motor AC adalah keberadaan medan magnet yang berputar, yang dihasilkan oleh lilitan pada stator. Pada motor tiga fase, medan magnet berputar ini dihasilkan melalui tiga lilitan yang dipasang dengan sudut pergeseran 120 derajat satu sama lain, di mana setiap lilitan terhubung dengan satu fase dari sumber daya tiga fase. Medan magnet yang berputar ini dipengaruhi oleh jumlah kutub pada stator dan frekuensi dari sumber daya. Dengan kemampuan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, motor AC satu fase memiliki peran penting, terutama dalam aplikasi dengan beban

awal yang ringan. Spesifikasi dan tampilan motor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Tabel 2.1



Gambar 2.12 Motor AC 1 Phase

(Sumber : PT.Moswell Indonesia)

Tabel 2.1 Nameplate Spesifikasi Motor AC

Arus	0,68 AM
Voltase	220 V
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan	2800 RPM
Daya keluaran	125 W

2.5.6 Buck Converter



Gambar 2.13 Buck Converter

(Sumber : addicore.com)

Buck converter adalah jenis konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan atau mengurangi tegangan listrik arus searah (DC) dari tingkat yang lebih tinggi menjadi tingkat yang lebih rendah (Teknik Elektro et al., n.d.). Cara kerjanya didasarkan pada pengaturan siklus kerja transistor daya untuk mengontrol aliran energi dan menghasilkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan. Saat transistor berada dalam kondisi menyala (ON), energi disimpan dalam induktor. Ketika

transistor mati (OFF), energi tersebut dilepaskan ke beban dengan tegangan yang lebih rendah.

Proses ini memungkinkan buck converter menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dibandingkan dengan tegangan masukan, sementara efisiensinya dapat diatur melalui pengaturan siklus kerja transistor. Buck converter banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti perangkat portabel, pengatur tegangan, dan sistem manajemen daya, untuk meningkatkan efisiensi energi pada berbagai perangkat elektronik. Contoh dari buck converter dapat dilihat pada Gambar 2.12

2.5.7 Power Supply 12V

Power supply 12 volt adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyediakan tegangan listrik stabil sebesar 12 volt. Perangkat ini berperan sebagai sumber daya utama yang digunakan untuk menyuplai listrik ke berbagai perangkat elektronik dengan kebutuhan tegangan kerja 12 volt. Power supply ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem elektronik rumah tangga, perangkat otomotif, alat komunikasi, dan aplikasi lainnya yang memerlukan pasokan daya yang konsisten dan andal. Keberadaan power supply 12 volt sangat penting untuk menjaga kinerja perangkat elektronik tetap stabil dan optimal. Contoh power supply 12 volt yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Power supply 12 volt

(Sumber: orbit.co.id)

2.6 Software yang Digunakan

2.6.1 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) merupakan suatu protokol komunikasi ringan yang menggunakan pendekatan publish/subscribe, dirancang secara khusus untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya serta jaringan dengan kapasitas data yang rendah. MQTT berperan sebagai perantara pengiriman

pesan (broker) dan sangat umum digunakan dalam sistem komunikasi antardevais, terutama dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) maupun arsitektur microservices. Protokol ini memungkinkan pertukaran informasi secara tidak serempak (asinkron) antara klien dan broker dengan konsumsi daya serta penggunaan bandwidth yang sangat minim, sehingga menjadi solusi tepat bagi sistem terdistribusi yang memerlukan komunikasi real-time yang efisien. Selain itu, MQTT menyediakan sejumlah fitur penting seperti keandalan dalam penyampaian pesan, pengelolaan topik berbasis model publish/subscribe, serta dukungan terhadap tingkat layanan (*Quality of Service/QoS*) guna menjamin pesan diterima sesuai dengan tingkat keandalannya (Syamsudin et al., 2023).

Adapun fitur-fitur utama yang dimiliki oleh MQTT antara lain:

1. **Arsitektur Publish/Subscribe:** MQTT mengimplementasikan skema pengiriman pesan di mana pengirim (publisher) mengirimkan pesan ke suatu topik tertentu, dan penerima (subscriber) hanya akan memperoleh pesan dari topik yang telah ia langgani.
2. **Efisiensi dan Ringan:** MQTT dirancang untuk bekerja optimal pada kondisi jaringan dengan bandwidth terbatas dan latensi rendah, sehingga sangat sesuai untuk perangkat IoT yang beroperasi di jaringan tidak stabil.
3. ***Quality of Service (QoS)*:** Terdapat tiga tingkat jaminan pengiriman pesan (QoS 0, 1, dan 2) yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi untuk menjamin keberhasilan penyampaian pesan.
4. **Manajemen Koneksi yang Andal:** Protokol ini menyediakan fitur untuk mendeteksi putusnya koneksi serta mekanisme pemulihan otomatis, memastikan komunikasi tetap berjalan meskipun jaringan mengalami gangguan.
5. ***Retained Message dan Last Will Testament:*** MQTT mendukung penyimpanan pesan terakhir (retained message) pada suatu topik, serta pesan perpisahan (Last Will Testament) yang dikirimkan apabila koneksi klien terputus secara tidak terduga.

6. Kemampuan Skalabilitas dan Kompatibilitas: MQTT dapat dijalankan di berbagai sistem operasi dan bahasa pemrograman, memungkinkan fleksibilitas dan skalabilitas tinggi dalam pengembangan aplikasi.

Gambaran MQTT dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 MQTT

(Sumber : houseofcoder.medium.com)

2.6.2 Python

Python merupakan bahasa pemrograman yang kompatibel dengan berbagai sistem operasi seperti Windows, MacOS, dan Linux. Python dikenal sebagai bahasa yang bersifat interpretatif, mudah dipelajari, dan memungkinkan untuk menjalankan perintah secara simultan. Karakteristik bahasa ini yang dinamis dan sederhana membuatnya mudah dibaca dan dipahami oleh penggunanya. Sebagai bahasa interpreter, Python tidak memerlukan compiler untuk menjalankan program, sehingga proses eksekusinya lebih praktis. Python juga mampu menghasilkan visualisasi data yang detail. Ada banyak pilihan text editor yang dapat digunakan dalam pemrograman Python, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya, seperti PyCharm dan NetBeans (Nafi'Udin, 2021). Python menjadi bahasa dasar dalam pengembangan aplikasi Thonny yang berjalan di platform Raspberry Pi. Python digunakan untuk memproses data sensor, mengendalikan aktuator, melakukan pemrosesan jaringan saraf, serta untuk pengiriman data melalui MQTT, dan berbagai aplikasi lainnya. Dokumentasi gambar mengenai Python dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Pyhton

(Sumber: ntuclearninghub.com)

2.6.3 PHP

PHP adalah bahasa pemrograman skrip sisi server yang digunakan untuk mengembangkan situs web. PHP mendukung berbagai jenis server web, seperti Apache, IIS, Lighttpd, Nginx, dan Xitami. Selain itu, PHP memiliki dokumentasi yang sangat lengkap dan dianggap sebagai bahasa pemrograman skrip yang paling mudah digunakan. PHP merupakan bahasa sumber terbuka yang dapat dijalankan pada berbagai sistem operasi, termasuk Linux, Unix, MacOS, dan Windows (Sahi, 2020). PHP akan digunakan sebagai dasar pemrograman untuk pengembangan tampilan situs web dalam tugas akhir ini. Dokumentasi logo PHP dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 PHP

(Sumber : make.wordpress.org)

2.6.4 AJAX

AJAX merupakan gabungan dari beberapa teknologi yang bekerja bersama, yaitu JavaScript, CSS, DOM, dan XMLHttpRequest. Proses kerja AJAX berlangsung di belakang layar. Ketika aplikasi atau situs web berjalan, mesin AJAX akan memproses dan merender tampilan untuk klien serta berkomunikasi dengan server. Inilah yang membuat AJAX dapat berfungsi secara asinkron. Proses dalam AJAX sangat efektif untuk sistem yang memerlukan pemrosesan data cepat tanpa perlu melakukan pemuatan ulang berulang kali (Muhamad, 2021).

Pada model web klasik, ketika klien ingin memperoleh informasi dari basis data, metode yang digunakan adalah mengirimkan data menggunakan GET atau POST ke server. Setelah mengklik tombol seperti submit, klien harus menunggu respons dari server, dan data akan ditampilkan di situs web. Sementara itu, AJAX memungkinkan pengiriman data ke server tanpa harus memuat ulang halaman. AJAX bekerja dengan memanggil mesin AJAX dan melakukan komunikasi dengan server secara diam-diam di belakang layar. Metode ini seperti menambahkan lapisan pada situs web tanpa proses muat ulang. Sistem AJAX sangat cocok

digunakan untuk monitoring, karena pengguna tidak perlu memuat ulang halaman untuk melihat pembaruan data. Metode AJAX akan diterapkan untuk memantau ketinggian air pada situs web dalam tugas akhir ini. Dokumentasi terkait logo AJAX dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Logo AJAX

(Sumber : researchgate.net)

2.6.5 MySQL Database

MySQL adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menyimpan data yang diterima. MySQL termasuk dalam kategori sistem manajemen basis data SQL (DBMS). Sebagai turunan dari konsep SQL yang telah ada sejak lama, MySQL mendukung integrasi dengan berbagai bahasa pemrograman lainnya. MySQL memiliki keunggulan karena tidak memerlukan banyak ruang memori RAM dan sifatnya yang terbuka (open source). Keamanan dalam MySQL dijamin melalui pengaturan nama host dan subnet mask. MySQL Database digunakan dalam tugas akhir ini sebagai basis data untuk menyimpan data sensor dan data pengendalian sistem. Dokumentasi terkait MySQL Database dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 MySQL Database

(Sumber : www.mysql.com)

2.6.6 XAMPP

XAMPP adalah sebuah paket perangkat lunak web yang lengkap dan dapat digunakan sebagai server mandiri. Paket ini terdiri dari Apache HTTP Server, MySQL database, serta alat untuk menerjemahkan bahasa pemrograman PHP (Anggraini et al., 2020). Dalam tugas akhir ini, XAMPP digunakan sebagai server lokal (localhost) yang berdiri sendiri. Dokumentasi mengenai logo XAMPP dapat dilihat pada Gambar 2.20.

Struktur utama XAMPP meliputi:

1. Htdocs, yang berfungsi sebagai folder untuk menyimpan file-file yang akan dijalankan, seperti PHP, HTML, dan skrip lainnya.
2. PhpMyAdmin, yang digunakan untuk mengelola basis data MySQL pada komputer.
3. Control Panel, yang memiliki fungsi untuk mengelola layanan (service) XAMPP, memungkinkan pengguna untuk memulai atau menghentikan layanan tertentu.



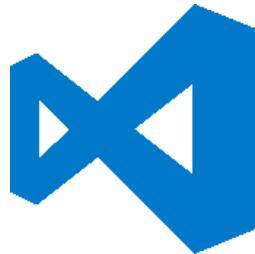
Gambar 2.20 XAMPP

(sumber: apachefriends.org)

2.6.7 Visual Studio Code (VS Code)

Visual Studio Code (VS Code) adalah perangkat lunak editor teks yang mendukung berbagai bahasa pemrograman. VS Code memanfaatkan ekstensi untuk menambah pustaka untuk berbagai bahasa pemrograman. Beberapa bahasa pemrograman bawaan yang didukungnya antara lain JavaScript, TypeScript, dan Node.js. Fitur yang ditawarkan oleh Visual Studio Code meliputi debugging untuk memeriksa kesalahan dalam sistem, serta fitur-fitur lain seperti Intellisense, integrasi Git, dan debugging yang terus berkembang. VS Code juga mendukung bahasa pemrograman populer seperti Python, C/C++, Java, dan lainnya. Sebagai aplikasi open-source, kode sumbernya dapat terus dikembangkan (Firmansyah,

2019). Dalam tugas akhir ini, Visual Studio Code digunakan untuk mengembangkan pemrograman web. Dokumentasi mengenai logo Visual Studio Code dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Visual Studio Code (VS Code)

(Sumber: visualstudio.com)

2.6.8 HiveMQ

HiveMQ merupakan broker yang dimanfaatkan dalam sistem komunikasi berbasis MQTT. Broker ini kompatibel dengan protokol MQTT versi 5.0, 3.1.1, dan 3.1, serta dirancang untuk mendukung aplikasi IoT dengan skalabilitas tinggi dan keandalan optimal. HiveMQ mendukung berbagai perangkat dan menyediakan alat pengembangan untuk memudahkan integrasi klien MQTT. Dalam penelitian ini, HiveMQ bertindak sebagai perantara yang menghubungkan publisher dan subscriber dalam komunikasi data. Informasi lebih lanjut mengenai logo HiveMQ tersedia pada Gambar 2.22.



HIVEMQ

Gambar 2.22 HiveMQ

(Sumber : influxdata.com)

2.6.9 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah lingkungan pengembangan yang digunakan untuk membuat, mengedit, dan mengunggah kode ke papan mikrokontroler Arduino (Fauziah et al., 2024). IDE ini memiliki antarmuka yang mudah digunakan, yang mempermudah pengembang, pemula, dan hobiis dalam mengembangkan proyek elektronik. Arduino IDE mendukung

berbagai jenis papan Arduino, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan kode dan mengintegrasikan berbagai komponen elektronik dengan mudah. Dengan dukungan untuk bahasa pemrograman C/C++, IDE ini menyederhanakan proses pembuatan program untuk papan Arduino, menjadikannya cocok untuk berbagai tingkat keahlian dalam pengembangan perangkat keras. Para pengembang biasanya menggunakan perangkat lunak ini untuk memprogram papan seperti Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Genio, Mappi32, Node MCU, dan lainnya. Perangkat lunak ini dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman Java dan dilengkapi pustaka C/C++ (wiring) untuk mempermudah operasi input dan output. Dokumentasi mengenai Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Arduino IDE

(Sumber : docs.arduino.cc)

2.7 Metode yang Digunakan

2.7.1 Metode Decision Tree

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Decision Tree (pohon keputusan), yang merupakan salah satu teknik dalam machine learning dan data mining. Decision Tree berfungsi untuk memodelkan keputusan dan hasil yang mungkin terjadi berdasarkan serangkaian kondisi yang telah ditentukan. Metode ini sangat efektif dalam pengambilan keputusan yang kompleks, karena dapat menyajikan informasi dalam bentuk yang mudah dipahami dan diinterpretasikan.

Decision Tree bekerja dengan cara membagi data ke dalam subset yang lebih kecil berdasarkan nilai atribut tertentu. Proses ini berlanjut hingga semua data terklasifikasi dengan baik atau hingga kriteria penghentian tertentu tercapai. Setiap cabang dari pohon mewakili keputusan yang diambil berdasarkan atribut, sedangkan setiap daun mewakili hasil akhir atau klasifikasi dari data tersebut (ABU-DALBOUH, 2021).

Dalam konteks monitoring reaktor kompos *Black Soldier Fly* (BSF), Decision Tree digunakan untuk menganalisis dan memprediksi kondisi optimal dari proses pengomposan. Dengan menggunakan data yang diperoleh dari pengamatan variabel-variabel seperti suhu, kelembapan, dan pH, *Decision Tree* dapat membantu dalam menentukan langkah-langkah yang perlu diambil untuk meningkatkan efisiensi proses pengomposan. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antara variabel yang berpengaruh terhadap hasil akhir kompos (Priyambada et al., 2021).

Keunggulan dari metode Decision Tree adalah kemampuannya untuk menangani data yang tidak terstruktur dan memberikan hasil yang transparan. Selain itu, Decision Tree juga dapat dengan mudah diinterpretasikan oleh pengguna yang tidak memiliki latar belakang teknis yang mendalam (Mitschek & Esquivel, 2023). Hal ini menjadikannya pilihan yang tepat untuk aplikasi dalam monitoring reaktor kompos BSF, di mana pemahaman yang jelas tentang proses dan hasil sangat penting.

1. Proses Implementasi *Decision Tree*

- A. Proses implementasi Decision Tree dalam penelitian ini meliputi beberapa langkah, yaitu:
- B. Pengumpulan Data: Data yang diperlukan dikumpulkan dari pengamatan langsung terhadap reaktor kompos BSF, termasuk variabel-variabel yang relevan seperti suhu, kelembapan, dan pH.
- C. Preprocessing Data: Data yang telah dikumpulkan kemudian diproses untuk menghilangkan noise dan mengatasi data yang hilang. Proses ini penting untuk memastikan kualitas data yang akan digunakan dalam model.
- D. Pembangunan Model: Menggunakan algoritma Decision Tree, model dibangun berdasarkan data yang telah diproses. Algoritma yang umum digunakan antara lain C4.5 dan CART (Classification and Regression Trees).
- E. Evaluasi Model: Model yang dihasilkan dievaluasi menggunakan teknik validasi silang untuk memastikan akurasi dan keandalannya.

Hasil evaluasi ini akan memberikan gambaran tentang seberapa baik model dapat memprediksi kondisi reaktor kompos.

- F. Implementasi dan Monitoring: Setelah model dievaluasi dan dianggap memadai, model tersebut diimplementasikan untuk monitoring kondisi reaktor kompos BSF secara real-time. Hasil dari monitoring ini akan digunakan untuk mengambil keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan proses pengomposan.
- G. Dengan menggunakan metode Decision Tree, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pengomposan menggunakan BSF.

Rumus dalam Proses Decision Tree:

Dalam pohon keputusan, kita menggunakan rumus untuk menghitung Information Gain dari setiap fitur (suhu, kelembapan, dan kadar oksigen) untuk menentukan pemisahan data yang optimal. Rumus ini digunakan untuk memilih fitur yang paling informatif pada setiap langkah dalam pohon keputusan.

1. Entropy (H)

Entropy digunakan untuk mengukur ketidakpastian atau ketidakteraturan dalam data. Entropy dihitung dengan rumus:

$$H(Y) = \sum_{i=1}^k p(y_i) \log_2 p(y_i) \quad 2.1$$

Dimana :

- $p(y_i)$ adalah probabilitas kelas y_i .
- $H(Y)$ adalah entropy dari dataset.

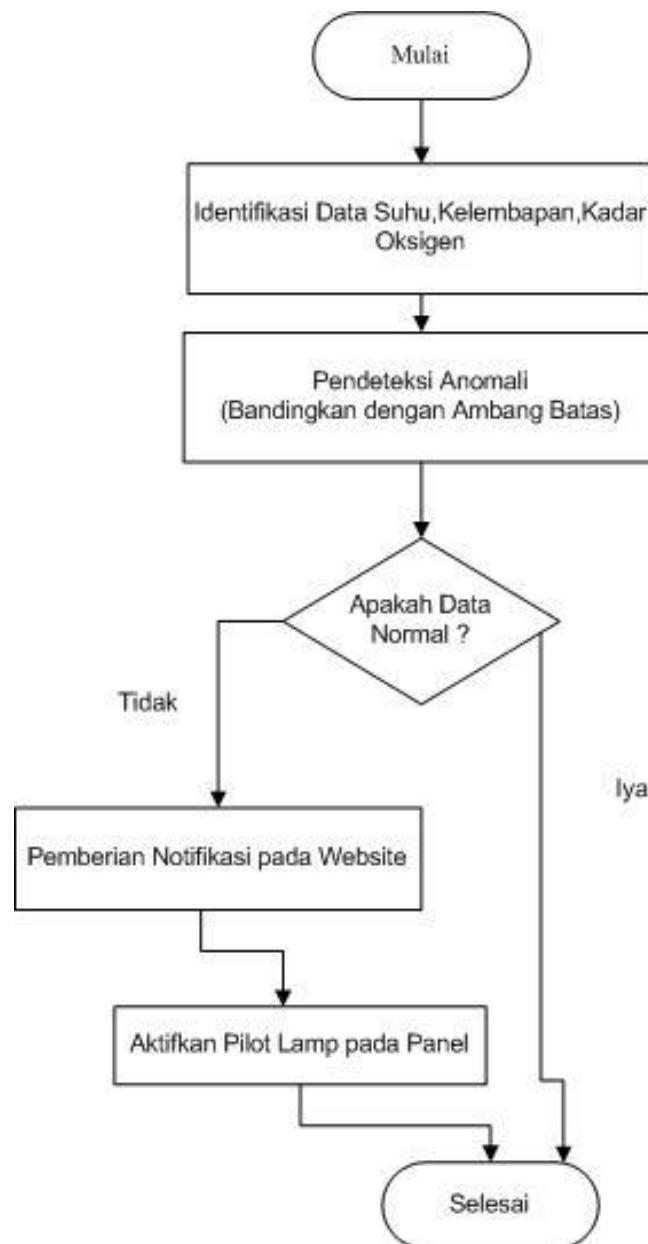
2. Information Gain (IG)

Information Gain digunakan untuk memilih atribut terbaik dalam pohon keputusan. Rumusnya adalah:

$$\begin{aligned} IG(Y, X) &= H(Y) \\ &- \sum_{v \in X} \frac{|X_v|}{|X|} H(Y|X_v) \end{aligned} \quad 2.2$$

Dimana:

- $IG(Y, X)$ adalah Information Gain antara target Y dan atribut X
- Xv . Adalah data untuk nilai v pada atribut X



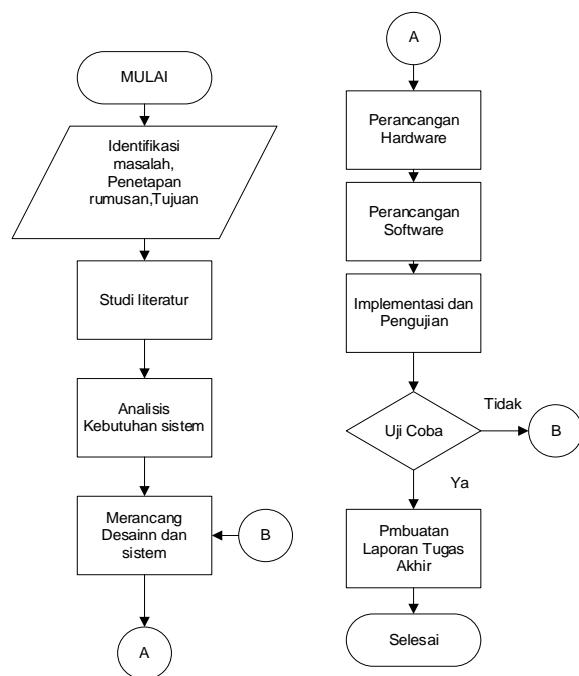
Gambar 2.24 Flowchart *Decision Tree*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab 3 ini berisi tentang alur penelitian dari tugas akhir. Untuk pembahasannya yaitu tentang identifikasi masalah, studi literatur, analisa kebutuhan sistem, perancangan Sistem *Hardware* dan *Software*, implementasi dan pengujian alat serta analisa dan pembahasan. Secara sistematis langkah-langkah dalam penelitian disajikan dalam bentuk diagram alur seperti pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal merupakan langkah pertama dalam pelaksanaan penelitian untuk mengenali permasalahan yang ada serta tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini. Tahap ini melibatkan beberapa langkah berikut:

3.1.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi masalah terkait proses pengiriman data menggunakan MQTT, agar data yang diterima akurat dan dapat dipantau secara real-time melalui sebuah website.

3.1.2 Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan, rumusan masalah dapat dirumuskan untuk menentukan tujuan penelitian. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah sistem berbasis website untuk memantau reactor kompos BSF dan mengontrol kecepatan motor pencacah dengan pengoptimalan kecepatan, akurasi, dan efisiensi pengiriman data menggunakan protokol MQTT.

3.2 Studi Literatur

Tahap berikutnya adalah studi literatur, yaitu mencari dan mempelajari berbagai informasi yang relevan untuk menyelesaikan masalah yang diangkat dalam penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal, artikel, dan makalah yang berhubungan dengan topik penelitian. Dalam tahap ini, penulis mengumpulkan informasi sebanyak mungkin mengenai ESP 32, Python, XAMPP, MQTT, dan platform lain yang mendukung implementasi sistem. Referensi diperoleh melalui sumber internet, jurnal penelitian, artikel, serta dokumen terkait lainnya.

3.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap kebutuhan sistem yang akan dirancang. Analisis kebutuhan mencakup identifikasi alat dan teknologi yang diperlukan untuk membangun sistem. Proses ini melibatkan pencatatan detail kebutuhan agar alat Tugas Akhir dapat dirancang dan dibuat sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan penelitian ini dirangkum dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Analisa Kebutuhan Sistem

No	Hardware	Software
1	ESP 32	Visual Studio Code
2	Motor AC 1 Phase	XAMPP
3	Pilot Lamp	HiveMQ
4	Ac Dimmer	Python
5	Buck Converter	Arduino ide
6	Limit Switch	
7	Sensor DHT22	
8	Sensor mics 5524	
9	Power Supply 12 V	
10	Lcd 16x2	
11	Opto Coupler Encoder	

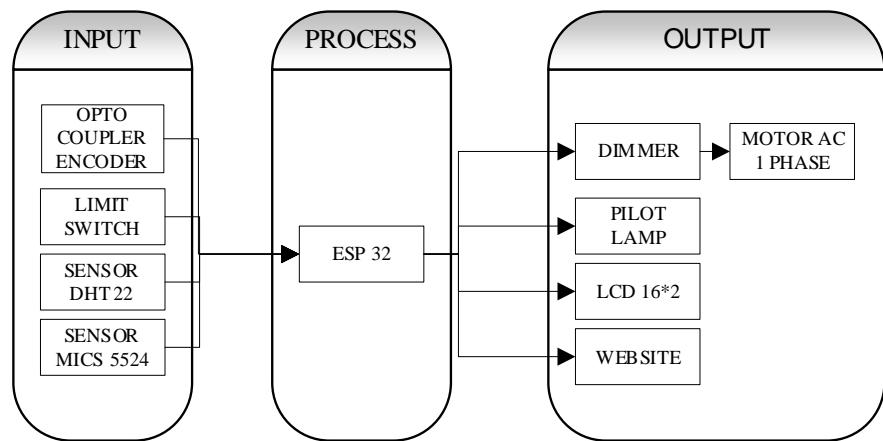
3.4 Perancangan Sistem

Setelah memahami kebutuhan sistem, dasar ilmu, serta teknologi yang akan digunakan, langkah berikutnya adalah merancang dan mendesain sistem yang akan dikembangkan. Proses perancangan ini mencakup penjelasan mengenai sistem yang akan dibangun, dimulai dari diagram blok sistem hingga alur kerja yang menjelaskan tahapan kerja keseluruhan sistem, mulai dari pendekripsi hingga pengiriman data ke website.

Selain itu, rancangan tampilan website pada browser juga akan dijelaskan bagian ini. Perancangan mencakup aspek hardware, elektronik, dan mekanik, yang akan dijabarkan secara mendalam untuk memberikan gambaran lengkap mengenai sistem yang dikembangkan. Berikut adalah elemen-elemen yang termasuk dalam perancangan sistem ini:

3.4.1 Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 3.2, akan menjelaskan tentang gambaran umum sistem yang akan dibuat.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Pada sistem yang dirancang, alur kerja terdiri atas tiga komponen utama, yaitu Input, Proses, dan Output. Pada tahap Input, data dikumpulkan dari berbagai perangkat, seperti limit switch, sensor DHT22, dan sensor MICS 5524. Limit switch berfungsi mendekripsi kondisi mekanis tertentu yang relevan dengan pengoperasian sistem. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan secara presisi, sementara sensor MICS 5524 mendekripsi kadar CO ppm di udara sebagai bagian dari parameter lingkungan yang dipantau. Data yang

diperoleh dari perangkat input ini kemudian dikirimkan ke tahap pemrosesan untuk dianalisis lebih lanjut.

Pada tahap Proses, data dari perangkat input diolah menggunakan ESP32, yang berperan sebagai mikrokontroler utama dalam sistem ini. ESP32 memproses data input dan mengirimkannya ke host lokal melalui jaringan internet. Host lokal berfungsi sebagai pusat penyimpanan dan pemantauan data. Proses pengiriman data dilakukan secara waktu nyata, sehingga informasi dari sistem dapat diakses kapan saja melalui situs web. Tahap pemrosesan ini memungkinkan sistem mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi.

Hasil analisis data dari tahap pemrosesan digunakan untuk mengontrol perangkat pada tahap *Output*, yang meliputi dimmer, pilot lamp, dan LCD 16x2. Dimmer berfungsi mengatur arus listrik pada motor AC satu fasa agar dapat beroperasi sesuai kebutuhan. Pilot lamp digunakan sebagai indikator visual yang memberikan informasi mengenai status sistem kepada operator. Sementara itu, LCD 16x2 menampilkan data, seperti suhu, kelembapan, dan kadar ozon, secara langsung sehingga operator dapat memantau parameter sistem secara lokal.

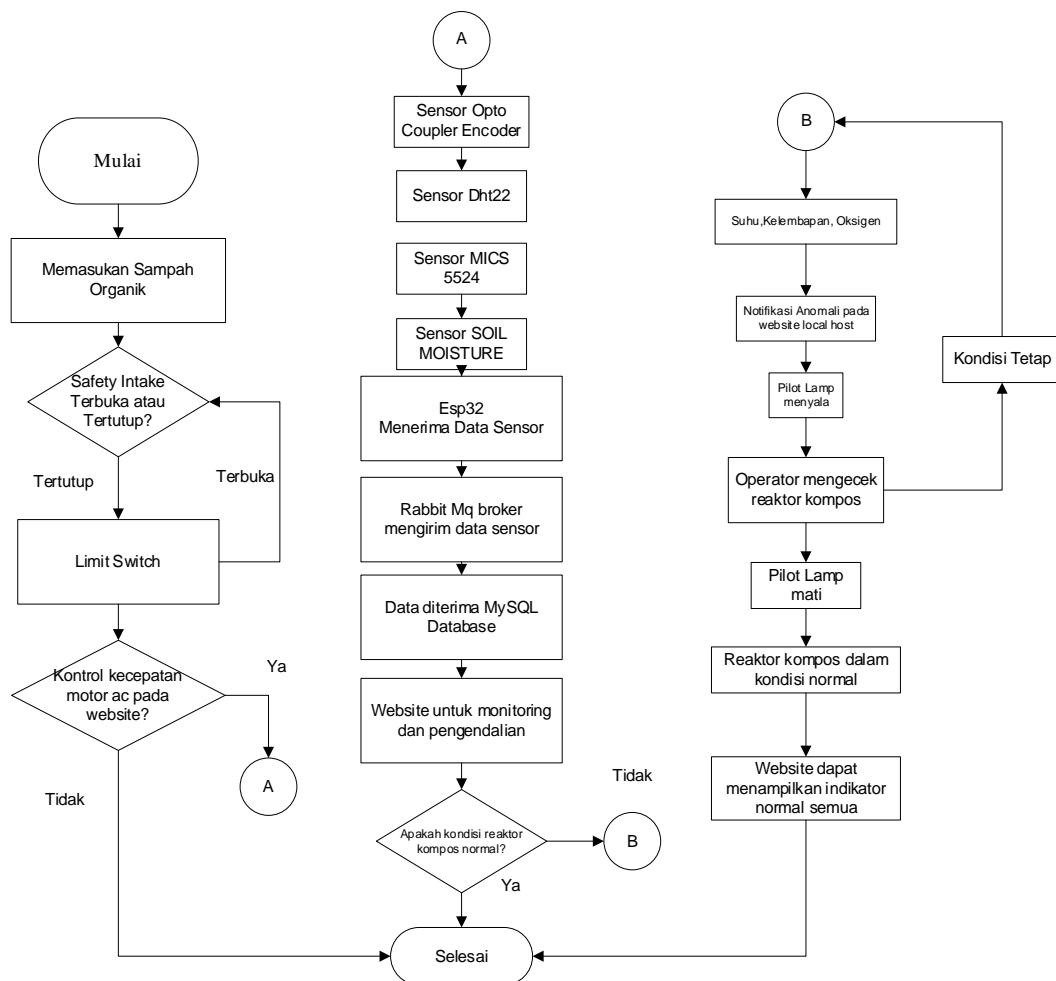
Secara keseluruhan, sistem ini dirancang untuk memastikan pengumpulan data dari sensor dilakukan secara akurat, pemrosesan berjalan efektif, dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk yang mudah dipahami. Dengan dukungan jaringan internet, data dapat diakses dan dipantau secara waktu nyata melalui situs web, yang meningkatkan efisiensi dan memudahkan pengoperasian sistem.

3.4.2 *Flowchart* Sistem

Pada Gambar 3.3 , awal mula sistem dimulai dengan proses memasukkan sampah organik ke dalam reaktor kompos. Langkah awal adalah memeriksa status safety intake, apakah dalam keadaan terbuka atau tertutup. Jika safety intake tertutup, limit switch akan mendeteksi kondisi ini dan mengatur kecepatan motor AC sesuai kebutuhan. Selanjutnya, data dari limit switch akan diproses lebih lanjut. Pada tahap berikutnya, sensor DHT22 dan sensor MQ-131 mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kadar oksigen di dalam reaktor kompos. Data dari sensor-sensor ini dikirimkan ke modul ESP32, yang bertugas menerima data tersebut untuk diproses lebih lanjut. Setelah itu, ESP32 mengirimkan data ke

MQTT broker melalui jaringan. MQTT broker berfungsi sebagai penghubung untuk meneruskan data sensor ke MySQL Database.

Data yang tersimpan di MySQL Database digunakan sebagai basis data untuk sistem monitoring dan pengendalian melalui website. Operator dapat memantau dan mengendalikan kondisi reaktor kompos melalui tampilan website. Jika parameter seperti suhu, kelembapan, atau kadar oksigen berada di luar batas normal, sistem akan memberikan notifikasi anomali pada website lokal host, dan pilot lamp akan menyala sebagai indikator peringatan.



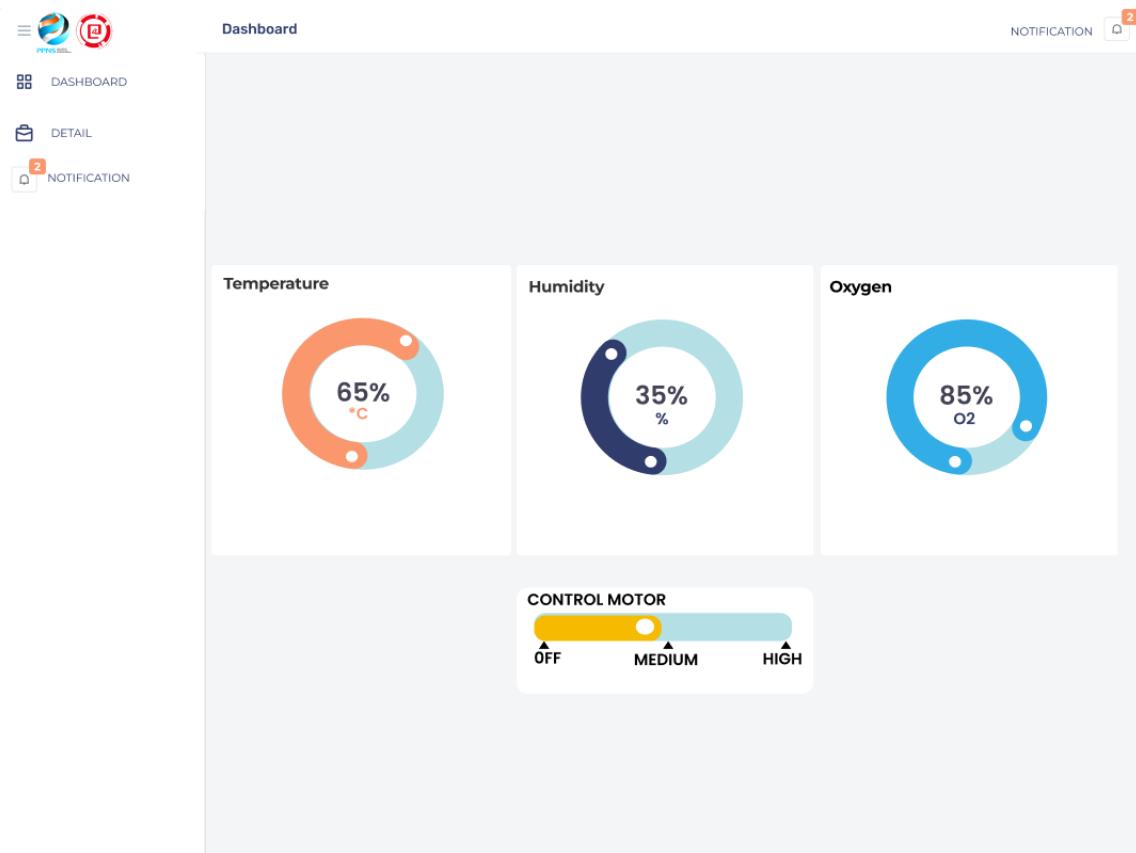
Gambar 3.3. Flowchart sistem.

3.5 Perancangan Software

Dalam perancangan *software*, aplikasi akan menampilkan Rancangan Tampilan *Website* pada browser, Use Case Diagram dan Protokol Arsitektur *Website*.

3.5.1 Rancangan Tampilan Website pada browser

Rancangan Tampilan *Website* pada browser menampilkan 3 buah parameter dari beberapa sensor, yaitu parameter Suhu ,Kelembapan, dan kadar oksigen , Kemudian juga menampilkan *sliders* untuk melakukan *control* kecepatan pada mata pisau pencacah yang menggunakan Motor AC 1 Phase. Rancangan tampilan website disajikan pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Rancangan Tampilan *Website* pada browser

3.5.2 Use Case Diagram

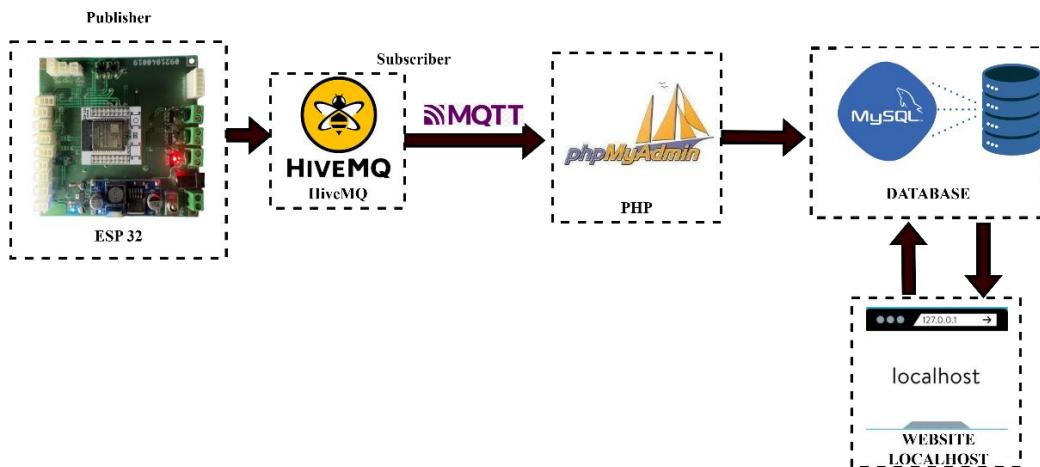
Use Case Diagram yang menjelaskan alur kerja sistem pada website. Use Case ini menggambarkan rangkaian langkah-langkah yang saling terkait untuk memberikan pemahaman tentang fungsi sistem. Dalam sistem ini, terdapat dua jenis level pengguna, yaitu user biasa dan admin.

User biasa memiliki akses untuk melakukan monitoring dan pengendalian. Mereka dapat memantau data seperti 3 buah parameter dari beberapa sensor, yaitu parameter Suhu ,Kelembapan, dan kadar oksigen yang sedang terhubung dengan website. Selain itu, user biasa juga diberikan akses untuk melakukan pengendalian terhadap sistem sesuai dengan batasan yang telah ditentukan.

Sementara admin memiliki peran yang lebih luas. Admin dapat melakukan monitoring dan pengendalian pada website. Admin juga memiliki kemampuan untuk menambah, menghapus, dan memperbarui informasi atau data yang ada pada

3.5.3 Arsitektur Protokol Website

Menunjukkan mengenai arsitektur protokol *website*. Arsitektur Protokol *Website* berisi gambaran mengenai proses pengiriman data pada *website*. Mqtt berisi publisher dan subscriber. ESP32 bertindak sebagai publisher ketika menerima data sensor dan mengirimkannya pada MQTT *Broker*. ESP32 bertindak sebagai Subscriber ketika menunggu *website* mengirimkan data kendali pintu air dan dikirimkan untuk mengendalikan aktuator. *Website* juga akan bertindak sebagai publisher ketika mengirim perintah untuk pengendalian aktuator melalui ESP32. Lalu akan menjadi Subscriber apabila menampilkan monitoring dari sensor dht22,soil moisture dan sensor mics 5524.



Gambar 3.5 Arsitektur Protokol *Website*

3.5.4 Proses Metode *Decision Tree*

Metode *Decision Tree* digunakan untuk memproses data yang diperoleh dari sensor. Tahapan awal proses ini dimulai dengan pengumpulan data sensor, yang kemudian diperiksa untuk memastikan kelengkapan dan validitasnya. Setelah data lengkap, sistem melakukan klasifikasi berdasarkan parameter utama yang dipantau, yaitu suhu, kelembapan kompos , dan kadar co ppm. Setiap parameter dibandingkan dengan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan.

Proses dimulai dengan membandingkan data suhu terhadap nilai ambang batas. Jika suhu berada di atas batas minimum, sistem akan melanjutkan

pemeriksaan kelembapan. Apabila kelembapan memenuhi kriteria yang ditetapkan, sistem akan memeriksa kadar co. Jika semua parameter berada dalam rentang ambang batas yang ditentukan, kondisi sistem dinyatakan normal. Dalam keadaan ini, tidak diperlukan tindakan lebih lanjut selain pemantauan secara real-time.

Tahapan dalam proses pengambilan keputusan menggunakan Decision Tree meliputi langkah-langkah berikut:

1. Penerimaan Data

Sistem menerima data yang dikirimkan oleh sensor suhu, kelembapan, dan kadar oksigen.

2. Pemeriksaan Data

Data yang diterima dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya.

3. Pengambilan Keputusan

Jika semua parameter memenuhi ambang batas, kondisi sistem dinyatakan normal.

Jika salah satu parameter tidak memenuhi ambang batas, sistem mendekripsi adanya anomali.

4. Tindakan Sistem

Untuk kondisi normal, sistem hanya melanjutkan pemantauan secara real-time tanpa intervensi lebih lanjut. Untuk kondisi anomali, sistem memberikan notifikasi pada situs web dan menyalakan lampu indikator pada panel sebagai peringatan visual.

Proses pengambilan keputusan ini biasanya divisualisasikan dalam bentuk diagram alur (flowchart) untuk mempermudah pemahaman. Diagram tersebut menjelaskan langkah-langkah kerja secara berurutan, mulai dari penerimaan data hingga pengambilan keputusan dan tindakan yang dilakukan. Dengan pendekatan ini, setiap data yang diterima dari sensor diproses secara sistematis dan akurat. Jika terjadi kesalahan atau kondisi anomali yang tidak sesuai dengan kriteria, sistem akan segera merespons dengan mengirimkan notifikasi serta memberikan peringatan melalui lampu indikator. Proses ini terus berulang hingga sistem mampu mendekripsi dan mengambil keputusan dengan cepat dan tepat.

Berikut ini adalah contoh data dummy yang digunakan untuk menghitung Information Gain dalam pembuatan *Decision Tree*, dengan mengandalkan tiga parameter sensor: Suhu, Kelembapan, dan Kadar Oksigen. Data ini juga menunjukkan klasifikasi kondisi sistem, apakah normal atau anomali, berdasarkan ambang batas yang ditetapkan. Data Dummy disajikan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Data Dummy

No	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Kadar Oksigen (%)	Kondisi
1	25	60	21	Normal
2	30	50	21	Anomali
3	18	80	21	Normal
4	15	50	18	Anomali
5	22	55	19	Anomali

Dalam tabel ini:

- Suhu diukur dalam derajat Celsius (°C).
- Kelembapan diukur dalam persen (%).
- Kadar Oksigen diukur dalam persen (%).
- Kondisi menunjukkan apakah sistem dalam keadaan Normal atau Anomali.

Langkah-langkah Penghitungan

Formula Entropy :

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

- ρ_i : probabilitas setiap kondisi (Normal atau Anomali)
- asumsikan data memiliki:
 - Total data: 5 (berdasarkan tabel data *dummy*).
 - Normal: 2 (Data No. 1, dan 3).
 - Anomali: 3 (Data No. 2 ,4 dan 5).

$$E(S) = - \left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} \right) + \frac{3}{5} \log_2 \left(\frac{3}{5} \right)$$

3.1

$$E(S) = -\left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5}\right) + \frac{3}{5} \log_2 \left(\frac{3}{5}\right) \quad 3.2$$

$$E(S) = -(0.4 \cdot \log_2(0.4) + 0.6 \cdot \log_2(0.6)) \quad 3.3$$

$$E(S) = -(0.4 \cdot (-1.322) + 0.6 \cdot (-0.737)) \quad 3.4$$

$$E(S) = 0.529 + 0.442 = 0.971 \quad 3.5$$

Entropy awal sistem adalah: $E(S) = 0.971$

Langkah Hitung Gain untuk Setiap Parameter

(a) Parameter Suhu

- Suhu ≥ 18 (Normal): 4 data (3 Normal, 1 Anomali).
- Suhu < 18 (Anomali): 1 data (0 Normal, 1 Anomali).

Entropy subset:

1. Untuk Suhu ≥ 18 :

$$E(S | Suhu \geq 18) = -\left(\frac{3}{4} \log_2 \frac{3}{4}\right) + \frac{1}{4} \log_2 \left(\frac{1}{4}\right) \quad 3.6$$

$$E(S | Suhu \geq 18) = -(0.75 \cdot (-0.415) + 0.25 \cdot (-2)) \quad 3.7$$

$$E(S | Suhu \geq 18) = 0.311 + 0.5 = 0.811 \quad 3.8$$

2. Untuk Suhu < 18 :

$$E(S | Suhu < 18) = -(0 \cdot \log_2(0) + 1 \cdot \log_2(1)) = 0 \quad 3.9$$

Rata-rata Entropy Suhu:

$$E(Suhu) = \frac{4}{5} \cdot 0.811 + \frac{1}{5} \cdot 0 = 0.649 \quad 3.10$$

Information Gain (IG) Suhu:

$$IG(Suhu) = E(S) - E(Suhu) = 0.971 - 0.649 = 0.322$$

(b) Parameter Kelembapan

- Kelembapan ≥ 55 (Normal): 3 data (3 Normal, 0 Anomali).
- Kelembapan < 55 (Anomali): 2 data (0 Normal, 2 Anomali).

Entropy subset:

1. Untuk Kelembapan ≥ 55 :

$$E(S | \text{Kelembapan} \geq 55) = -(1 \cdot \log_2(1) + 0 \cdot (0)) = 0$$

2. Untuk Kelembapan < 55 :

$$E(S | \text{Kelembapan} < 55) = -(0 \cdot \log_2(0) + 1 \cdot \log_2(1)) = 0$$

Rata-rata Entropy Kelembapan:

$$(\text{Kelembapan}) = \frac{3}{5} \cdot 0 + \frac{2}{5} \cdot 0 = 0$$

Information Gain (IG) Kelembapan:

$$IG(\text{Kelembapan}) = E(S) - E(\text{Kelembapan}) = 0.971 - 0 = 0.971$$

(c) Parameter Kadar Oksigen

- Kadar Oksigen ≥ 19 (Normal): 4 data (3 Normal, 1 Anomali).
- Kadar Oksigen < 19 (Anomali): 1 data (0 Normal, 1 Anomali).

Entropy subset:

1.Untuk Kadar Oksigen ≥ 19 :

$$E(S | \text{Kadar Oksigen} \geq 19) = 0.811 (\text{dari perhitungan suhu} \geq 18)$$

2.Untuk Kadar Oksigen < 19 :

$$E(S | \text{Kadar Oksigen} < 19) = 0 (\text{karena hanya ada 1 Anomali})$$

Rata-rata Entropy Kadar Oksigen:

$$E(\text{Kadar Oksigen}) = \frac{4}{5} \cdot 0.811 + \frac{1}{5} \cdot 0 = 0.649$$

Information Gain (IG) Kadar Oksigen:

$$IG(\text{Kadar Oksigen}) = E(S) - E(\text{Kadar Oksigen}) = 0.971 - 0.649 = 0.322$$

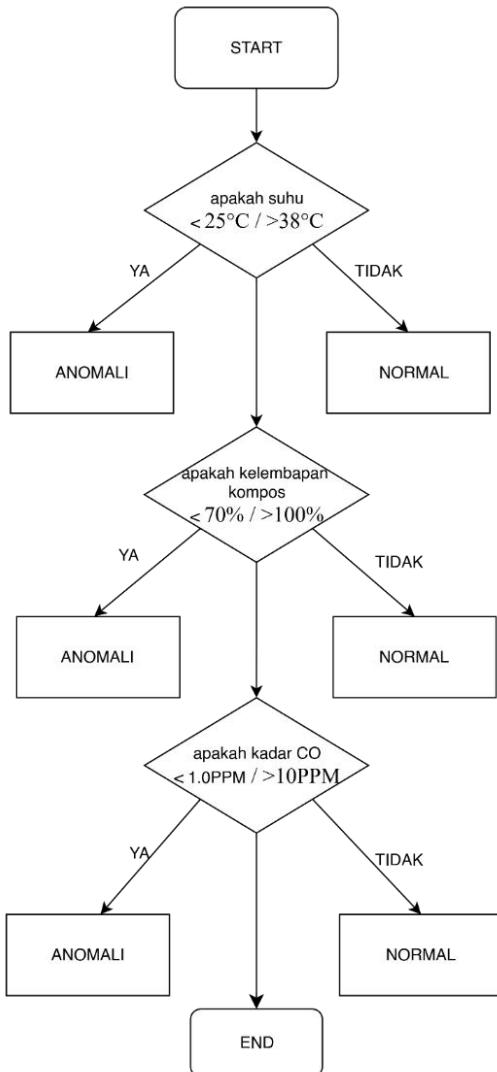
Pilih Parameter dengan IG Tertinggi

Berdasarkan perhitungan:

A. $IG(\text{Suhu})=0.322$

B. $IG(\text{Kelembapan})=0.971$

C. $IG(Kadar\ Oksigen)=0.322$

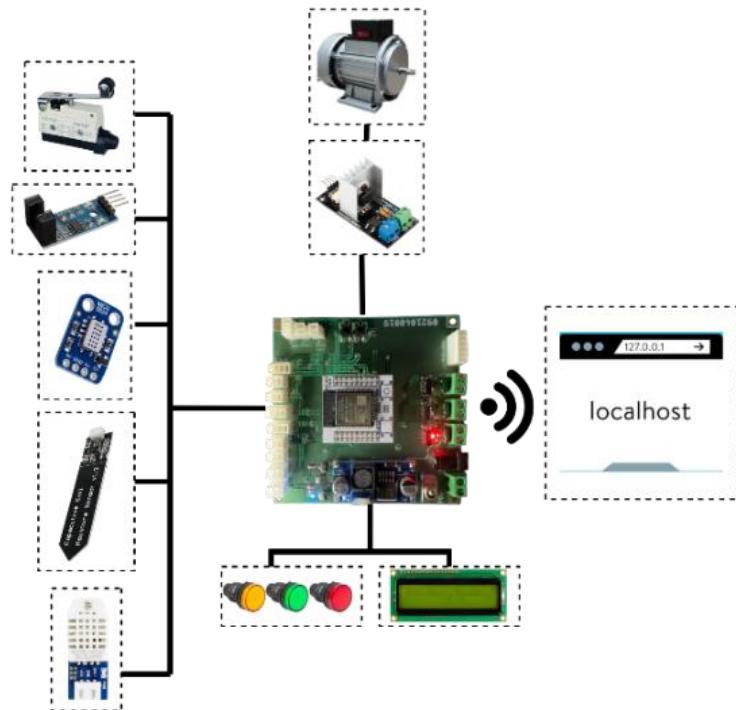


Gambar 3.6 Flowchart Keputusan Decision Tree

3.6 Tahap Perancangan *Hardware* dan Mekanik

Dalam perancangan hardware akan dijelaskan mengenai Perancangan *Hardware* dan perancangan mekanik. Perancangan *Hardware* akan berfokus pada keseluruhan sistem sedangkan perancangan mekanik akan berfokus pada penempatan alat pada sistem mekanik

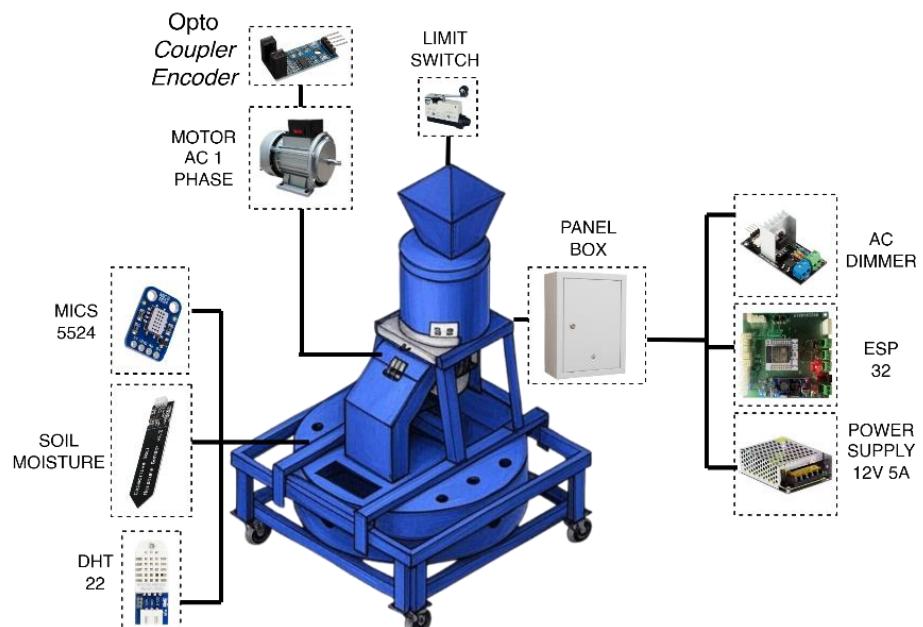
3.6.1 Perancangan Hardware



Gambar 3.7 Rancangan Hardware

3.6.2 Perancangan Mekanik

Desain mekanik berfokus pada rancangan mekanik dengan komponen-komponen seperti Sensor DHT 22, Sensor MICS 5524, *soil moisture*. Gambar 3.8 menunjukkan gambaran perancangan mekanik.



Gambar 3.8 Prototype Mesin pencacah dengan komponen

Sistem yang tergambar merupakan perangkat mekanis yang dilengkapi dengan sensor dan sistem kontrol. Inti dari sistem ini adalah sebuah rangka, berbahan besi , yang dilengkapi roda untuk memudahkan mobilitas. Di atas rangka ini terpasang sebuah tabung atau wadah berbentuk silinder yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan atau pemrosesan material. Bagian atas tabung didesain mengerucut, yang bertujuan untuk mempermudah proses pengisian material. Di bawah tabung, terdapat mekanisme putar berbentuk piringan atau platform yang digerakkan oleh motor AC satu fasa. Mekanisme putar ini berfungsi untuk memindahkan atau mendistribusikan material dari tabung. Sistem ini juga dilengkapi dengan beberapa sensor dan komponen kontrol yang terpasang pada panel box. Limit switch berfungsi sebagai safety intake pada bagian atas. Sensor suhu (DHT22) , sensor *soil moisture*, sensor gas (MICS 5524) bertugas memantau kondisi di dalam reactor kompos BSF.

3.7 Tahap Perancangan Panel dan *wiring*

Pada tahap ini akan dilakukan wiring dengan komponen pcb Esp 32, mcb, power supply,sensor dht 22,sensor soil moisture,sensor mics 5524,*limit switch*, Sensor Opto Coupler Encoder dan juga komponen actuator lcd 16x2, AC *dimmer*,pilot *lamp*, motor ac 1 phase. Tahapan ini akan menunjukkan hasil dan gambaran *wiring* dan perakitan elektrik pada panel. Sistem ini akan dilengkapi dengan kabel *duct* untuk menjaga agar *wiring* panel tetap dalam aturan *wiring*. Panel ini juga telah diberikan lubang di bagian atas dan bawah digunakan untuk jalur keluar dari sensor, sumber tegangan dan aktuator. Dapat dilihat pada Gambar 3.9 Dan Tabel 3.3.



Gambar 3.9 Desain Panel

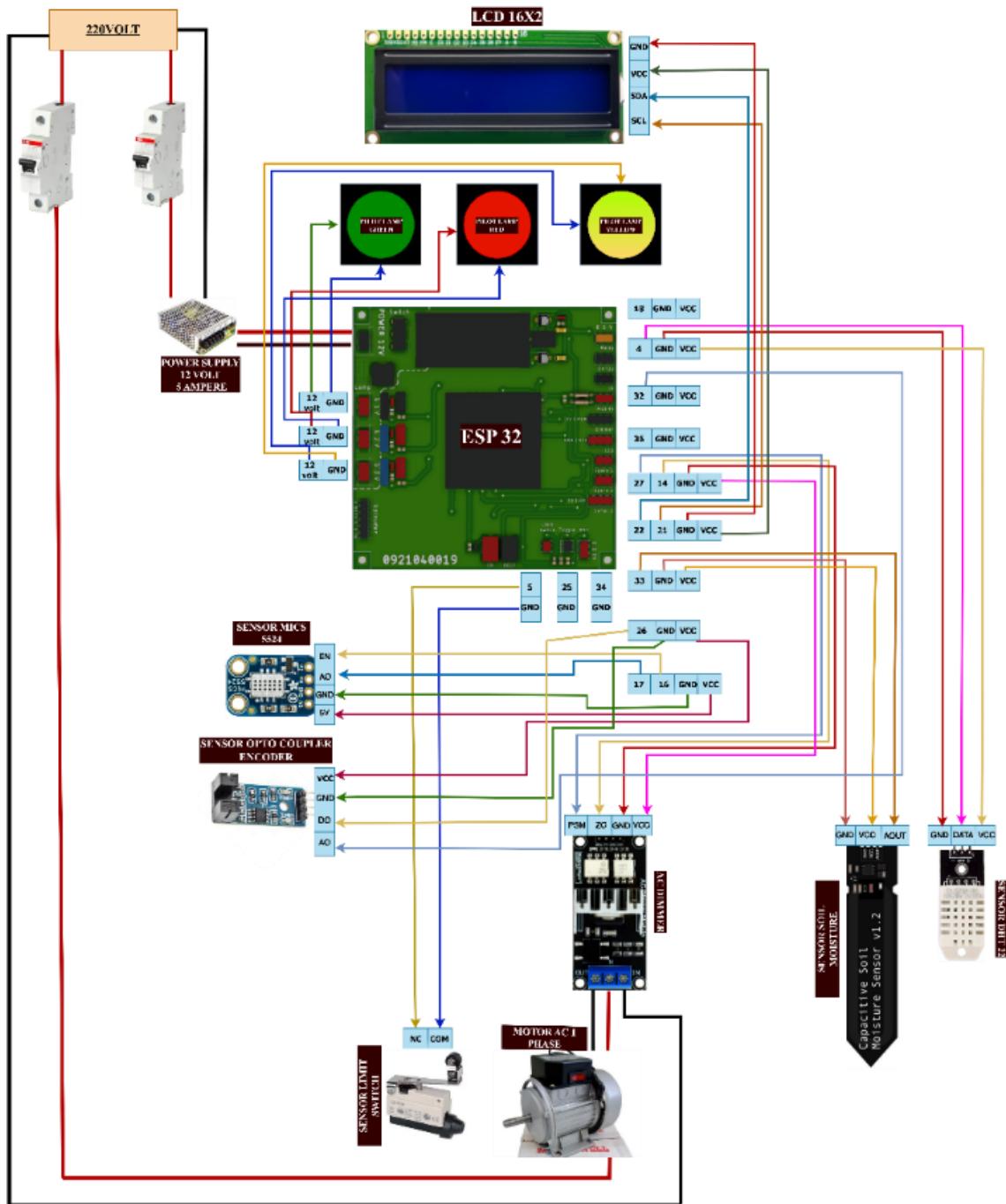
Tabel 3.3 Tabel Wiring dan Panel Listrik

No	Nama Komponen	Pin yang digunakan
1	Power Supply 12v 5a	- L disambungkan pada mcb - Ground disambungkan sumber 220 volt ac - V+ untuk power + pada PCB Esp - V- untuk power - pada PCB Esp
2	MCB 1 Fasa (1)	L yang di sambungkan ke power supply
3	MCB 1 Fasa (2)	- Kabel fase di sambungkan ke motor ac 1 phase -Kabel netral di sambungkan ke IN AC <i>dimmer</i>
4	Pilot lamp Hijau	-Pin 12 Volt disambung ke terminal 12 Volt <i>Pilot lamp</i> -Pin GND disambungkan ke terminal GND <i>Pilot lamp</i>
5	Pilot lamp Merah	-Pin 12 Volt disambung ke terminal 12 Volt <i>Pilot lamp</i> -Pin GND disambungkan ke terminal GND <i>Pilot lamp</i>
6	Pilot lamp Kuning	-Pin 12 Volt disambung ke terminal 12 Volt <i>Pilot lamp</i> -Pin GND disambungkan ke terminal GND <i>Pilot lamp</i>
7	Motor AC 1 Phase	-Kabel fase motor disambungkan ke MC 1 Phase (2) dan socket tengah pada AC <i>dimmer</i> -Kabel netral di sambungkan ke socket OUT pada AC <i>dimmer</i>
8	AC <i>dimmer</i>	-Pin 27 disambung ke terminal ZC pada AC <i>dimmer</i> -Pin 14 disambung ke terminal PSM AC <i>dimmer</i> -Pin GND disambung ke terminal GND AC <i>dimmer</i> - Pin 5V disambung ke terminal VCC AC <i>dimmer</i>

No	Nama Komponen	Pin yang digunakan
9	LCD 16x2	<ul style="list-style-type: none"> -Pin 22 disambung ke terminal SDA pada LCD 16x2 -Pin 21 disambung ke terminal SCL pada LCD 16x2 - Pin 5volt disambung ke terminal VCC pada LCD 16x2 - Pin GND disambung ke terminal GND pada LCD 16x2
10	Sensor DHT 22	<ul style="list-style-type: none"> -Pin 4 disambung ke terminal <i>OUT</i> pada Sensor DHT 22 -Pin 5 volt disambung ke terminal + pada Sensor DHT 22 -Pin GND disambung ke terminal - pada Sensor DHT 22
11	Sensor MICS 5524	<ul style="list-style-type: none"> -Pin 17 disambung ke terminal AO pada Sensor MICS 5524 -Pin 16 disambung ke terminal EN pada Sensor MICS 5524 -Pin 5 volt disambung ke terminal + pada Sensor MICS 5524 -Pin GND disambung ke terminal - pada Sensor MICS 5524
12	Sensor <i>Soil Moisture</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Pin 33 disambung ke terminal AOUT pada Sensor <i>Soil Moisture</i> -Pin 5 volt disambung ke terminal + pada Sensor <i>Soil Moisture</i> -Pin GND disambung ke terminal - pada Sensor <i>Soil Moisture</i>

No	Nama Komponen	Pin yang digunakan
13	<i>Limit Switch</i>	-NC disambungkan ke pin 5 -COM disambungkan ke pin GND
14	Sensor <i>Opto Coupler Encoder</i>	-Pin 26 disambung ke terminal DO pada Sensor <i>Opto Coupler Encoder</i> -Pin 32 disambung ke terminal AO pada Sensor <i>Opto Coupler Encoder</i> -Pin 5 volt disambung ke terminal + pada Sensor <i>Opto Coupler Encoder</i> -Pin GND disambung ke terminal - pada Sensor <i>Opto Coupler Encoder</i>

Sistem ini dikembangkan sebagai solusi terpadu untuk pengawasan dan pengaturan proses menggunakan mikrokontroler ESP32. Pasokan listrik 220V dialirkan melalui unit daya 12V 5A, yang dilengkapi dua saklar MCB untuk menjaga keamanan. ESP32 bertindak sebagai pusat pengendalian, terhubung dengan berbagai sensor dan aktuator. Layar LCD 16x2 menampilkan informasi secara langsung, sementara tiga lampu indikator (hijau, merah, kuning) menandakan kondisi operasi. Sensor MiCS-5524 mendeteksi konsentrasi gas, sedangkan sensor opto-coupler encoder melacak putaran motor AC satu fasa. Motor diatur melalui modul dimmer, dengan limit switch NC COM sebagai pelindung untuk menghindari kelebihan kerja. Sensor soil moisture v1.2 mengukur tingkat kelembapan media, dan sensor DHT22 untuk memantau suhu ruang kompos. Data dari semua sensor dikirim ke ESP32 untuk diolah. Sistem ini memungkinkan pemantauan parameter lingkungan dan pengaturan motor secara otomatis, dengan ESP32 menggabungkan masukan sensor dan keluaran ke perangkat lain. Desain ini menjamin efisiensi dan ketahanan dalam penggunaan, khususnya untuk aplikasi IoT seperti pengomposan. Panel ini juga telah diberikan lubang di bagian atas dan bawah digunakan untuk jalur keluar dari sensor, sumber tegangan dan aktuator. Dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Wiring pada panel

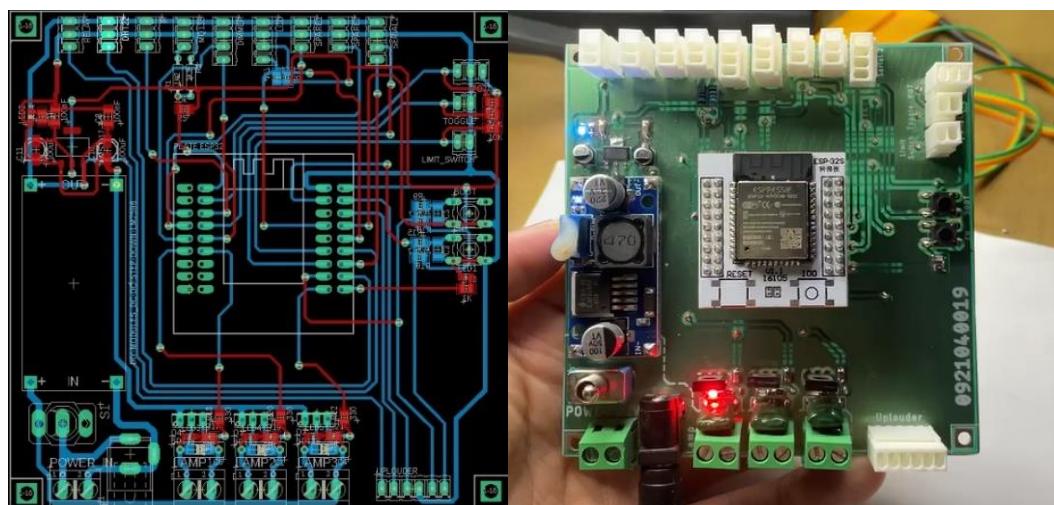
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dari pengujian tugas akhir beserta analisisnya. Pengujian dilakukan dalam beberapa bagian seperti pengujian hardware, pengujian Software, serta pengujian sistem. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa Seluruh sistem yang terdapat pada tugas akhir ini mampu berjalan dengan baik Sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

4.1 Pembuatan PCB

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan dalam pembuatan pcb untuk sensor DHT 22, sensor mics 5524, sensor opto coupler , AC *dimmer* , LCD 16 x2 *Pilot Lamp* , ESP 32. Komponen yang terpasang pada pcb tersebut meliputi AC *dimmer* untuk mengontrol motor ac 1 *phase* , buck converter untuk menurunkan tegangan menjadi 5 volt dc, sensor DHT 22 untuk mendeteksi suhu ,kelembapan kompos dan sensor mics 5524 untuk mendeteksi kadar CO ppm . Selain itu, terdapat MCB sebagai sistem pengaman. Terdapat juga power supply untuk sumber tegangan AC. *Microcontroller* yang terdapat dalam PCB tersebut adalah Arduino Uno. Semua komponen tadi telah terpasang sesuai dengan skematik yang terdapat pada bab 3. Selain itu, semua bagian seperti connector untuk sensor, aktuator dan lcd juga telah terpasang dengan baik. Berikut adalah Gambar 4.1 yang menunjukan hasil pembuatan PCB.



Gambar 4.1 Hasil Pembuatan PCB

Rangkaian PCB ini dirancang sebagai pusat kendali dari sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32. Modul ESP32 ditempatkan di bagian tengah papan dan bertugas menjalankan fungsi utama seperti pengolahan data, pembacaan sensor, serta pengendalian perangkat lain. Selain itu, ESP32 juga mendukung konektivitas nirkabel, seperti Wi-Fi dan Bluetooth, yang mempermudah integrasi sistem. Pada sisi kiri bawah, terdapat rangkaian penurun tegangan *buck converter* yang mengubah tegangan masukan 12 volt menjadi 5 volt atau 3,3 volt, sesuai dengan kebutuhan komponen di dalam sistem. Rangkaian ini terdiri atas induktor, regulator *switching*, dioda, dan kapasitor yang dirancang agar efisien dan tidak menghasilkan panas berlebih. Jalur-jalur konektor disusun dengan rapi di bagian atas dan bawah papan untuk menghubungkan berbagai komponen eksternal. Setiap jalur diberi label seperti *LAMP1*, *LAMP2*, dan *LAMP3* agar lebih mudah dikenali saat proses pemasangan. Sumber daya utama masuk melalui konektor bertanda *power 12V*, dilengkapi dengan *toggle switch* yang berfungsi sebagai saklar utama untuk menghidupkan atau memutus aliran listrik ke seluruh sistem PCB. Beberapa lampu indikator led turut disematkan untuk menampilkan status sistem, masing-masing dilengkapi resistor pembatas arus agar tidak terjadi kerusakan. Komponen pendukung lainnya seperti resistor dan kapasitor tersebar di berbagai titik untuk memastikan kestabilan sinyal serta meredam gangguan listrik. Papan ini menggunakan dua lapis jalur, dengan warna merah untuk bagian atas dan biru untuk bagian bawah, yang memungkinkan distribusi sinyal dan tegangan berlangsung tanpa hambatan. Di bagian kanan bawah PCB, terdapat header *Uploader* yang berfungsi untuk memprogram ulang ESP32. *Header* ini terdiri atas enam pin, yaitu V, RX, TX, G, IO0, dan EN, yang umum digunakan saat proses unggah firmware menggunakan koneksi USB-to-Serial *Converter*.

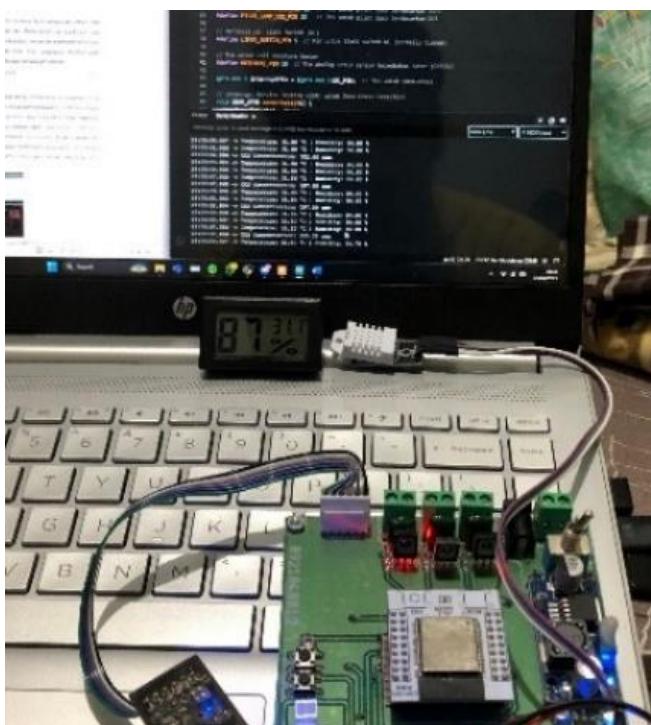
4.2 Hasil Pengujian Hardware

Pada pengujian hardware ini berisi tentang hasil pengujian sensor dan aktuator yang dipakai pada Tugas Akhir ini. Pada pengujian hardware juga digunakan pembanding sebagai penguji keakuratan sensor serta mengamati respon aktuator apakah sudah berfungsi dengan baik. Dari pengujian tersebut akan didapatkan persentase error yang dapat dihitung melalui persamaan.

4.2.1 Pengujian Sensor DHT 22

Pengujian sensor DHT22 digunakan untuk mengetahui serta menguji nilai keluaran dari sensor. Dalam pengujian sensor ini menggunakan *Digital Mini Thermometer Hygrometer Temperature Sensor Humidity Meter* sebagai pembanding untuk mengetahui berapa nilai error yang didapatkan. Pada pengujian ini menggunakan dengan range suhu $25^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$.

Pengujian dilakukan dengan meletakkan sensor pada dalam suhu ruangan sejuk dan dalam suhu ruangan normal seperti Gambar 4.2 . Kemudian membandingkan nilai yang terbaca pada ESP 32 dengan nilai pada *Digital Mini Thermometer Hygrometer Temperature Sensor Humidity Meter*. Hasil pembacaan serta nilai error ditunjukkan pada Tabel 4.1 .



Gambar 4.2 Pengujian ssensor DHT 22

Tabel 4. 1 Hasil pembacaan serta nilai erorr DHT22 suhu.

No	Tempat Uji Coba	DHT 22 (Suhu oC)	<i>Digital Mini Thermometer Hygrometer Temperature Sensor Humidity Meter</i>	Error (%)
1	Ruangan Sejuk	28.7	29	0.01%
2	Ruangan Sejuk	28.6	28.9	0.01%

No	Tempat Uji Coba	DHT 22 (Suhu oC)	<i>Digital Mini Thermometer Hyghrometer Temperature Sensor Humidity Meter</i>	Error (%)
3	Ruangan Sejuk	28.8	29	0.06%
4	Ruangan Sejuk	28.8	29	0.06%
5	Ruangan Sejuk	28.7	29	0.01%
6	Ruangan Normal	31.9	31.0	0.09%
7	Ruangan Normal	31.9	31.0	0.09%
8	Ruangan Normal	32,0	31.1	0.09%
9	Ruangan Normal	31,8	31.2	0.06%
10	Ruangan Normal	31.5	31,6	0.01%
<i>Eror rata-rata</i>				0.04%

Percobaan pengukuran suhu dilakukan di dua kondisi ruangan, yaitu ruang sejuk dan ruang normal, menggunakan alat pengukur suhu *Digital Mini Thermometer* yang dilengkapi dengan sensor kelembapan DHT 22. Hasil pengukuran suhu di ruang sejuk menunjukkan nilai suhu antara 28,6°C hingga 28,8°C, sementara alat pengukur suhu digital mencatatkan suhu 29°C pada setiap percobaan, dengan persentase kesalahan yang berkisar antara 0,01% hingga 0,06%, dan nilai kesalahan terkecil adalah 0,01%. Di ruang normal, suhu yang terukur berkisar antara 31,9°C hingga 32,0°C, sedangkan alat digital mencatat suhu antara 31,0°C hingga 31,2°C, dengan persentase kesalahan yang bervariasi antara 0,01% hingga 0,09%, dan kesalahan tertinggi tercatat pada pengukuran terakhir. Secara keseluruhan, rata-rata kesalahan dari seluruh percobaan adalah 0,04%, yang menunjukkan bahwa alat pengukur suhu memiliki tingkat akurasi yang sangat baik, dengan kesalahan yang relatif kecil pada kedua kondisi ruangan, menandakan konsistensi dan keandalan alat tersebut.

4.2.2 Pengujian Motor AC 1 Phase

Pada Tugas Akhir ini menggunakan Motor AC 1 Phase sebagai penggerak pencacah sampah menjadi komposster ini. Pada pengujian ini menggunakan *tachometer* dan multimeter untuk mengetahui tegangan yang masuk pada Motor AC 1 Phase. Kemudian mengamati apakah ada pergerakan dari blower setelah diberi tegangan seperti pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.2



Gambar 4. 3 Uji aktuator Motor AC 1 Phase.

Tabel 4.2 Perubahan tegangan pada keluaran Motor AC 1 Phase.

No	Nilai PWM	Tegangan keluar (V)	Kecepatan Motor (RPM)
1	10	29	622
2	20	65	2706
3	30	114	2919
4	40	159	2939
5	50	190	2987
6	60	201	2998
7	70	212	3000
8	80	218	3051
9	90	225	3051
10	100	114	2920

Percobaan ini bertujuan untuk mengamati hubungan antara nilai PWM dengan tegangan keluar (V) serta kecepatan motor (RPM). Berdasarkan hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa seiring dengan meningkatnya nilai PWM, tegangan yang keluar juga mengalami kenaikan yang signifikan. Pada nilai PWM sebesar 10, tegangan yang terukur adalah 29 V, dengan kecepatan motor mencapai

622 RPM. Ketika nilai PWM ditingkatkan menjadi 20, tegangan keluar naik menjadi 65 V, sementara kecepatan motor meningkat menjadi 2706 RPM. Peningkatan serupa terus terjadi dengan bertambahnya nilai PWM.

4.2.3 Pengujian Sensor AC Dimmer

Pengujian dimmer kali ini dilakukan dengan bantuan multimeter untuk mengetahui keluaran tegangan dari pin load dimmer. Dimmer disini akan mengendalikan tegangan yang masuk ke motor ac 1 phase sehingga dapat diatur kecepatannya. Tegangan yang masuk pada dimmer akan dipantau melalui multimeter. Pengujian dimmer dilakukan dengan cara memberikan masukan berupa nilai PWM dengan rentang 0~100 dan mengamati perubahan tegangan pada keluaran dimmer seperti pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.3. Dari pengujian PWM tersebut dapat dihitung melalui persamaan berikut. Diketahui

- a. Tegangan keluar (V) : 16.4
 - b. Tegangan maksimal (V) : 220

Menghitung duty cycle dan pwm value dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100 \quad \dots \quad (4.1)$$

$$\text{PWM value} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100 \quad \dots \quad (4.2)$$

Keterangan :

V_{out} = Tegangan keluar (V) V_{max} = Tegangan maksimal (V)

Rumus diatas digunakan untuk mengukur perhitungan duty cycle dan pwm value

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100$$

$$= \frac{16}{220} \times 100 = 0.072 \times 100 = 7,2\%$$

$$\begin{aligned}\text{PWM value} &= \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 225 \\ &= \frac{16}{220} \times 225 = 0.072 \times 225 = 18.3\end{aligned}$$



Gambar 4.4 Uji aktuator AC *dimmer*

Tabel 4.3 Perubahan tegangan pada keeluaran AC *dimmer*

No	Nilai PWM	Tegangan keluar (V)
1	10	29
2	20	65
3	30	114
4	40	159
5	50	190
6	60	201
7	70	212
8	80	218
9	90	225
10	100	114

Hasil dari percobaan ini adalah untuk mengamati nilai PWM dan tegangan yang keluar dari AC *dimmer*. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, tampak bahwa tegangan yang terukur meningkat seiring dengan bertambahnya nilai PWM. Pada nilai PWM sebesar 10, tegangan yang tercatat adalah 29 V. Ketika nilai PWM dinaikkan menjadi 20, tegangan keluar meningkat menjadi 65 V. Peningkatan ini terus berlanjut, dengan tegangan keluar mencapai 114 V pada PWM 30. Tegangan keluar terus meningkat seiring bertambahnya nilai PWM, mencapai 225 V pada PWM 90. Namun, pada nilai PWM 100, terjadi penurunan tegangan menjadi 114 V. Hasil percobaan ini menunjukkan adanya hubungan yang positif antara nilai PWM dan tegangan yang keluar, meskipun pada nilai PWM tertinggi, terjadi penurunan tegangan yang tercatat.

4.2.4 Pengujian Sensor Opto Coupler Encoder

Pengujian sensor opto *coupler encoder* bertujuan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor dalam mendeteksi kecepatan putaran motor. Sebagai acuan, digunakan tachometer digital untuk memperoleh nilai referensi yang lebih akurat sekaligus berfungsi sebagai alat kalibrasi. Sensor dipasang pada poros motor yang telah dilengkapi dengan cakram berlubang atau reflektif, kemudian sensor mendeteksi sinyal optik yang terputus akibat rotasi motor. Sinyal tersebut dikonversi menjadi data digital dan dihitung oleh mikrokontroler (ESP32) dalam satuan rotasi per menit (rpm). Pengujian dilakukan pada rentang kecepatan 885 rpm hingga 2971 rpm dalam kondisi putaran yang stabil.

Hasil pembacaan sensor dibandingkan secara langsung dengan data dari tachometer untuk mengetahui besar galat atau error. Galat dihitung berdasarkan selisih antara nilai sensor dan nilai acuan, baik dalam satuan rpm maupun dalam bentuk persentase. Proses kalibrasi membantu menyempurnakan rumus perhitungan rpm pada mikrokontroler agar hasil pengukuran lebih presisi. Pengujian ini memberikan gambaran seberapa andal sensor dalam mendeteksi kecepatan motor secara real-time. Visualisasi proses pengujian ditampilkan pada Gambar 4.5 Dan Gambar 4,6 , sedangkan data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.5 Pengukuran sensor pada kecepatan putaran motor

Tabel 4.4 Hasil pengukuran rpm dengan sensor dan tachometer

No	Kecepatan motor	Nilai rpm pada sensor	Rpm pada motor	Eror %
1	10%	885	885	3.39%
2	20%	2685	2756	2.58%
3	30%	2822	2913	3.13%
4	40%	2856	2942	2.92%
5	50%	2864	2944	2.71%
6	60%	2881	2951	2.37%
7	70%	2875	2950	2.54%
8	80%	2886	2961	2.53%
9	90%	2890	2971	2.73%
10	100%	2770	2853	2.91%
Rata-rata eror %				2.78%

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran putaran motor (RPM) yang diperoleh dari sensor optik dengan data acuan yang diukur menggunakan tachometer. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor dalam membaca kecepatan motor pada berbagai tingkat persentase daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai RPM yang terukur oleh sensor sejalan dengan nilai tachometer, dengan tingkat kesalahan relatif kecil pada setiap pengukuran. Sebagai contoh, pada saat motor diatur pada 30% kecepatan, sensor mencatat RPM sebesar 2822, sedangkan tachometer menunjukkan 2913 RPM, dengan persentase kesalahan sebesar 3,13%. Pada pengaturan 60%, sensor menunjukkan 2881 RPM dan tachometer 2951 RPM, menghasilkan kesalahan sebesar 2,37%. Secara keseluruhan, persentase kesalahan berada dalam rentang 2,37% hingga 3,39%, dengan rata-rata kesalahan hanya sebesar 2,78%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem pemantauan kecepatan motor secara real-time.



Gambar 4.6 Pengukuran rpm pada motor menggunakan tachometer

4.2.5 Pengujian Senssor *Limit Switch*

Pengujian *limit switch* CZ-7121 dilakukan menggunakan multimeter untuk memantau tegangan yang keluar dari terminal NC (*Normally Closed*). *Limit switch* ini diterapkan dalam sistem *safety intake* untuk mengontrol pengoperasian motor. Saat terminal NC dalam kondisi tertutup, motor akan beroperasi, sedangkan saat terminal tersebut terbuka, motor akan mati sebagai langkah pengamanan. Selama pengujian, tegangan yang terukur pada terminal NC adalah 3,36V, sementara pada terminal NO (*Normally Open*) tercatat 0V. Hasil pengujian ini mengonfirmasi bahwa limit switch berfungsi dengan baik untuk memastikan motor hanya beroperasi ketika kondisi NC terpenuhi sebagai bentuk pengamanan. Visualisasi proses pengujian ditampilkan pada Gambar 4.8 , sedangkan data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.6.



Gambar 4.7 Pengujian *limit switch*

Tabel 4.5. Hasil pengujian *limit switch* menggunakan multimeter

No	Kondisi	Tegangan keluar (V)
1	NC	3.36
2	NO	0

4.2.6 Pengujian Pilot Lamp

Pengujian pilot lamp 12V dilakukan untuk memastikan bahwa lampu indikator dapat menyala dengan baik saat sistem diaktifkan. Dalam proses pengujian, pilot lamp diberi pasokan tegangan 12V DC, dan multimeter digunakan untuk mengukur tegangan yang diterima oleh terminal lampu. Apabila lampu indikator menyala dengan benar pada tegangan tersebut, maka dapat dipastikan lampu berfungsi dengan baik. Namun, jika lampu tidak menyala, kemungkinan terdapat masalah pada sambungan atau komponen lampu tersebut. Pengujian ini menunjukkan bahwa pada kondisi normal, pilot lamp menerima tegangan 12V dan menyala dengan terang, menandakan sistem indikator beroperasi sesuai harapan.

Visualisasi proses pengujian ditampilkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengujian Pilot Lamp menggunakan multimeter

No	Pengujian	Keterangan
1		Lampu Merah Menyala
2		Lampu Merah Mati
3		Lampu Hijau Menyala

No	Pengujian	Keterangan
4		Lampu Hijau Mati
5		Lampu Kuning Menyala
6		Lampu Kuning Mati

4.2.4 Pengujian Senssor MiCS5524

Pengujian sensor MiCS 5524 untuk mengukur CO ppm dilakukan dengan cara melakukan kalibrasi menggunakan alat MSA Altair 5X Detector. Uji coba ini dilaksanakan di luar ruangan terbuka untuk memantau kadar karbon monoksida (CO) yang ada di udara. Sebelum sensor MiCS 5524 dapat memberikan pembacaan yang tepat, sensor memerlukan waktu pemanasan selama 2 hingga 3 menit. Setelah proses pemanasan selesai, sensor mulai mengukur CO ppm dari nilai 0 ppm hingga mencapai kadar yang sesuai dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Selama pengujian, pembacaan sensor MiCS 5524 dibandingkan dengan hasil dari alat MSA Altair 5X untuk memastikan tingkat keakuratan pengukuran CO ppm. Visualisasi proses pengujian ditampilkan pada Gambar 4.8 , sedangkan data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.7



Gambar 4.8 Percobaan sensor MiCS 5524 dengan MSA Altair 5X Detect

Tabel 4.7 Pengujian sensor MiCS 5524 menggunakan MSA Altair 5X Detector

No	Lama waktu pengujian	Percobaan MiCS 5524	Percobaan MSA Altair 5X Detector	Eror %
1	1 Menit	0.0 ppm	9 ppm	9%
2	2 Menit	0.0 ppm	10 ppm	10%
3	3 Menit	5.6 ppm	10 ppm	4.4%
4	4 Menit	7.4 ppm	11 ppm	3.6%
5	5 Menit	10.5 ppm	11 ppm	0.5%
6	6 Menit	11.3 ppm	11 ppm	0.3%
7	7 Menit	11.8 ppm	12 ppm	0.2%
8	8 Menit	12.4 ppm	12 ppm	0.4%
9	9 Menit	12.9 ppm	11 ppm	1.9%
10	10 Menit	12.2	12 ppm	0.2%
	Rata-rata eror			3.05%

Percobaan ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan dua alat detektor gas, yaitu MiCS 5524 dan MSA Altair 5X Detector, serta menghitung kesalahan pada setiap pengukuran. Pengukuran dilakukan selama 10 menit, dengan nilai konsentrasi gas yang terdeteksi pada percobaan pertama menunjukkan perbedaan pada masing-masing alat. Pada pengukuran pertama,

sensor MiCS 5524 mencatatkan nilai 0,0 ppm, sementara sensor MSA Altair 5X mencatatkan nilai 9 ppm, yang menghasilkan kesalahan sebesar 9 ppm. Hasil pengukuran berikutnya menunjukkan variasi kesalahan yang lebih kecil, antara 0,3 ppm hingga 4,4 ppm. Pada pengukuran terakhir, sensor MiCS 5524 mencatatkan nilai 12,2 ppm, sementara sensor MSA Altair 5X menunjukkan 12 ppm, dengan kesalahan hanya sebesar 0,2 ppm. Rata-rata kesalahan keseluruhan tercatat sebesar 3,05 ppm. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa sensor MiCS 5524 memerlukan waktu pemanasan sekitar 2 hingga 3 menit agar dapat memberikan hasil pengukuran yang stabil. Faktor ini dapat mempengaruhi keakuratan hasil pada awal pengukuran, namun setelah pemanasan, kedua alat menunjukkan hasil yang cukup konsisten.

4.2.5 Pengujian Sensor *Soil Moisture*

Pengujian sensor kelembapan tanah dengan *Capacitive Soil Moisture* Sensor v1.2 dilakukan untuk mengukur kadar kelembapan tanah dan membandingkan hasilnya dengan pembacaan yang diperoleh dari alat ukur kelembapan tanah lainnya, yaitu *soil meter*. Sensor ini terhubung ke ESP32, dan hasil pengukuran diuji dengan cara membandingkan data yang dibaca oleh sensor dengan nilai yang ditampilkan oleh *soil meter* sebagai alat perbandingan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua alat tersebut menghasilkan pembacaan yang relatif konsisten, meskipun ada sedikit perbedaan yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kalibrasi masing-masing alat. Sensor kelembapan tanah memberikan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kelembapan tanah, serta hasil pembacaannya lebih mudah dipahami dalam bentuk persentase, sedangkan soil meter hanya menampilkan indikator analog tanpa satuan yang jelas. Perbandingan ini penting untuk memastikan akurasi penggunaan sensor kelembapan tanah dalam aplikasi pemantauan kondisi tanah. Visualisasi proses pengujian ditampilkan pada Gambar 4.9, sedangkan hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.8.



Gambar 4.9 Percobaan sensor *Soil Moisture* dengan *soil meter*

Tabel 4.8 Hasil pengujian sensor *Soil Moisture* menggunakan *soil meter*

No	Uji coba	Uji Coba Sensor Soil Moisture	Uji Coba Soil Meter
1	Tanah Normal	<pre>16:04:16.393 -> Kelembapan Tanah: 51% 16:04:17.356 -> Kelembapan Tanah: 51% 16:04:18.396 -> Kelembapan Tanah: 51% 16:04:19.376 -> Kelembapan Tanah: 51% 16:04:20.401 -> Kelembapan Tanah: 51% 16:04:21.356 -> Kelembapan Tanah: 52% 16:04:22.382 -> Kelembapan Tanah: 51%</pre>	

No	Uji coba	Uji Coba Sensor Soil Moisture	Uji Coba Soil Meter
2	Tanah Lembab	16:06:28.389 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:29.388 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:30.394 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:31.374 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:32.384 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:33.398 -> Kelembapan Tanah: 68% 16:06:34.392 -> Kelembapan Tanah: 67%	
3	Tanah Basah	16:09:55.373 -> Kelembapan Tanah: 76 16:09:56.355 -> Kelembapan Tanah: 76 16:09:57.356 -> Kelembapan Tanah: 76 16:09:58.380 -> Kelembapan Tanah: 75 16:09:59.382 -> Kelembapan Tanah: 76 16:10:00.395 -> Kelembapan Tanah: 76	

4.3 Hasil perhitungan data dengan metode

Tabel 4.9 Tabel Data Perobaan

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

No	Suhu (°C)	Kelembapan kompos (%)	Kadar CO ppm (%)	Kondisi
8	32.2	87	0.1	Anomali
9	33.2	91	0.1	Anomali
10	34.4	83	0.0	Normal

Deskripsi Kondisi Data:

- Suhu Ruang Kompos BSF:
 - Anomali Min: 25°C
 - Anomali Max: 35–38°C
 - Normal: 26°C – 34°C
- Kelembapan Komposter BSF (Media):
 - Anomali Min: 70%
 - Anomali Max: 100%
 - Normal: 80% – 95%
- Ambang Batas Aman CO :
 - 0 ppm: Normal
 - 1.0- 10 ppm: Anomali

Langkah-langkah Penghitungan

Formula Entropy :

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

- Entropy mengukur tingkat ketidakpastian atau ketidakteraturan dalam suatu sistem atau dataset.
- $E(S)$ = entropy dari dataset S.
- c = jumlah kelas (*Normal* dan *Anomali*).
- p_i = probabilitas kemunculan dari kelas ke-i.
- p_i = probabilitas setiap kondisi (*Normal* atau *Anomali*)

Formula Information Gain:

$$\bullet \quad \text{IG(Parameter)} = E(S) - E(\text{Parameter})$$

Dimana $E(\text{Parameter})$ adalah rata-rata entropy dari subset data berdasarkan parameter.

Entropy Awal Sistem ($E(S)$)

- Total data: 10
- Normal: 4 (No 2, 4, 5, 10)
- Anomali: 6 (No 1, 3, 6, 7, 8, 9)
- Probabilitas:

$$p_{\text{Normal}} = \frac{4}{10} = 0.4 \quad 4.3$$

$$p_{\text{Anomali}} = \frac{6}{10} = 0.6 \quad 4.4$$

❖ Perhitungan Emthropy

$$E(S) = -\frac{4}{10} \log_2 \frac{4}{10} + \frac{6}{10} \log_2 \frac{6}{10} \quad 4.5$$

$$\log_2 0.4 = \log_{10} 0.4 / \log_{10} 2 \approx -1.3219 \quad 4.6$$

$$\log_2 0.6 = \log_{10} 0.6 / \log_{10} 2 \approx -0.7369 \quad 4.7$$

$$E(S) = -4(0.4(-1.3219) + 0.6 \cdot (-0.7369)) \quad 4.8$$

$$E(S) = -(-0.5288 - 0.4421) = 0.9709 \quad 4.9$$

Hasil: $E(S) \approx 0.971$

a) Suhu $< 32^\circ\text{C}$: No 2, 4, 5, 6, 7 (5 data)

- Normal: 3 (No 2, 4, 5)
- Anomali: 2 (No 6, 7)

Entropy :

$$E(S|Suhu < 32) = -\left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{3}{5} \log_2 \frac{3}{5}\right) \quad 4.10$$

$$\log_2 \frac{2}{5} \approx -1.3219, \quad \log_{10} 2 \frac{3}{5} \approx -0.7369 \quad 4.11$$

$$\begin{aligned} E(S|Suhu < 32) \\ = -\left(0.4 \cdot (-1.3219) + 0.6 \cdot (-0.7369)\right) \\ = 0.9709 \end{aligned} \quad 4.12$$

b) Kelembapan < 85%: No 2, 4, 10 (3 data)

- Normal: 3 (No 2, 4, 10)
- Anomali: 0

Entropy: 0

Rata- rata Entropy Suhu:

$$E(Suhu) = \frac{7}{10} \cdot 0.8631 + \frac{3}{10} \cdot 0 = 0.3668 \quad 4.13$$

➤ Information Gain Suhu :

$$IG(Suhu) = E(S) - E(suhu) = 0.971 - 0.6042 = 0.3668$$

c) Kadar CO < 1.0 ppm: No 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 (9 data)

- Normal: 4 (No 2, 4, 5, 10)
- Anomali: 5 (No 1, 3, 7, 8, 9)

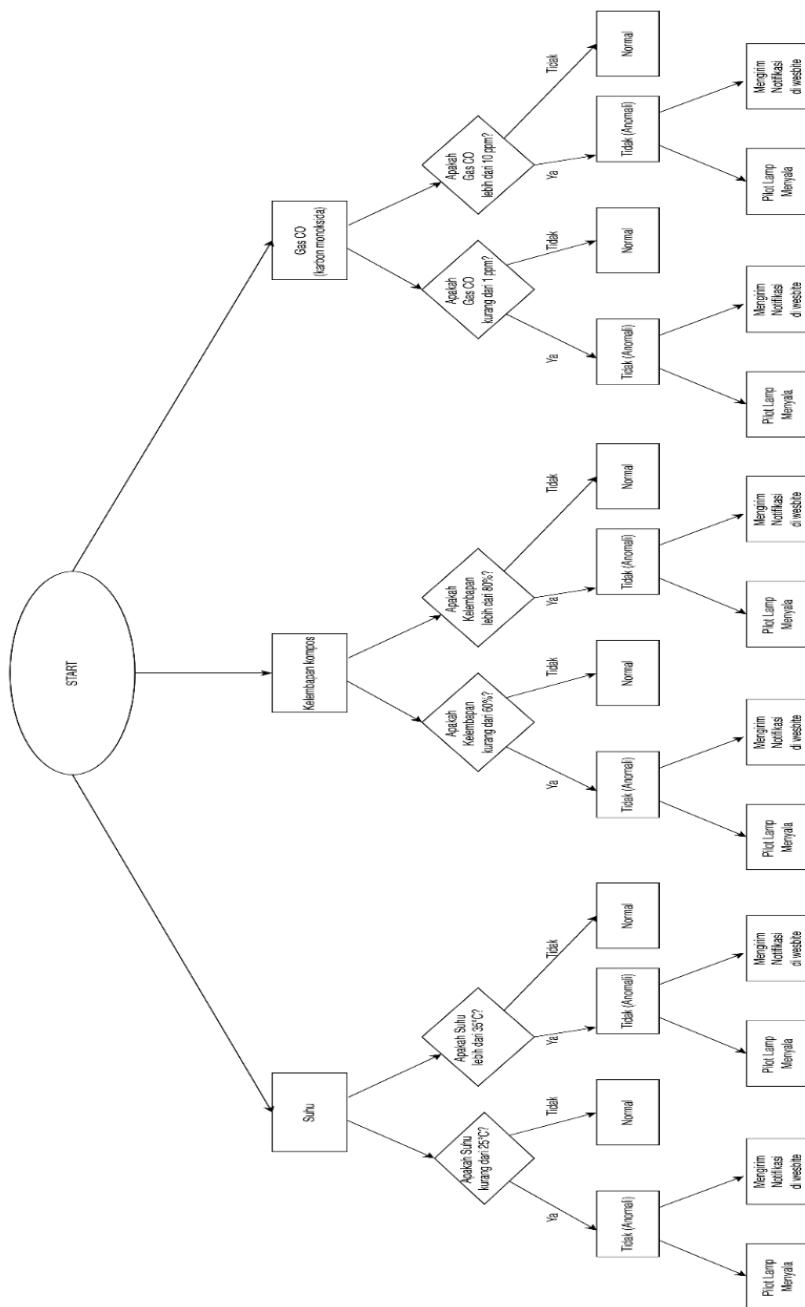
Entropy: 0.9911

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

4.14

d) Information Gain:

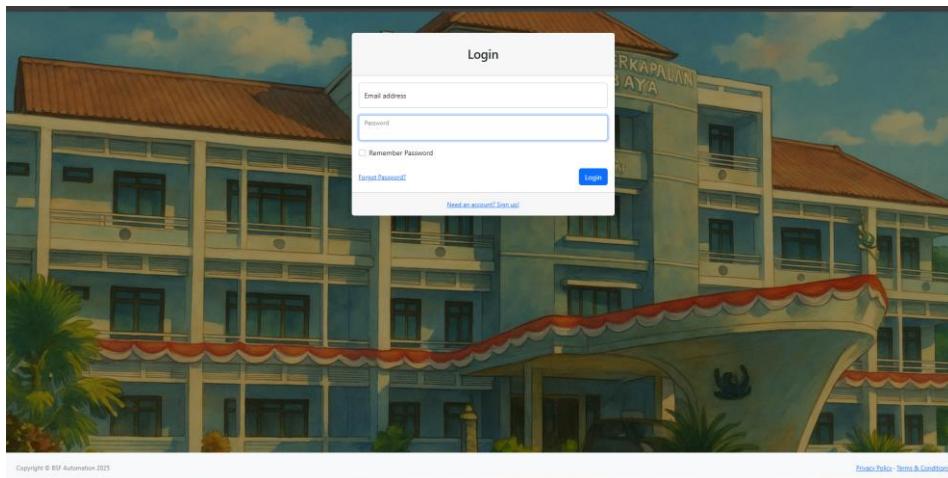
- I. Suhu: 0.0001
 - II. Kelembapan: 0.3668
 - III. Kadar CO: 0.0791



Gambar 4.10 Flowchart Keputusan Decision Tree

4.4 Tampilan Website

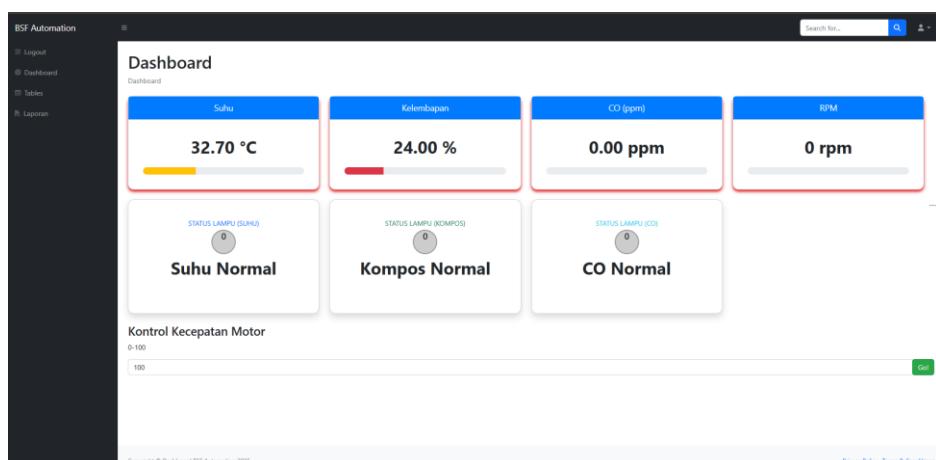
Website yang telah dikembangkan menyajikan tampilan dashboard yang menampilkan data secara real-time mengenai tiga parameter utama: suhu, kelembapan , kadar CO, dan rpm meter pada reaktor kompos BSF. Setiap parameter ditampilkan dalam bentuk progress bar yang memberikan gambaran visual yang mudah dipahami mengenai status terkini. Website ini dibangun menggunakan teknologi seperti HTML, CSS, dan JavaScript untuk menciptakan tampilan yang responsif dan dapat diakses dengan baik baik di perangkat desktop maupun mobile. Desain website yang sederhana namun penuh informasi ini memungkinkan pemantauan yang efektif terhadap kondisi reaktor. Pembaruan data dilakukan secara otomatis dan langsung, sehingga pengguna dapat dengan mudah memastikan bahwa proses dekomposisi bahan organik di dalam reaktor berjalan dengan lancar dan sesuai dengan parameter yang diharapkan. Dengan demikian, website ini membantu mengoptimalkan pengawasan *monitoring* , dan *control* motor pada mesin pencacah reaktor kompos BSF.



Gambar 4.11 Tampilan Login

Dashboard Dashboard pada sistem ini menyajikan data real-time yang mencakup suhu, kelembapan, kadar karbon monoksida (CO), serta kecepatan motor (RPM) yang diukur dalam reaktor kompos berbasis Black Soldier Fly (BSF). Setiap parameter ditampilkan secara jelas pada panel digital yang dilengkapi dengan indikator warna, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah mengamati status dan kondisi operasional sistem secara sekilas. Selain fungsi pemantauan yang

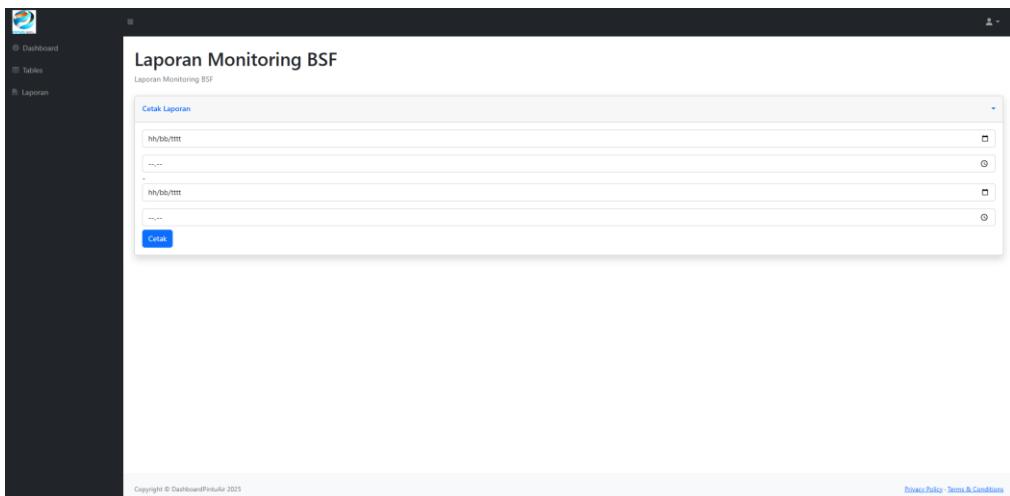
komprehensif, dashboard ini juga dilengkapi dengan kolom input interaktif yang memberikan keleluasaan bagi pengguna untuk menyesuaikan kecepatan motor secara manual sesuai kebutuhan proses pengomposan. Lebih lanjut, sistem ini telah diintegrasikan dengan fitur notifikasi otomatis yang dirancang untuk mengirim peringatan segera jika terdeteksi adanya parameter yang melampaui batas aman yang telah ditentukan, sehingga meminimalkan risiko kegagalan atau kerusakan. Desain dashboard yang ringkas namun responsif memastikan pengalaman pengguna yang mulus, baik saat mengakses melalui perangkat desktop maupun mobile. Dengan antarmuka yang intuitif dan fitur-fitur canggih ini, dashboard mendukung pengawasan serta pengendalian sistem secara efisien, praktis, dan dapat diandalkan, terutama dalam konteks aplikasi IoT untuk pengelolaan limbah organik melalui proses kompos.



Gambar 4.12 Tampilan Dashboard

Halaman laporan pada sistem pemantauan BSF dibuat untuk memudahkan pengguna dalam menghasilkan laporan data berdasarkan periode waktu yang dipilih. Antarmuka yang ramah pengguna menyediakan formulir untuk memasukkan tanggal mulai dan akhir, dilengkapi dengan kalender interaktif untuk memudahkan pemilihan waktu secara tepat. Dengan menekan tombol "Cetak", pengguna dapat menghasilkan laporan terperinci yang mencakup informasi penting seperti suhu, tingkat kelembapan, dan perkembangan larva. Laporan ini dapat disimpan dalam format PDF, mendukung proses dokumentasi, evaluasi rutin, dan pemantauan kinerja pengomposan dengan lebih praktis dan terorganisir.

Selain itu, sistem menyediakan fitur penyaringan data yang memungkinkan pengguna untuk memilih parameter tertentu, seperti fokus pada hasil produktivitas larva atau kondisi lingkungan tertentu. Fitur ini mempermudah analisis yang lebih spesifik dan membantu pengambilan keputusan yang lebih akurat untuk mengoptimalkan proses pengomposan.



Gambar 4.13 Tampilan Laporan

LAPORAN DATA SENSOR

No	Waktu	Suhu	Kelembapan Kompos	CO PPM	RPM
1	2025-07-07 21:07:45	31.20	28.00	0.00	0
2	2025-07-07 21:07:40	31.20	24.00	1.80	0
3	2025-07-07 21:07:35	31.20	27.00	0.00	0
4	2025-07-07 21:07:30	31.20	25.00	0.00	0
5	2025-07-07 21:07:25	31.20	26.00	0.00	0
6	2025-07-07 21:07:20	31.20	27.00	0.60	0
7	2025-07-07 21:07:15	31.20	22.00	0.00	0
8	2025-07-07 21:07:10	31.20	28.00	0.00	0
9	2025-07-07 21:07:05	31.20	25.00	0.00	0
10	2025-07-07 21:06:59	31.10	27.00	0.00	0
11	2025-07-07 21:06:54	31.10	24.00	0.00	0
12	2025-07-07 21:06:50	31.10	26.00	0.70	0
13	2025-07-07 21:06:44	31.10	29.00	0.00	0
14	2025-07-07 21:06:39	31.10	26.00	3.00	0
15	2025-07-07 21:06:34	31.10	26.00	0.00	0
16	2025-07-07 21:06:29	31.10	28.00	0.00	0
17	2025-07-07 21:06:24	31.10	22.00	0.00	0
18	2025-07-07 21:06:19	31.10	30.00	0.00	0

Gambar 4.14 Tampilan Cetak laporan

Halaman tampilan tabel dalam sistem monitoring BSF dibuat untuk membantu pengguna mengakses dan mengatur data pemantauan dengan mudah. Tampilan ini menampilkan susunan tabel yang mencakup kolom nomor urut, suhu, kelembapan kompos, CO PPM, RPM, serta waktu pencatatan. Pengguna

bisa menjelajahi data menggunakan opsi pengaturan halaman dan memanfaatkan filter rentang waktu untuk menyesuaikan informasi yang muncul, sehingga mempermudah pengelolaan dan analisis data secara efektif.

No	Suhu	Kelembapan Kompos	CO PPM	RPM	Waktu
1	31.20	24.00	1.80	0	2025-07-07 21:07:40
2	31.20	27.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:35
3	31.20	25.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:30
4	31.20	28.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:25
5	31.20	27.00	0.60	0	2025-07-07 21:07:20
6	31.20	22.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:15
7	31.20	28.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:10
8	31.20	25.00	0.00	0	2025-07-07 21:07:05
9	31.10	27.00	0.00	0	2025-07-07 21:06:59
10	31.10	24.00	0.00	0	2025-07-07 21:06:54

Gambar 4.15 Tampilan *Tables*

4.5 Hasil Pengamatan

Pada hasil pengamatan selama tanggal 07 Juli 2025 – 17 Juli 2025, dapat diambil nilai suhu, kelembaban kompos dan kadar co ppm seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Tabel Pengamatan

No	Hari Tanggal	Waktu	Suhu (C)	Kelembapan Kompos (%)	CO (PPM)
1	Senin 07/Juli/2025	Pagi	31.5	85	0.0
		Siang	34.4	82	0.1
		Sore	32.2	88	0.1
2	Selasa 08/Juli/2025	Pagi	30.1	90	0.0
		Siang	31.4	80	0.0
		Sore	33.2	84	0.1
3	Rabu 09/Juli/2025	Pagi	30.6	92	0.0
		Siang	32.2	87	0.1
		Sore	34.4	81	0.0
4	Kamis	Pagi	30.1	88	0.0

No	Hari Tanggal	Waktu	Suhu (C)	Kelembapan Kompos (%)	CO (PPM)
	10/Juli/2025	Siang	31.4	83	0.0
		Sore	32.0	86	0.0
5	Jumat 11/Juli/2025	Pagi	29.8	91	0.0
		Siang	30.0	85	0.0
		Sore	29.9	88	0.0
6	Sabtu 12/Juli/2025	Pagi	28.8	82	0.0
		Siang	29.9	94	1.8
		Sore	32.0	95	0.0
7	Minggu 13/Juli/2025	Pagi	30.5	92	0.0
		Siang	30.8	84	0.1
		Sore	31.3	88	0.0
8	Senin 14/Juli/2025	Pagi	29.5	89	0.0
		Siang	32.7	95	1.8
		Sore	30.2	90	0.0
9	Selasa 15/Juli/2025	Pagi	30.5	89	0.0
		Siang	31.6	85	0.1
		Sore	29.1	91	0.0
10	Rabu 16/Juli/2025	Pagi	31.0	88	0.0
		Siang	33.2	95	0.0
		Sore	29.7	90	0.0
11	Kamis 17/Juli/2025	Pagi	30.5	87	0.1
		Siang	28.5	92	0.0
		Sore	33.4	80	0.0

Berdasarkan Tabel 4.9 yang memuat hasil pengamatan dari tanggal 7 Juli 2025 hingga 15 Juli 2025, terdapat pola menarik dalam data suhu, kelembapan kompos, dan kadar karbon monoksida (CO) dalam satuan PPM yang layak untuk diperhatikan. Suhu bervariasi antara 28,8°C pada hari Sabtu, 12 Juli pagi, hingga mencapai puncak 34,4°C pada hari Rabu, 9 Juli sore, dengan kecenderungan naik

dari pagi (rata-rata 29,8-30,6°C) ke siang (rata-rata 30,0-34,4°C) sebelum sedikit turun pada sore hari (rata-rata 29,1-34,4°C). Penurunan suhu yang konsisten pada 11 Juli (di bawah 30°C sepanjang hari) kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi cuaca, seperti hujan atau perlindungan tambahan yang memengaruhi lingkungan sekitar. Kelembapan kompos berkisar antara 80% pada hari Selasa, 8 Juli siang, hingga puncak 95% pada hari Sabtu, 12 Juli siang dan hari Senin, 14 Juli siang, dengan kecenderungan meningkat pada sore hari (rata-rata 88%) dibandingkan pagi (rata-rata 89%) dan siang (rata-rata 86%). Tingkat kelembapan yang selalu tinggi (85-95%) menunjukkan suasana yang mendukung proses pelapukan, meskipun kenaikan tajam pada akhir pekan mungkin terkait dengan hujan atau penguapan yang terhambat. Kadar CO sebagian besar stabil di 0,0 PPM, dengan sedikit peningkatan menjadi 0,1 PPM pada beberapa waktu siang dan sore, serta lonjakan mencolok ke 1,8 PPM pada hari Sabtu, 12 Juli siang dan hari Senin, 14 Juli siang, yang diduga berkaitan dengan kelembapan ekstrem (94-95%) yang memicu aktivitas mikroba tanpa oksigen sementara dalam proses kompos.

Secara menyeluruh, data menggambarkan pola harian yang jelas dipengaruhi oleh waktu pengukuran, dengan suhu dan kelembapan menyesuaikan diri terhadap perubahan siang dan malam, sementara kadar CO tetap rendah dengan kenaikan sesekali yang menunjukkan ventilasi baik atau pengelolaan kompos yang tepat. Hubungan antar variabel menunjukkan bahwa kelembapan tinggi tampaknya berperan dalam lonjakan CO, meskipun suhu tidak menunjukkan kaitan langsung yang kuat dengan kelembapan atau CO. Penurunan suhu pada akhir pekan (11-13 Juli) sejalan dengan kelembapan yang lebih tinggi, yang mungkin mencerminkan perubahan musiman atau tindakan manual seperti penyiraman. Data untuk 16 Juli 2025, saat ini pukul 16:42 WIB, belum tercatat dalam tabel, tetapi pengamatan lanjutan dapat memberikan pemahaman lebih lanjut tentang kestabilan proses kompos. Untuk kajian yang lebih mendalam, faktor tambahan seperti curah hujan, suhu udara luar, atau seberapa sering kompos diaduk dapat dipertimbangkan, karena semua itu berpotensi memengaruhi dinamika yang terlihat.

4.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang berfungsi sesuai dengan tujuan dan spesifikasinya. Proses pengujian mencakup beberapa aspek utama, yaitu keakuratan pembacaan sensor, respons kendali terhadap kecepatan motor, serta kemampuan sistem dalam menampilkan data secara nyata melalui website.

Sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor gas MiCS-5524, dan sensor kelembapan tanah diuji sebelumnya dengan membandingkan hasil bacaan terhadap alat ukur standar guna memastikan ketepatannya. Selain itu, sensor opto-coupler yang digunakan untuk membaca putaran motor (RPM) dikalibrasi dengan alat tachometer untuk memastikan ketelitian pengukuran. Proses pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor bekerja dengan tingkat akurasi yang dapat diterima dalam konteks pemantauan lingkungan proses pengomposan.

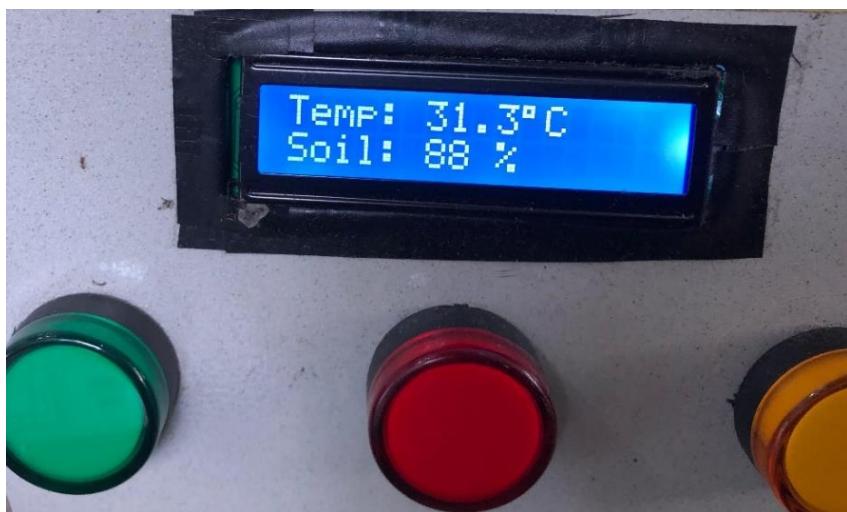


Gambar 4.16 Pengamatan dan Pengecekan alat

Pengujian juga dilakukan pada sistem pengendalian motor yang memanfaatkan modul dimmer AC berbasis PWM. Tegangan yang dihasilkan bervariasi antara 29 hingga 225 volt, dengan putaran motor antara 622 hingga 3051 RPM, tergantung pada nilai PWM yang diberikan. Sistem keamanan berupa limit

switch berhasil mencegah motor aktif apabila posisi intake terbuka, yang menunjukkan fitur keselamatan berfungsi dengan baik.

Selain itu, sistem diuji untuk mendeteksi kondisi anomali, seperti suhu di luar rentang optimal (25–38°C), kadar CO yang melebihi 1 ppm, dan kelembapan kompos yang terlalu tinggi. Ketika nilai parameter melewati ambang batas, antarmuka web menampilkan indikator. Dengan hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem telah mampu bekerja dan mendukung proses pengomposan berbasis larva *Black Soldier Fly* secara efektif.



Gambar 4.17 Pengamatan monitoring ruang komposter

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.7 Perbandingan Pengembangbiakan

Pada pengembangbiakan maggot dengan sistem monitoring dan pengembangbiakan maggot tanpa sistem monitoring dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10.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: Pendekslsian 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.

Tabel ini menyajikan perbandingan keadaan larva yang dipantau dan tidak dipantau. Dengan pengawasan, faktor lingkungan seperti suhu (24-30°C), kelembapan (80-95%), serta gas CO diatur dengan baik memakai alat ukur, membantu perkembangan larva hingga menjadi pupa dalam waktu satu pekan. Berat larva, yang dihitung dari 20 ekor, meningkat dari 16 gram menjadi 22 gram, dengan panjang mencapai sekitar 2,5cm - 3cm. Sementara itu, tanpa pengawasan, pengukuran dilakukan secara manual sehingga suhu dan kelembapan sering tidak stabil, meningkatkan risiko kekeringan dan paparan gas berbahaya. Akibatnya, pertumbuhan larva terhambat, berat hanya naik menjadi 20 gram, dan panjangnya

sekitar 2 cm - 2,5 cm. Data ini menegaskan pentingnya pemantauan untuk hasil terbaik dalam perawatan larva.



Gambar 4.18 Proses pemberian pakan larva BSF

4.7.1 Rata-rata ukuran tanpa monitoring

Data :

- $10 \text{ maggot} \times 2 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$
- $10 \text{ maggot} \times 2,5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$

Total ukuran: $20 + 25 = 45 \text{ cm}$

Jumlah maggot: 20 ekor

Rata-rata:

$$Rata-rata = \frac{\text{Total Ukuran}}{\text{Jumlah Maggot}} = \frac{45}{20} = 2,25 \text{ cm}$$

4.7.2 Rata-rata ukuran menggunakan monitoring

Data:

- $7 \text{ maggot} \times 2 \text{ cm} = 14 \text{ cm}$
- $7 \text{ maggot} \times 2,5 \text{ cm} = 17,5 \text{ cm}$
- $6 \text{ maggot} \times 3 \text{ cm} = 18 \text{ cm}$

Total = $14 + 17,5 + 18 = 49,5 \text{ cm}$

Jumlah maggot: 20 ekor

Rata-rata:

$$Rata - rata = \frac{\text{Total Ukuran}}{\text{Jumlah Maggot}} = \frac{49,5}{20} = 2,475 \text{ cm}$$

4.7.3 Rata-rata perbandingan

- Rata-rata tanpa monitoring (dari 4.6.1):
Rata-rata = 2,25 cm
- Rata-rata dengan monitoring (dari 4.6.2):
Rata-rata = 2,475 cm

Selisih rata-rata:

Selisih = Rata – rata dengan monitoring – Rata – rata tanpa monitoring

$$\text{Selisih} = 2,475\text{cm} - 2,25\text{cm} = 0,225 \text{ cm}$$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang rata-rata larva *Black Soldier Fly* (BSF) tanpa penggunaan sistem pemantauan mencapai 2,25 cm, sebagaimana tercantum dalam bagian 4.6.1. Sebaliknya, dengan penerapan teknologi pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT), panjang rata-rata larva meningkat menjadi 2,475 cm, seperti dijelaskan pada bagian 4.6.2. Perbedaan panjang rata-rata dihitung dengan mengurangi nilai rata-rata tanpa pemantauan dari nilai rata-rata dengan pemantauan, yakni 2,475 cm dikurangi 2,25 cm, sehingga diperoleh selisih sebesar 0,225 cm.

Kenaikan panjang sebesar 0,225 cm ini mengindikasikan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT memberikan kontribusi positif terhadap perkembangan larva BSF. Melalui pemantauan parameter lingkungan seperti suhu, tingkat kelembapan, dan kandungan karbon monoksida secara langsung, sistem ini menciptakan kondisi yang lebih terjaga dan mendukung pertumbuhan larva secara lebih baik dibandingkan tanpa adanya pemantauan.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan Teknologi IoT dengan Sensor Akurat untuk Pemantauan *Real-Time* Sistem IoT berbasis mikrokontroler ESP32 berhasil mengintegrasikan sensor DHT22 (suhu dan kelembapan, error 0,04%), MiCS-5524 (kadar CO, error 3,05%), dan sensor kelembapan tanah untuk memantau mesin pencacah dan reaktor BSF secara real-time. Data ditampilkan pada dashboard web dengan indikator visual, notifikasi otomatis saat parameter melebihi batas aman (suhu >38°C, kelembapan >95%, CO >1 ppm), serta laporan PDF. Sistem ini menjaga kondisi ideal (suhu 26-34°C, kelembapan 80-95%) untuk penguraian limbah organik oleh larva BSF, didukung koneksi Wi-Fi untuk akses data jarak jauh.
2. Peningkatan Efisiensi dan keamanan mesin Pencacah mesin pencacah dioptimalkan dengan AC *dimmer* berbasis PWM untuk mengatur motor AC 1 phase (tegangan 29-225 V, kecepatan 622-3051 RPM). Fitur keamanan *limit switch* CZ-7121 (tegangan NC 3,36 V) memastikan motor hanya aktif saat intake tertutup, meningkatkan keselamatan. Sensor *opto-coupler* untuk RPM memiliki akurasi tinggi (error 2,78%), meskipun penurunan tegangan pada PWM 100 (114 V) menunjukkan kebutuhan kalibrasi untuk menjaga performa pada kecepatan maksimum.
3. Efektivitas Sistem dengan dan tanpa *monitoring* untuk perkembangbiakan BSF *monitoring* IoT menciptakan lingkungan stabil (suhu 26-34°C, kelembapan 80-95%, CO <1 ppm), menghasilkan pertumbuhan larva BSF lebih baik: berat meningkat dari 16 g ke 22 g (20 ekor), panjang rata-rata 2,475 cm, dibandingkan tanpa monitoring (20 g, 2,25 cm). Selisih panjang 0,225 cm menunjukkan sistem IoT mempercepat siklus larva menjadi pupa dalam 2 minggu, mengurangi risiko dehidrasi dan paparan gas dibandingkan metode manual.

4. Desain Sistem Pemantauan Otomatis dengan Decision Tree Sistem otomatis menggunakan decision tree (entropy awal 0,971, information gain kelembapan 0,3668) untuk mendeteksi anomali (suhu >35°C, kelembapan >95%, CO >1 ppm). Dashboard web dengan fitur real-time, filter waktu, dan notifikasi otomatis mendukung analisis data yang efisien. Pengamatan (7-17 Juli 2025) menunjukkan lonjakan CO (1,8 ppm) terkait kelembapan tinggi (94-95%), menggaris bawahi pentingnya ventilasi untuk proses kompos.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem di masa depan, berikut adalah beberapa saran:

1. Optimalisasi Sensor MICS 5524 Menambahkan indikator waktu pemanasan pada sistem untuk memastikan pengukuran dilakukan setelah sensor stabil, sehingga mengurangi error pada pengukuran awal.
2. Pengembangan Sistem Mobile Mengembangkan aplikasi mobile berbasis Android atau iOS untuk mempermudah akses dan kontrol sistem oleh operator dari perangkat seluler.
3. Pengujian Skala Besar Melakukan pengujian sistem pada skala reaktor kompos yang lebih besar untuk memvalidasi keandalan dan skalabilitas sistem dalam kondisi operasional yang lebih kompleks.
4. Integrasi Sensor Tambahan Mempertimbangkan penambahan sensor lain, seperti sensor pH atau sensor berat, untuk memberikan data yang lebih lengkap tentang kondisi reaktor kompos.
5. Disarankan menggunakan Raspbeerry atau PLC dikarenakan untuk pemakaian esp32 tidak kuat menyala terus menerus .
6. Menambahkan *system control* otomatis ketika suhu , kelembapam kompos , gas co ppm melewati batas minimal atau maksimal .

Selain itu, penerapan saran-saran tersebut juga diharapkan dapat meningkatkan skalabilitas sistem, memungkinkan adaptasi yang lebih luas di berbagai skala pengelolaan limbah, dari rumah tangga hingga industri. Dengan memanfaatkan

teknologi seperti otomatisasi dan analitik data, sistem ini dapat memberikan solusi yang lebih terintegrasi, mendukung efisiensi sumber daya, dan meminimalkan dampak lingkungan, sehingga memperkuat komitmen terhadap praktik pengelolaan limbah organik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- ABU-DALBOUH, H. M. (2021). Application of decision tree algorithm for predicting students' performance via online learning during coronavirus pandemic. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(19), 4546–4556.
- Achmad, V. (2023). *Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Dan Pengendalian Banjir Pada Pintu Air Jagir Wonokromo Dengan Protokol Komunikasi Mqtt Wonokromo Dengan Protokol Komunikasi Mqtt*.
- Alkhafidh, F., & Ibrahim, I. (2024). Optimalisasi Pencahayaan Hunian Modern Melalui Integrasi Dimmer Cerdas Dengan Modul I-Light Dan Prosesor Crestron. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), 7261–7266. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10224>
- Aurelia Anggita Putri, & Mohamad Mirwan. (2023). Peningkatan Protein Black Soldier Fly (BSF) Untuk Pakan Ternak Sebagai Hasil Biokonversi Sampah Makanan. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(3), 496–507. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i3.1919>
- Debby Zintya Hayati. (2020). *Mesin Komposter Terintegrasi*. 6.
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2020). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- Fauziah, N., Munazilin, A., & Santoso, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1464–1473. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4343>
- Fitriansyah, A., & Suryanto, M. R. (2021). Teknologi Kontrol Lampu dan Kunci Rumah Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informatika Dan Komputer*, 7(1), 88–96. <https://doi.org/10.37012/jtik.v7i1.505>
- Hidayat, S., Hidayatullah, M., Andriani, T., & Jaya, A. (2025). *SISTEM KONTROL WAKTU DAN SUHU PADA MESIN PENGERING KEMIRI OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 BERBASIS ARDUINO UNO Time and Temperature Control System an Automatic Hazelnut Drying Machine Using*

- Arduino Uno Based DHT22 Sensor.* 04(01), 17–25.
<https://doi.org/10.51401/altron.v4i1.4381.g2539>
- Kurniawan, D., & Witanti, A. (2021). Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse. *Indonesian Journal of Information Systems*, 3(2), 116–127. <https://doi.org/10.24002/ijis.v3i2.4067>
- Kurniawan, M. A., Abidin, Z., Laksono, A. B., & Bachri, A. (2020). Detektor Karbondioksida (CO₂) Sebagai Pengaman Internal Mobil Berbasis Mikrokontroller. *Jurnal Teknika*, 12(2), 55. <https://doi.org/10.30736/jt.v13i2.478>
- Matus, V., Eso, E., Teli, S. R., Perez-Jimenez, R., & Zvanovec, S. (2020). Experimentally derived feasibility of optical camera communications under turbulence and fog conditions. *Sensors (Switzerland)*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/s20030757>
- Mitschek, M., & Esquivel, R. (2023). A Comparative Analysis of Decision Tree Classification Algorithms for Blended Learning Analytics in WEKA. *Celt: A Journal of Culture, English Language Teaching & Literature*, 23(2), 321–334. <https://doi.org/10.24167/celt.v22i2.4960>
- Muharni, S., Wardhani, U. C., & Sumarlini, S. (2023). Hubungan Lingkungan Kerja Dan Budaya Keselamatan Pasien Dengan Missed Nursing Care Di Rumah Sakit X. *Jurnal Keperawatan Abdurrah*, 7(1), 29–41. <https://doi.org/10.36341/jka.v7i1.3556>
- Priyambada, I. B., Sumiyati, S., Puspita, A. S., & Wirawan, R. A. (2021). Optimization of organic waste processing using Black Soldier Fly larvae Case study: Diponegoro university. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 896(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012017>
- Putra, D. F., Almerian, I., Al-Qossam, I., Munthe, A. D., Barizki, G. Z., Isvalana, N., Mirnawati, W., Aidil, J., Zuhra, A., Rahayu, S., Harahap, P. D., Farisi, W., Gheitsa, T. N. G., Aiza, N., Alfani, F. Y., Harahap, R. R. S., Jalil, Z., & Feriyanto, R. (2022). Transfer Teknologi Pakan Organik “Maggot” Sebagai Upaya Peningkatan Produktivitas Ikan Air Tawar Masyarakat Gampong Dham Pulo, Kecamatan Ingin Jaya, Aceh Besar. *Buletin Pengabdian*, 2(1).

- Putri, M., Syahruddin, M., Medan, P. N. (2023). *Pengaturan Waktu Dan Light Dimmer Berbasis*. 2(2), 72–778.
- Refalista, A., Irawati, R., Irawan, I., & Wisjhnuadji, T. W. (2023). Pengunaan Sensor MQ-2,4,7,135 dan ESP32 Untuk Air Pollution Monitoring Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ticom: Technology of Information and Communication*, 12(1), 31–36. <https://doi.org/10.70309/ticom.v12i1.104>
- Setian, G. A., Sumaryo, S., & ... (2020). Desain Dan Implemetasi Sistem Kendali Motor Dc Pada Robot Promotor Berbasis Arduino. *EProceedings* ..., 6(3), 10036–10043.
<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/11252%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/11252/11117>
- Singh, A., Marathe, D., & Kumari, K. (2022). Black Soldier Fly Hermetia illucens (L.): Ideal Environmental Conditions and Rearing Strategies. *Indian Journal of Entomology*, 1–11. <https://doi.org/10.55446/IJE.2022.166>
- Syamsudin, M. S., Riza, L. S., & Rasim. (2023). Design and implementation of smart power meters with IoT as smart building monitoring. *Scientific Studies*.
- Thobroni, M. T., Safitri, H. K., & Fitri, F. (2024). Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Dengan Metode Hysteris Untuk Proses Pembuatan Pupuk Kompos. *Mutiara: Multidisciplinary Scientific Journal*, 2(5), 270–281.
<https://doi.org/10.57185/mutiara.v2i5.183>

LAMPIRAN
BIODATA MAHASISWA

Nama : Rabbani Rifqi Fannani
NRP : 0921040019
Program Studi : D4 Teknik Otomasi
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat Asal : Jl.Menjangan IV.A/R.8/8, Cikarang Pusat
Kab.Bekasi
Nomor Telepon : 082299089900
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Email : rabbani.oneeight@gmail.com
Tempat, Tanggal Lahir : Bekasi , 18 Maret 2003
Nama Orang Tua/ Wali : Luckman Setiawan
Alamat Orang Tua / Wali : Jl.Kol Sutomo 3, Jakarta Timur
Telepon Orang Tua / Wali : 087780805825
Riwayat Pendidikan



PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2021-Sekarang	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	Teknik Otomasi
SMA	2018-2021	SMAN 1 Cikarang Timur	MIPA
SMP	2015-2018	SMPIT AL-ICHWAN	-
SD	2009-2015	SDIT PLUS CORDOVA	-

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)