



***Smart Garden : Monitoring Dan Kontrol
Perkebunan Sawi Berbasis IOT Menggunakan
TinyML***

Tugas Akhir

Oleh:

Gery Bulus Parsaulian Tampubolon (4212201013)

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "*Smart Garden : Monitoring Dan Kontrol Perkebunan Sawi Berbasis IOT Menggunakan TinyML*" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Batam, 19 Januari 2026



Gery Bulus Parsaulian Tampubolon
NIM: 4212201013

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk digunakan sebagai rencana kerja pada pelaksanaan Tugas Akhir

Disusun oleh:
Gery Bulus Parsaulian Tampubolon (4212201013)

Tanggal Seminar: 19 Januari, 2026

Disetujui oleh :



1. Fadli Firdaus, M.pd
NIK: 122271



1. Adlian Jefiza, S.Pd., M.T
NIK: 119220



2. M. Naufal Airlangga D, S.Pd.,
M.P.H
NIK: 122281

[*Smart Garden : Monitoring Dan Kontrol* Perkebunan Sawi Berbasis *IOT* Menggunakan *TinyML*]

Abstrak

Pertanian *modern* menghadapi tantangan dalam efisiensi penggunaan air dan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Penelitian ini mengembangkan sistem *Smart Garden* untuk *monitoring* kelembaban tanah pada kebun sayur sawi menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi dengan *Tiny Machine Learning (TinyML)*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor *DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor *soil moisture* untuk mendeteksi kelembaban tanah. Data yang dikumpulkan dikirim ke *platform Antares* secara *real-time*, serta dianalisis menggunakan model *TinyML* yang ditanam langsung pada perangkat untuk memprediksi tingkat kelembaban tanah dan mengontrol pompa air secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan sensor *DHT22* memiliki akurasi 97% untuk suhu dan 98% untuk kelembaban udara dengan presisi di atas 98%. Model *ANN* berbasis *TinyML* mencapai akurasi 100% dalam klasifikasi kebutuhan penyiraman dengan delay pengiriman data ke *platform IoT* rata-rata 2,4 detik. Dengan integrasi *TinyML*, sistem dapat memproses data dan mengambil keputusan penyiraman secara langsung pada perangkat tanpa harus terhubung ke internet, sehingga lebih cepat merespons dan menghemat penggunaan daya listrik. Teknologi ini memberikan solusi cerdas yang dapat diterapkan pada skala pertanian kecil hingga menengah, khususnya dalam budidaya tanaman hortikultura seperti sawi.

Kata kunci: Sawi, *Smart Garden*, *Internet of Things*, Kelembaban Tanah, *TinyML*

[Smart Garden: Monitoring And Controlling Soil Moisture in Mustard Vegetable Garden Based on IOT Using TinyML]

Abstract

Modern agriculture faces challenges in water use efficiency and real-time environmental monitoring. This study developed a Smart Garden system for monitoring soil moisture in mustard vegetable gardens using Internet of Things (IoT) technology integrated with Tiny Machine Learning (TinyML). This system uses an ESP32 microcontroller, a DHT22 sensor to measure air temperature and humidity, and a soil moisture sensor to detect soil moisture. The collected data is sent to the Antares platform in real-time and analyzed using a TinyML model embedded directly in the device to predict soil moisture levels and automatically control the water pump. Test results show that the DHT22 sensor has 97% accuracy for temperature and 98% for air humidity with a precision of over 98%. The TinyML-based ANN model achieves 100% accuracy in classifying watering needs with an average data delivery delay to the IoT platform of 2.4 seconds. With TinyML integration, the system can process data and make watering decisions directly on the device without having to connect to the internet, thus responding faster and saving electricity usage. This technology provides a smart solution that can be applied on a small to medium scale in agriculture, especially in horticultural crops such as mustard greens.

Keywords: Mustard, Smart Garden, Internet of Things, Soil Moisture, TinyML

Kata Pengantar

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul *“Smart Garden: Monitoring dan Kontrol Perkebunan Sawi Berbasis IoT Menggunakan TinyML”* dapat diselesaikan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S.Tr.T pada Program Studi Teknik Mekatronika, Jurusan Teknik Elektro, PoLiteknik Negeri Batam.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, khususnya kepada kedua orang tua dan keluarga, para dosen pembimbing dan pengajar, serta teman-teman yang telah membantu.

1. Bapak Adlian Jefiza, S.Pd., M.T., sebagai dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan motivasinya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Fadli Firdaus, M.pd sebagai dosen penguji 1, atas saran, masukan, dan koreksi yang membangun.
3. Bapak M. Naufal Airlangga D, S.Pd.,M.P.H sebagai dosen penguji 2, atas saran, masukan, dan koreksi yang diberikan.
4. Orang tua, keluarga, dan teman-teman atas dukungan moral, material, dan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena adanya keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan senang hati. Penulis berharap, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Batam, 19 Januari 2026



Gery Bulus P Tampubolon

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	Error! Bookmark not defined.
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	x
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan.....	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	4
2.1. Penelitian Terkait.....	4
2.2. Tanaman Sawi.....	9
2.3. <i>Internet Of Things (IOT)</i>	10
2.4. <i>Antares</i>	10
2.5. <i>ANN (Artificial Neural Network)</i>	11
2.6. <i>TinyML</i>	11
2.7. Mikrokontroler	12
2.8. <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	12
2.9. <i>Soil Moisture Sensor</i>	13
2.10. Sensor <i>DHT22</i>	14
2.11. Pompa Air	14
2.12. <i>Relay</i>	15

Bab 3. Metodologi Penelitian	16
3.1. Perancangan Penelitian.....	16
3.1.2. Perancangan Sistem	17
3.1.3. Perancangan Elektrikal	18
3.1.4. Perancangan Sistem Mekanikal	21
3.1.5. Perancangan Program	23
3.2. Alat dan Bahan.....	25
3.3. Pengumpulan Dataset	26
3.4. Pra-pemrosesan Data	26
3.5. Perancangan Model ANN	26
3.5.1. Konversi Model.....	27
3.5.2. Intergrasi Model	27
3.7. Pengujian	27
3.7.1. Pengujian Mekanik	27
3.7.2. Pengujian Elektrikal	27
3.7.3. Pengujian Sensor <i>DHT22</i>	28
3.7.4. Pengujian Sensor <i>Soil Moisture</i>	28
3.7.5. Pengujian Pompa Air	28
3.7.6. Pengujian <i>GUI (Graphical User Interface)</i>	28
3.7.7. Pengujian <i>Internet of Things</i>	29
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan	30
4.1. Hasil Pengujian Mekanik	30
4.2. Hasil Pengujian Elektrikal	31
4.3. Hasil Pengujian Sensor	32
4.3.1. Hasil Pengujian Sensor <i>DHT22</i>	32
4.3.2. Hasil Pengujian Sensor <i>Soil Moisture</i>	36
4.3.3. Hasil Pengujian Pompa Air	37
4.4. Hasil Pengujian <i>Interface</i>	37
4.4.1. Hasil Pengujian Pada <i>Menu Login</i>	38

4.4.2. Hasil Pengujian Pada <i>Menu Monitoring</i>	39
4.4.3. Hasil Pengujian Riwayat Data	40
4.5. Hasil Pengujian <i>Internet of Things</i>	42
4.6. Hasil Dataset	43
4.6.1. Dataset Mentah	43
4.6.2. Hasil pembuatan label dataset	44
4.7. Hasil Pelatihan Model <i>ANN</i>	44
4.7.1. Hasil Evaluasi <i>Confusion Matrix</i>	45
4.7.2. Hasil Evaluasi <i>Precision, Recall, dan F1-Score</i>	46
4.7.3. Konversi Model	46
4.7.4. Hasil Intergrasi <i>TinyML</i>	46
4.7. Hasil Pengujian Model	47
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	49
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	49
Daftar Pustaka	51
Biodata	53
Lampiran	54

Daftar Gambar

Gambar 1. Tanaman Sawi	10
Gambar 2. <i>Antares</i>	10
Gambar 3. <i>ESP32</i>	12
Gambar 4. LCD 16x2	12
Gambar 5. <i>Soil Moisture</i>	13
Gambar 6. <i>DHT22</i>	14
Gambar 7. Pompa Air	14
Gambar 8. <i>Relay</i>	15
Gambar 9. <i>Flowchart</i> Perancangan Penelitian	16
Gambar 10. Diagram Blok Sistem	17
Gambar 11. <i>Flowchart</i> Perancangan Elektrikal	18
Gambar 12. Elektrikal Sistem	19
Gambar 13. <i>Flowchart</i> Perancangan Mekanikal	21
Gambar 14. Desain Box	22
Gambar 15. <i>Flowchart</i> Perancangan Program	23
Gambar 16. Desain <i>Menu Login</i>	24
Gambar 17. Desain <i>Menu Monitoring</i>	24
Gambar 18. Hasil Pengujian Mekanik	30
Gambar 19. Hasil Pengujian Elektrikal	31
Gambar 20. Hasil Tampilan <i>Menu login</i>	38
Gambar 21. Hasil pengujian <i>interface</i>	39
Gambar 22. Hasil Pengujian Riwayat Data	41
Gambar 23. Hasil <i>Confusion Matrix</i>	45
Gambar 24. Intergrasi <i>TinyML</i>	47

Daftar Tabel

Tabel 1. Penelitian Terkait	4
Tabel 2. Keterangan Komponen	19
Tabel 3. Estimasi biaya	25
Tabel 4 Hasil Pengujian Mekanik.....	31
Tabel 5. Hasil Pengujian Suhu Udara.....	33
Tabel 6. Hasil Perhitungan Presisi Suhu	34
Tabel 7. Hasil Pengujian Kelembaban Udara	35
Tabel 8. Hasil Perhitungan Presisi Kelembaban Udara	35
Tabel 9. Hasil Pengujian <i>Soil Moisture</i>	36
Tabel 10. Hasil Pengujian Pompa Air.....	37
Tabel 11. Komponen Antarmuka <i>Menu Login</i>	38
Tabel 12. Komponen Antarmuka <i>Menu Monitoring</i>	40
Tabel 13. Komponen Antarmuka Riwayat Data.....	41
Tabel 14. Hasil Pengujian <i>IOT</i>	42
Tabel 15. Hasil dataset.....	43
Tabel 16. Hasil Label dataset	44
Tabel 17. Hasil Evaluasi Model	46
Tabel 18. Hasil Pengujian Model	47

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sayuran merupakan salah satu bagian penting dalam menu makanan sehat. Tidak mengherankan jika permintaan akan sayuran terus meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap Kesehatan. Di Indonesia tanaman sayuran seperti sawi merupakan salah satu tanaman yang menjadi favorit untuk ditanam bagi para petani karena harganya yang terjangkau. Oleh sebab itu maka diperlukan memanfaatkan teknologi dengan sepenuhnya, untuk meningkatkan efisien dan tenaga kerja manusia. Perawatan tanaman tentunya harus secara intensif dan berskala agar tanaman terlihat lebih sehat dan segar, Langkah yang harus dilakukan agar tanaman segar dan sehat dengan melakukan penyiraman yang teratur. Dalam budidaya sawi hijau, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan, yaitu pembenihan, pengolahan tanah, penyiraman, pengendalian hama dan penyakit, pemupukan, dan panen. Proses budidaya sawi memiliki kemiripan dengan budidaya sayuran lainnya [1].

Sawi memiliki kandungan nutrisinya yang melimpah, termasuk Vitamin K, A, C, E, asam folat, dan berbagai mineral dalam jumlah signifikan. Tanaman ini memiliki daya adaptasi yang tinggi, mampu berkembang dengan baik di lingkungan bersuhu panas maupun dingin, sehingga cocok dibudidayakan baik di dataran rendah maupun dataran tinggi. Berdasarkan observasi di lokasi implementasi alat menurut referensi[2]. Sawi dapat tumbuh pada rentang suhu 20-35°C, dan tumbuh secara maksimal dengan rentang kelembaban tanah 50% - 70%. Untuk menjaga kelembaban tanah tetap optimal, sistem ini dilengkapi dengan pompa air otomatis yang akan menyiram tanaman secara berkala berdasarkan data sensor kelembaban tanah yang terintegrasi dalam sistem.

Proses *monitoring* dan kontrol secara konvensional telah menjadi tidak efisien karena membutuhkan banyak waktu dan tenaga. Karena itu, diperlukan inovasi untuk dapat memantau suhu dan kelembaban udara serta kelembaban tanah secara terus-menerus. Untuk mengefisienkan pengumpulan data-data tersebut, dibutuhkan perangkat yang mampu menyediakan informasi kondisi tanah secara berkelanjutan melalui internet. Pemecahan masalah ini adalah dengan mengimplementasikan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat mendeteksi suhu dan kelembaban udara serta kelembaban tanah secara berkesinambungan untuk memantau kondisi lahan pertanian dan perkebunan[3].

Pendekatan *IoT* ini menjadi relevan karena parameter suhu dan kelembaban sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, sehingga pemantauan berkelanjutan melalui sistem terhubung internet menjadi solusi yang jauh lebih efisien. Diperlukan sebuah sistem yang dapat otomatis melakukan penyiraman, dan pengaturan suhu dengan menerapkan *machine learning* kecil yang dalam hal ini

menggunakan *TinyML*, serta memberikan informasi berbasis *Internet of Things (IoT)* [4].

Berdasarkan hasil dari para penelitian terdahulu, penelitian ini dilandaskan pada serangkaian studi penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu pertama Rindy Saputra(2023). Hasil penelitian menunjukkan Sistem *Monitoring* dan Penyiraman Tanaman Sawi Daging Berbasis *Internet Of Things* [2]. Selanjutnya penelitian dari Alvira Fauziah Rahmah (2023) *Monitoring Dan Kontrol Tanaman Pada Greenhouse Berbasis Android Menggunakan Fuzzy Sugeno*[5]. Dan yang terakhir penelitian dari Muh. Wahyu Riza Syawal(2022) pengendalian hama pada tanaman terong dapat dilakukan secara *Internet Of Thing* [6].

Berdasarkan hasil para peneliti terdahulu, saya memperkuat landasan pengetahuan dengan melakukan penelitian lebih lanjut. Penelitian ini akan berfokus pada *monitoring* dan kontrol kelembaban tanah pada tanaman sawi untuk para petani. Sehingga peneliti rancang dalam mengimplementasikan sesuai kondisi dan peran petani tersebut sehingga memberikan fleksibilitas terhadap pengoprasian tersebut. Maka saya membawa inovasi baru yang saya harapkan dapat memberikan dampak positif. Penelitian ini saya beri judul "*Smart Garden : Monitoring Perkebunan Sawi Berbasis IOT Menggunakan TinyML*". Melalui penelitian ini, saya berharap dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam menghadapi tantangan pada industri

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara meningkatkan efisiensi dalam *monitoring* dan kontrol tanaman sawi yang selama ini dilakukan secara konvensional?
2. Bagaimana mengembangkan sistem otomatis berbasis *IoT* untuk memantau suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah pada budidaya sawi?
3. Bagaimana menerapkan teknologi *TinyML* dalam sistem penyiraman otomatis untuk tanaman sawi?

1.3. Tujuan

1. Mengembangkan sistem *monitoring* berbasis *IoT* untuk memantau suhu dan kelembaban pada tanaman sawi secara berkelanjutan.
2. Merancang sistem otomatis yang dapat melakukan penyiraman, dan pengaturan suhu menggunakan *TinyML*.
3. Mengolah data kelembaban tanah dengan model *machine learning* ringan (*TinyML*) langsung pada mikrokontroler.

1.4. Manfaat

1. Memudahkan petani dalam memantau kondisi tanaman sawi secara *real-time*.
2. Mengoptimalkan pertumbuhan tanaman sawi melalui pengaturan suhu dan kelembaban yang tepat.
3. Menghemat waktu dan tenaga dalam proses budidaya sawi.
4. Meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman sawi.
5. Memberikan informasi kondisi tanaman yang dapat diakses melalui internet.

1.5. Batasan

1. Parameter yang dipantau terbatas pada suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah dan pompa air
2. Sistem *monitoring* dirancang untuk kondisi budidaya sawi di Indonesia.
3. Cakupan geografis terbatas pada kebun sayur skala kecil
4. Sistem tidak mempertimbangkan parameter cuaca ekstrem seperti angin kencang, hujan lebat, atau kondisi cuaca buruk lainnya
5. Jenis tanah yang digunakan dalam penelitian dibatasi pada tanah tertentu.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terkait

Tabel 1. Penelitian Terkait

No	Tahun	Penulis	Jurnal	Metode	Kelemahan
1	2023	Rindy Saputra, Muhammad Ulfah	<i>Sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Sawi Daging Berbasis Internet Of Things (IoT)</i>	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	Padahal sistem otomatisasi seperti ini sangat cocok jika ditambahkan pengambilan keputusan berbasis fuzzy untuk menyiram secara cerdas berdasarkan banyak kondisi.
2	2024	Erick Lumbantoruan J	<i>Monitoring dan Kontrol Tanaman Cabai berbasis Internet of Things dengan Menggunakan</i>	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	Sistem hanya menggunakan pengambilan keputusan berbasis

			Aplikasi MIT App Inventor		batas nilai tetap (threshold), bukan metode adaptif seperti fuzzy logic atau machine learning.
3	2025	Ayu Syahfitri	<i>Internet of Things (IoT)</i> , Sejarah, Teknologi, dan Penerapan	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	Jurnal ini lebih bersifat edukatif dan pengenalan umum, kurang spesifik pada satu bidang penerapan <i>IoT</i> (misalnya pertanian, industri, kesehatan, dll).
4	2020	Dikky Auliya Saputra, Amarudin, S.Kom, M.Eng.,	RANCANG BANGUN ALAT PEMBERI PAKAN IKAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER	Perancangan Sistem dan Pengujian Prototipe.	Tidak ada pengujian lapangan jangka panjang

		Novia Utami, S.T., MM.,Risky Setiawan			
5	2022	Tri Jaya Maghuna	Perancangan Alat Ukur Kelembaban Tanah Menggunakan Capacitive Soil Moisture Sensor Berbasis Android	Perancang an Alat Berbasis Android	Kalibrasi dilakukan hanya pada satu jenis tanah (pasir hitam), padahal sensor bisa memberika n hasil berbeda tergantung karakteristi k tanah.
6	2022	Yudha Didit Ardianata Putra	Pengaplikasian Sensor <i>DHT22</i> Berbasis Arduino Sebagai Penetas Telur Ayam Kampung	Pengaplik asian Sensor <i>DHT22</i> Menggun kan Arduino	Sistem kontrol yang digunakan adalah <i>on/off</i> <i>berbasis</i> <i>relay</i> . Tidak dibandingk an dengan metode lain seperti kontrol PID atau fuzzy.
7	2020	Tri Utari, Ir. Porman	SISTEM KONTROL PENGGERAK ATAP	<i>Artificial</i> <i>Neural</i>	Sistem belum

		Pangaribuan, M.T., Rizki Ardianto Priramadhi S.T.,M.T.	OTOMATIS PADA BUDIDAYA TANAMAN TOMAT BERBASIS <i>ARTIFICIAL NEURAL NETWORK</i>	<i>Network(ANN)</i> .	dapat dikontrol atau dipantau dari jarak jauh melalui internet (misal: Firebase/MQTT/Dashboard).
8	2022	Muh. Wahyu Riza Syawal, Achmad, Asep Mulyana	Implementasi Pengendalian Hama Dan <i>Monitoring</i> Pada Tanaman Terong Berbasis <i>Internet Of Things</i>	Perancangan Alat Berbasis <i>Antares</i>	Durasi pengujian hanya dilakukan selama 8–11 hari, sehingga belum cukup untuk membuktikan keandalan jangka panjang alat di kondisi lapangan yang beragam.

9	2020	Praisye E. A. Kaunang , Sherwin R. U. A. Sompie , Arie S. M. Lumenta	Implementasi <i>Google Internet of Things Core</i> pada <i>Monitoring Volume</i> Ban Angin Mobil	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	Jurnal tidak menyertakan pengujian pengalaman pengguna atau uji coba dalam jangka waktu panjang terhadap pengguna (misalnya pengemudi atau mekanik).
10	2022	Nikolaos Schizas, Aristeidis Karras, Christos Karras and Spyros Sioutas	<i>TinyML for Ultra-Low Power AI and Large Scale IoT Deployments: A Systematic Review</i>	<i>Systematic Review</i>	Artikel ini hanya mereview <i>Literatur</i> , sehingga tidak melakukan <i>benchmark</i> , pengujian sistem, atau validasi performa <i>TinyML</i> dalam kasus nyata.

Berdasarkan hasil kajian terhadap sepuluh jurnal yang membahas sistem *monitoring* dan kontrol berbasis *Internet of Things (IoT)*, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berfokus pada penerapan *IoT* dalam bidang pertanian dan otomasi alat, seperti penyiraman tanaman. Metode yang paling umum digunakan adalah *IoT* dengan integrasi sensor dan mikrokontroler seperti *ESP32*.

Dari sisi kelemahan, sebagian besar sistem masih menggunakan pendekatan sederhana berupa logika *threshold* atau kontrol *on/off* dalam pengambilan keputusan, tanpa menerapkan metode kecerdasan buatan seperti logika *fuzzy* atau *TinyML* yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan. Kedua, hampir semua penelitian tidak melakukan pengujian lapangan jangka panjang dalam kondisi nyata, sehingga keandalan sistem dalam waktu lama dan di lingkungan yang beragam belum dapat dipastikan. Ketiga, dari seluruh jurnal, hanya satu yang membahas *TinyML* dan itu pun sebatas tinjauan *Literatur* tanpa implementasi nyata, menunjukkan bahwa penerapan *TinyML* dalam sistem pertanian pintar masih sangat terbatas.

Dengan demikian, masih terdapat ruang pengembangan untuk membuat sistem yang lebih cerdas, responsif, dan andal. Penelitian tentang *Smart Garden: Monitoring* dan Kontrol Perkebunan Sawi berbasis *IoT* menggunakan *TinyML* memiliki potensi besar untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menggabungkan kemampuan *monitoring* jarak jauh, serta mengembangkan sistem pertanian pintar yang lebih cerdas, adaptif, dan aplikatif, khususnya untuk budidaya tanaman sawi di Indonesia.

2.2. Tanaman Sawi

Sawi hijau (*Brassica juncea L*), merupakan sayuran berdaun dari keluarga *Cruciferae* yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Tanaman ini tidak hanya kaya serat dan nutrisi, tetapi juga dikenal memiliki berbagai khasiat medisinal. Selain fungsi utamanya sebagai bahan pangan, dan sawi hijau juga bermanfaat untuk terapi berbagai kondisi Kesehatan.

Mempertimbangkan potensi besar dan multifungsi tanaman ini, pengembangan budidaya sawi hijau sebaiknya beralih dari konvensional menuju implementasi teknologi *modern*. Inovasi dalam Teknik penanaman diperlukan untuk mengoptimalkan produksi dan kualitas tanaman yang memiliki beragam manfaat lain. Untuk penelitian tugas akhir ini peneliti melakukan penelitian di kebun sawi Kavling Seroja Dapur 12



Gambar 1. Tanaman Sawi

2.3. Internet Of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) adalah teknologi *modern* yang menghubungkan berbagai perangkat di seluruh dunia melalui internet untuk pertukaran data. Teknologi ini menggunakan sensor dan perangkat lunak komunikasi untuk mengendalikan, menghubungkan, dan mentransfer data antar perangkat melalui jaringan internet, yang memungkinkan operasi tanpa pengawasan manusia langsung. Konsep mesin-ke-mesin menjelaskan bahwa *IoT* merupakan teknologi yang menggabungkan berbagai perangkat untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan, dengan cara kerja yang melibatkan koneksi dan komunikasi otomatis antar perangkat, serta tujuan penelitian yang bersifat eksploratif untuk memahami keuntungannya. Manfaat *IoT* termasuk kemampuan yang mendukung aktivitas sehari-hari manusia melalui otomatisasi dan efisiensi. Implementasi *IoT* dapat ditemukan dalam berbagai aspek kehidupan seperti rumah pintar, layanan kesehatan, dan sistem transportasi. Dalam proyek ini, saya menggunakan *IoT* sebagai sistem *monitoring* kelembaban tanah pada kebun sayur sawi. Sistem ini dikembangkan dalam bentuk *smart garden*, yaitu sistem pertanian cerdas yang memanfaatkan sensor tanah dan udara untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time* [1].

2.4. Antares



Gambar 2. Antares

Antares adalah platform *IoT* horizontal PT. Telekomunikasi di Indonesia. *Antares* menawarkan empat pilar utama: Platform *IoT*, Solusi *IoT*, Konektivitas *IoT*, dan Perangkat. *Antares* juga menawarkan *database cloud* untuk menyimpan dan menampilkan data. *Antares* juga telah mendukung beberapa perangkat contohnya *Arduino*, *ESP32*, *Android*, *Raspberry Pi*, dan lainnya. Dalam *Smart Garden: Monitoring* dan Kontrol Perkebunan Sawi Berbasis *IoT* Menggunakan *TinyML*, *Antares* digunakan untuk menyimpan dan mengelola data sensor (kelembaban tanah, suhu udara), menyediakan *API* dan *dashboard* pemantauan *real-time*, serta mengirim perintah ke perangkat seperti pompa air [2], [3], [4], [5].

2.5. ANN (Artificial Neural Network)

Artificial Neural Network (ANN) merupakan pendekatan pengolahan informasi yang terinspirasi oleh cara kerja sistem saraf biologis manusia, khususnya otak dalam mengenali pola dan belajar dari pengalaman. Dalam konteks *Smart Garden* untuk *monitoring* kelembaban tanah pada kebun sayur sawi, metode ANN digunakan untuk memprediksi kondisi kelembaban tanah berdasarkan data sensor seperti suhu udara (*DHT22*) dan sensor kelembaban tanah.

Untuk memungkinkan implementasi sistem kecerdasan ini langsung di perangkat *IoT* seperti *ESP32*, digunakan pendekatan *TinyML* (*Tiny Machine Learning*), yaitu penerapan model *machine learning* yang ringan dan dapat berjalan langsung pada mikrokontroler. Dengan menggabungkan ANN dan *TinyML*, perangkat dapat melakukan prediksi atau klasifikasi secara lokal tanpa koneksi internet, seperti memutuskan untuk mengaktifkan pompa air secara otomatis saat tanah terdeteksi kering.

2.6. TinyML

TinyML merupakan penerapan algoritma *machine learning* (ML) dalam perangkat *edge* berdaya rendah seperti mikrokontroler *ESP32* atau *Arduino*. *TinyML* memungkinkan pemrosesan data secara lokal tanpa perlu bergantung pada *server* atau *cloud*, sehingga sistem menjadi lebih cepat, hemat daya, dan cocok digunakan pada perangkat *IoT* di lapangan. Dalam konteks *Smart Garden: Monitoring* dan Kontrol Perkebunan Sawi berbasis *IoT* menggunakan *TinyML*, teknologi ini dimanfaatkan untuk melakukan klasifikasi atau prediksi terhadap kebutuhan penyiraman tanaman sawi secara otomatis. Data yang diperoleh dari sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban lingkungan akan diproses langsung oleh model *Machine Learning* yang telah ditanamkan pada mikrokontroler. Hasil klasifikasi ini akan menentukan apakah pompa air perlu diaktifkan atau tidak, tanpa harus mengirimkan data ke *cloud* terlebih dahulu [6].

Model ANN yang telah dilatih sebelumnya akan ditanamkan dalam mikrokontroler menggunakan *framework* seperti *TensorFlow Lite* for

Microcontrollers, sehingga sistem menjadi adaptif, hemat daya, dan efisien untuk pemantauan kelembaban tanah secara *real-time* di kebun sayur sawi [7].

2.7. Mikrokontroler

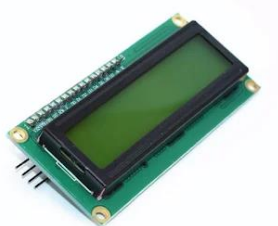


Gambar 3. ESP32

ESP32 DevKit v1 adalah modul WiFi yang dibuat oleh DOIT untuk mengevaluasi modul ESP-WROOM-32. Mikrokontroler ini merupakan komponen utama dalam sistem *Smart Garden: Monitoring* dan Kontrol Perkebunan Sawi berbasis *IoT* menggunakan *TinyML*. ESP32 mendukung konektivitas *WiFi*, *Bluetooth*, dan *Ethernet* dalam satu *chip*, sehingga sangat cocok untuk membangun sistem *Internet of Things (IoT)* yang dapat memantau dan mengontrol kelembaban tanah secara *real-time*.

Keunggulan utama ESP32 adalah kemampuannya untuk memproses data secara lokal dengan konsumsi daya rendah. Dalam proyek ini, ESP32 tidak hanya digunakan untuk membaca data dari sensor kelembaban tanah, tetapi juga menjalankan model *TinyML* untuk mengambil keputusan secara otomatis terkait penyiraman. Dengan demikian, sistem menjadi lebih cerdas, hemat daya, dan efisien tanpa perlu terus-menerus terhubung ke *server* atau *cloud* [8].

2.8. Liquid Crystal Display (LCD)



Gambar 4. LCD 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu komponen elektronik yang digunakan sebagai media tampilan data, baik berupa karakter, huruf, maupun

grafik. LCD merupakan jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi *CMOS logic*, yang bekerja tanpa menghasilkan cahaya sendiri, melainkan memantulkan cahaya di sekitarnya (*front-lit*) atau mentransmisikan cahaya dari belakang layar (*back-lit*). Dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti pada proyek *Smart Garden: Monitoring* dan Kontrol Perkebunan Sawi berbasis *IoT* menggunakan *TinyML*, LCD berfungsi sebagai output utama.

LCD digunakan untuk menampilkan hasil *monitoring* secara *real-time*, seperti nilai kelembaban tanah, suhu udara, dan status pompa air. Pada proyek ini digunakan jenis LCD 16x2, yaitu layar dengan tampilan 2 baris dan 16 kolom, serta memiliki 16 pin konektor. Tampilan ini mempermudah pengguna dalam memantau kondisi tanaman secara langsung di lokasi tanpa perlu membuka aplikasi atau *dashboard*. Dengan demikian, penggunaan LCD mendukung kemudahan akses informasi dan efektivitas sistem *monitoring* di lapangan [9].

2.9. Soil Moisture Sensor



Gambar 5. Soil Moisture

Sensor kelembaban (*Soil Moisture*) merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban di dalam tanah. Meskipun desainnya sederhana, sensor ini sangat cocok untuk digunakan dalam pemantauan taman kota atau mengukur kadar air pada tanaman di pekarangan. Sensor ini bekerja dengan menggunakan dua buah *probe* yang dialiri arus listrik melalui tanah, kemudian mengukur resistansi yang muncul. Semakin tinggi kadar air dalam tanah, maka tanah akan semakin mudah menghantarkan listrik (resistansi rendah). Sebaliknya, tanah yang kering akan memiliki resistansi yang tinggi karena sulit menghantarkan arus listrik. Alat ini sangat bermanfaat untuk memberikan informasi mengenai tingkat kelembaban tanah dan membantu perawatan tanaman dalam penelitian ini [10].

2.10. Sensor *DHT22*



Gambar 6. *DHT22*

DHT22 merupakan salah satu sensor suhu dan kelembaban yang juga dikenal sebagai sensor AM2302. Dalam proyek ini, sensor *DHT22* digunakan untuk memantau suhu udara dan kelembaban lingkungan secara *real-time*. Data dari *DHT22* ini menjadi salah satu input penting bagi model *machine learning* yang ditanamkan dalam mikrokontroler *ESP32* untuk memprediksi kebutuhan penyiraman tanaman sawi. Akurasi tinggi dari *DHT22* mendukung sistem dalam mengambil keputusan yang lebih tepat terkait kontrol pompa air, terutama dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah seperti saat cuaca panas atau lembap [11].

2.11. Pompa Air



Gambar 7. Pompa Air

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi atau untuk menaikkan tekanan cairan dari cairan bertekanan rendah ke cairan yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpindahan. Dalam proyek ini, pompa berfungsi untuk menyiram tanaman secara otomatis. Ketika sensor mendeteksi kelembaban tanah rendah, sistem yang didukung oleh *TinyML* akan mengaktifkan pompa melalui mikrokontroler *ESP32*. Hal ini membuat

penyiraman menjadi lebih efisien dan sesuai kebutuhan tanaman tanpa harus dilakukan secara manual [12].

2.12. *Relay*



Gambar 8. *Relay*

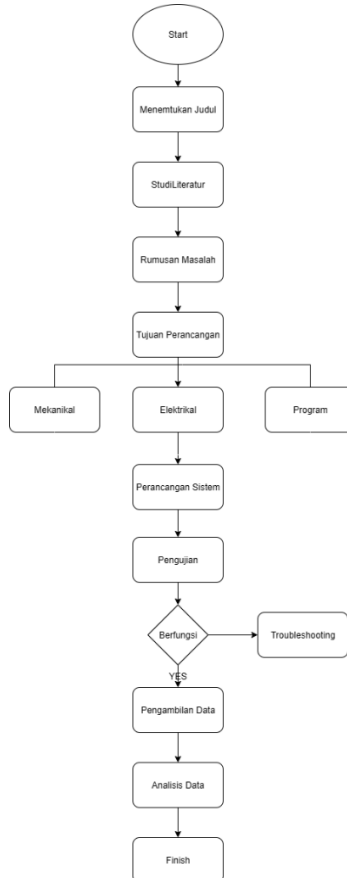
Relay merupakan perangkat elektronik yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang dapat dikendalikan oleh sinyal listrik dari rangkaian lain. *Relay* bekerja dengan menggunakan arus listrik untuk mengalirkan energi ke kumparan, sehingga menghasilkan induksi magnetik yang menyebabkan kontaktor di dalam *relay* menutup (aktif) atau membuka (nonaktif). Dengan prinsip kerja ini, *relay* memungkinkan mikrokontroler untuk mengontrol perangkat dengan arus lebih besar, seperti pompa air.

Dalam proyek, *relay* digunakan untuk mengaktifkan atau mematikan pompa air berdasarkan hasil analisis kelembaban tanah dari sensor dan keputusan sistem *TinyML*. Ketika tanah terdeteksi kering, sistem akan mengirim sinyal ke *relay* untuk menyalakan pompa, dan mematikan pompa kembali ketika kondisi tanah sudah cukup lembab. Dengan penggunaan *relay*, sistem dapat bekerja secara otomatis dan efisien, tanpa memerlukan intervensi manual dalam mengatur penyiraman[13].

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Penelitian

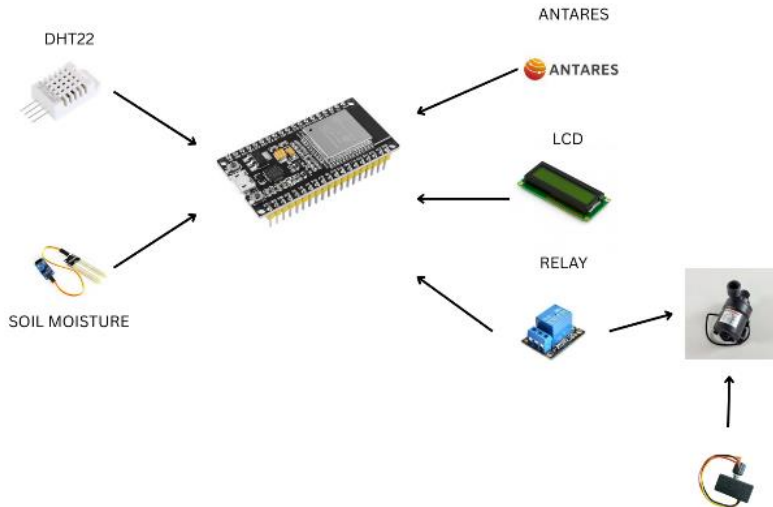
Penelitian ini membutuhkan sebuah rancangan penelitian untuk memperjelas langkah-langkah yang harus dilakukan. Berikut merupakan tahapan dan *flowchart* pada rancangan penelitian tugas akhir.



Gambar 9. Flowchart Perancangan Penelitian

3.1.2. Perancangan Sistem

Dalam penelitian ini saya melakukan perancangan sistem berupa diagram blok terhadap rangkaian alat *monitoring* dan kontrol perkebunan sawi

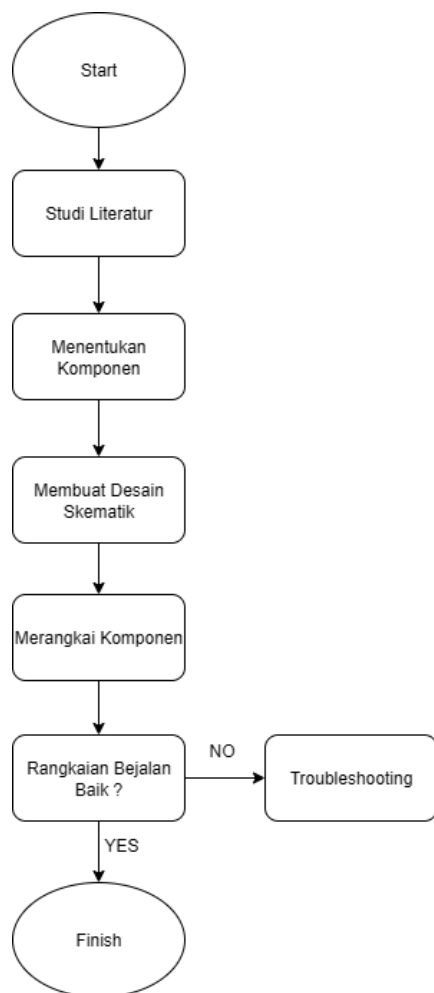


Gambar 10. Diagram Blok Sistem

Selanjutnya Pada Gambar 9 Diagram blok sistem *Smart Garden*. Sistem terdiri dari sensor *DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembaban udara serta sensor soil moisture untuk mengukur kelembaban tanah yang terhubung ke mikrokontroler *ESP32*. Data sensor ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke platform *Antares* sebagai media *monitoring* jarak jauh. Berdasarkan hasil pemrosesan data, *ESP32* mengendalikan relay untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara otomatis sesuai kondisi kelembaban tanah. Selain itu, sistem dilengkapi dengan potensiometer yang berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran pompa air, sehingga debit aliran air dapat disesuaikan dengan kebutuhan penyiraman.

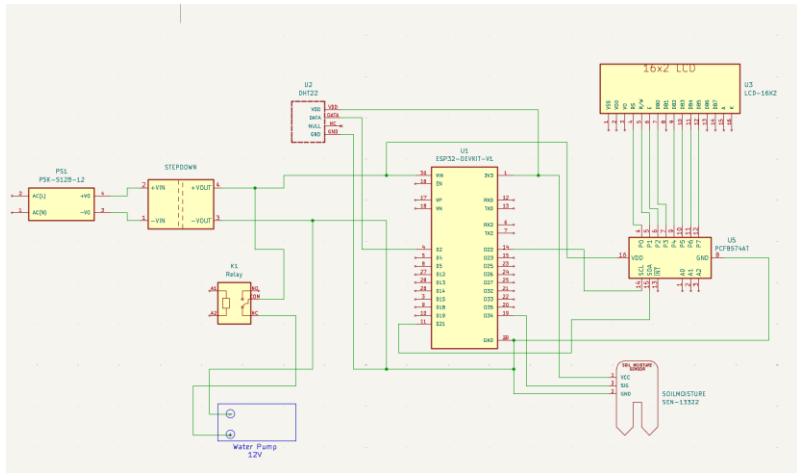
3.1.3. Perancangan Elektrikal

Berikut merupakan *flowchart* perancangan elektrikal yang disusun oleh peneliti guna memastikan proses pengerjaan berjalan secara lebih terstruktur. Beberapa tahapan beserta penjelasan dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 11. *Flowchart* Perancangan Elektrikal

Perancangan sistem elektrikal pada *Smart Garden : Monitoring* dan kontrol Perkebunan sawi di jelaskan pada skematik di bawah ini :



Gambar 12. Elektrikal Sistem

Tabel 2. Keterangan Komponen

1.	DHT22	ESP32
	VCC	5V
	DATA	D4
	GND	GND
2.	LCD 16X2	ESP32
	VCC	3.3V
	SDA	21
	SCL	22
	GND	GND
3.	SOIL MOISTURE	ESP32
	VCC	5V
	SIG	34
	GND	GND
4.	RELAY	ESP32
	VCC	5V

	IN	23
	GND	GND
5.	WATER PUMP	
	PIN +	COM RELAY
	PIN -	POWER SUPPLY
6	POTENSIOMETER	
	MERAH	12V POWER SUPPLY
	BIRU	POMPA
	HITAM	GND

3.1.4. Perancangan Sistem Mekanikal

Berikut ini adalah *flowchart* perancangan mekanikal yang akan peneliti lakukan agar dalam pengerjaan aktualnya lebih terstruktur, Adapun tahapan dan penjelasan sistem mekanikal sebagai berikut :



Gambar 13. Flowchart Perancangan Mekanikal

Dalam perancangan ini peneliti melakukan studi *Literatur* atau mencari referensi terlebih dahulu, lalu mengukur dan melakukan perancangan desain komponen-komponen sudah sesuai dengan yang diinginkan. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik dan berfungsi secara optimal.

Berikut merupakan rancangan desain mekanikalnya :

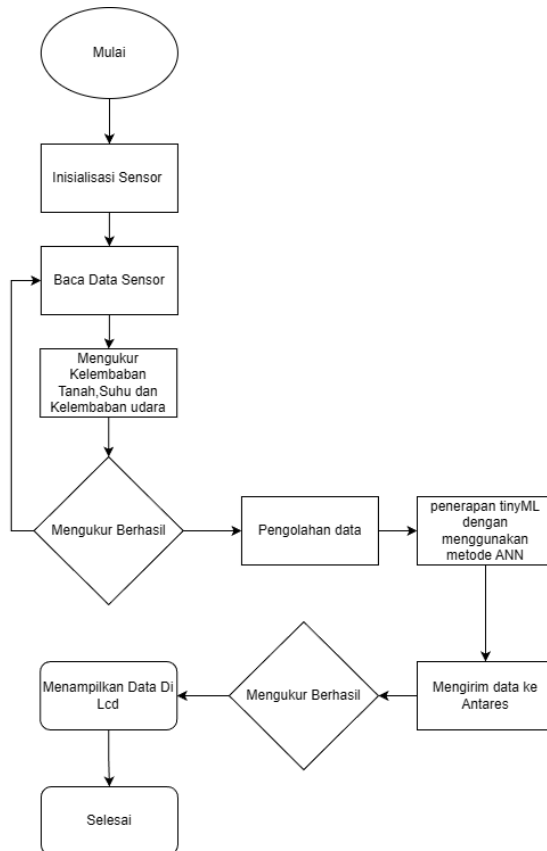


Gambar 14. Desain Box

Gambar 14. atas menunjukkan rancangan desain mekanikal dari sistem *Smart Garden* yang dikembangkan. Desain ini mencakup tata letak komponen utama seperti mikrokontroler *ESP32*, modul relay, catu daya (*power supply*), sensor *DHT22*, serta layar LCD yang ditempatkan di dalam sebuah boks pelindung. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kerapian penempatan komponen, kemudahan perakitan, keamanan rangkaian listrik, serta kemudahan perawatan.

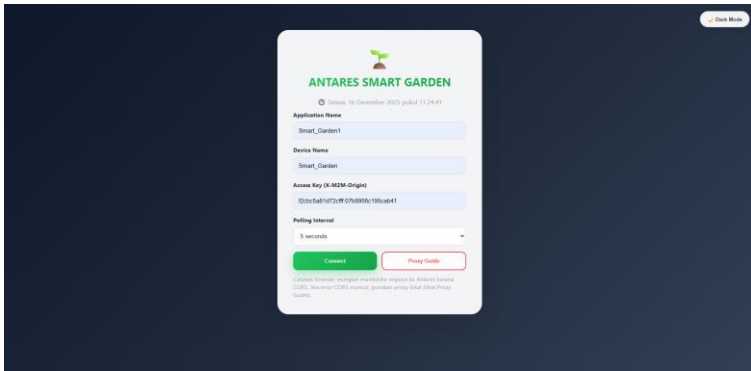
3.1.5. Perancangan Program

Berikut merupakan *flowchart* perancangan program yang disusun oleh peneliti guna memastikan proses pengerjaan berjalan secara lebih terstruktur. Beberapa tahapan beserta penjelasan program dijabarkan sebagai berikut :



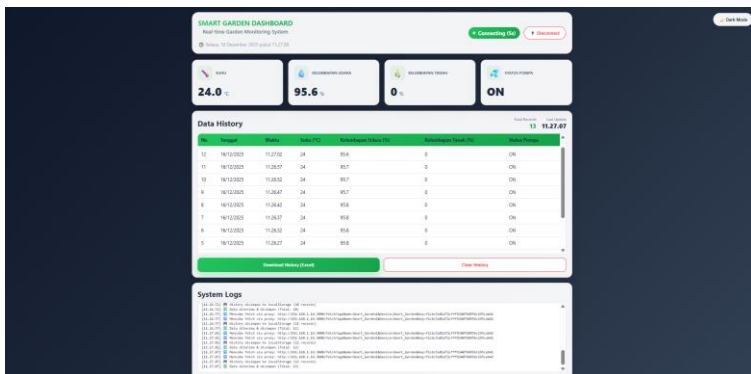
Gambar 15. Flowchart Perancangan Program

Tata letak *Graphical User Interface* (GUI) pada sistem *Smart Garden* dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan *monitoring* dan pengendalian sistem secara intuitif. Desain antarmuka dibagi ke dalam beberapa menu utama, yaitu menu *login* dan menu *monitoring*, yang disesuaikan dengan kebutuhan pengguna dalam mengakses informasi sistem.



Gambar 16. Desain Menu Login

Pada Gambar 16, antarmuka dirancang dengan tata letak sederhana dan terpusat. Menu ini menyediakan kolom *input* berupa *Application Name*, *Device Name*, *Access Key*, serta pengaturan *Polling Interval* yang digunakan untuk menghubungkan aplikasi dengan perangkat IoT. Selain itu, terdapat tombol *Connect* untuk menghubungkan sistem dan tombol *Proxy Guide* sebagai panduan konfigurasi koneksi.



Gambar 17. Desain Menu Monitoring

Selanjutnya pada Gambar 17, menampilkan informasi utama sistem Smart Garden dalam bentuk *dashboard*. Tata letak dashboard terdiri dari beberapa kartu informasi yang menampilkan nilai suhu udara, kelembaban tanah, kelembaban udara, serta status pompa air secara *real-time*. Di bagian bawah *dashboard*,

disediakan tabel *Data History* untuk menampilkan riwayat pembacaan sensor dan status sistem, serta *System Logs* yang berfungsi untuk memantau aktivitas dan proses komunikasi data. Tata letak ini dirancang agar informasi dapat diakses dengan jelas dan mudah dipahami oleh pengguna.

3.2. Alat dan Bahan

Perkiraan biaya termasuk perkiraan biaya yang diperlukan untuk melakukan penelitian. Berikut adalah estimasi biaya yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini:

Tabel 3. Estimasi biaya

No.	Alat/bahan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah	Total (Rp.)	Keterangan
1.	laptop	-	1	-	Dana Pribadi
1.	Catu Daya	Rp.50.000	1	Rp.50.000	Dana Pribadi
2.	ESP32	Rp.100.000	1	Rp.100.000	Dana Pribadi
3.	Liquid Crystal Display (LCD) 16X2	Rp.50.000	1	Rp.50.000	Dana Pribadi
4.	Soil Moisture Sensor	Rp.50.000	1	Rp.50.000	Dana Pribadi
5.	DHT22	Rp.35.000	1	Rp.35.000	Dana Pribadi
6.	Pompa Air	Rp.100.000	1	Rp.100.000	Dana Pribadi
7.	Relay	Rp.25.000	1	Rp.25.000	Dana Pribadi
8.	Box Panel	Rp.70.000	1	Rp.70.000	Dana Pribadi
9.	Stepdown	Rp.25.000	1	Rp.25.000	Dana Pribadi
10.	Selang Air	Rp.50.000	1	Rp.50.000	Dana Pribadi
11.	Potensio Sprayer	Rp.40.000	1	Rp.40.000	Dana Pribadi
	Total			Rp.595.000	

3.3. Pengumpulan Dataset

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan parameter kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara. Selanjutnya Data diberi label 1 atau 0, kemudian dilatih menggunakan *algoritma Artificial Neural Network (ANN)*. Model hasil pelatihan dikonversi ke format *TensorFlow Lite* dan di-embed ke dalam mikrokontroler *ESP32* untuk klasifikasi secara lokal melalui pendekatan *TinyML*.

3.4. Pra-pemrosesan Data

Preprocessing data adalah tahap pembersihan, penyesuaian, dan transformasi data mentah agar siap digunakan dalam proses pelatihan model *machine learning*. Data yang diperoleh dari sensor biasanya masih mentah, bisa mengandung *noise* (gangguan), tidak seragam, atau belum dalam format yang dimengerti oleh algoritma. Proses *preprocessing* data melibatkan beberapa langkah:

- a. Pembersihan data : proses menghilangkan kesalahan, nilai tidak wajar, data hilang, serta gangguan (*noise*) pada data sensor yang diperoleh dari sistem *Smart Garden*. Sensor seperti *DHT22* dan *soil moisture* sensor dapat menghasilkan data fluktuatif akibat perubahan lingkungan atau gangguan pembacaan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan data yang digunakan dalam pelatihan model *TinyML* bersifat valid, akurat, dan konsisten.
- b. Pembuatan label : proses pemberian kategori pada setiap data berdasarkan kondisi nyata lingkungan tanaman. Dalam penelitian *Smart Garden* ini, label digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi kelembaban tanah dan lingkungan tanaman sawi, seperti “Kering” dan “Basah”, atau “Pompa ON” dan “Pompa OFF”, yang menjadi dasar pengambilan keputusan sistem penyiraman otomatis.

3.5. Perancangan Model ANN

Perancangan model bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi kondisi penyiraman pada *Smart Garden* berbasis *Internet of Things (IoT)*. Model ini dirancang menggunakan arsitektur *Artificial Neural Network (ANN)* yang terdiri dari satu lapisan *input*, dua lapisan tersembunyi, dan satu lapisan *output*. Model *ANN* tersebut dikembangkan untuk mengklasifikasikan kebutuhan penyiraman tanaman ke dalam dua kategori, yaitu perlu penyiraman dan tidak perlu penyiraman.

Input pada model terdiri dari tiga parameter utama, yaitu kelembaban tanah *soil moisture*, suhu udara, dan kelembaban udara. Pemilihan parameter ini didasarkan pada pengaruh langsungnya terhadap kondisi pertumbuhan tanaman sawi serta peran dalam menentukan kebutuhan air tanaman. Dengan memanfaatkan ketiga parameter tersebut, model diharapkan mampu memberikan keputusan penyiraman secara otomatis dan akurat, sehingga dapat

meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung sistem *monitoring* serta kontrol pada *Smart Garden* berbasis *IoT*.

3.5.1. Konversi Model

Setelah model *Artificial Neural Network (ANN)* selesai dilatih, langkah berikutnya adalah mengonversi model tersebut ke dalam format *TensorFlow Lite (TFLite)*. Proses konversi ini bertujuan untuk memungkinkan model berjalan pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti *ESP32*. *TensorFlow Lite Converter* digunakan untuk mengubah model yang awalnya disimpan dalam format H5 menjadi format *TFLite*.

3.5.2. Integrasi Model

Proses integrasi model dilakukan dengan menghubungkan model *ANN* berbasis *TensorFlow Lite* dengan perangkat *IoT ESP32*. Tahap ini bertujuan untuk memungkinkan prediksi penggunaan listrik dilakukan secara otomatis berdasarkan data masukan yang dikirimkan oleh perangkat *ESP32*.

3.7. Pengujian

Pada pengujian ini ada beberapa tahapan yang peneliti lakukan untuk mengetahui efektivitas atau kesanggupan dari alat yang dibuat. Adapun beberapa parameter pengujian yang peneliti ambil sebagai berikut :

3.7.1. Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk memastikan desain mekanik pada cover *ESP32* dan *box Smart Garden* mampu melindungi komponen elektronik serta mendukung kinerja sistem secara stabil. Pengujian ini mencakup ketahanan pemasangan sensor *DHT22* dan *soil moisture*, kondisi pompa air saat beroperasi, serta perlindungan box terhadap gangguan fisik dan lingkungan. Sistem diuji dengan pengoperasian secara terus-menerus untuk memastikan tidak terjadi gangguan mekanis yang dapat memengaruhi proses *monitoring* dan pengendalian penyiraman otomatis.

3.7.2. Pengujian Elektrikal

Pengujian elektrikal dilakukan untuk memastikan seluruh rangkaian listrik pada sistem *Smart Garden* berfungsi dengan baik dan aman sesuai dengan perancangan. Pengujian ini meliputi kinerja catu daya, koneksi rangkaian pada *ESP32*, sensor *DHT22*, sensor *soil moisture*, modul relay, serta pompa air. Tujuan pengujian adalah memastikan tegangan dan arus listrik tersalurkan dengan stabil sehingga sistem mampu bekerja secara normal tanpa gangguan kelistrikan.

3.7.3. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor *DHT22* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca suhu lingkungan. Pengujian dilakukan dengan mengambil data suhu secara berkala dan mengamati perubahan nilai yang dihasilkan saat terjadi perubahan kondisi lingkungan. Hasil pembacaan sensor dianalisis berdasarkan kestabilan dan konsistensi data. Apabila sensor mampu menunjukkan perubahan suhu yang logis dan data yang relatif stabil, maka sensor *DHT22* dinyatakan berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam sistem *monitoring Smart Garden*.

3.7.4. Pengujian Sensor Soil Moisture

Pengujian sensor *soil moisture* bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi dan membaca tingkat kelembaban tanah secara akurat dan konsisten. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sensor mampu merespons perubahan kondisi tanah, seperti kering dan basah, serta menghasilkan data yang stabil. Hasil pengujian digunakan untuk menilai kelayakan sensor *soil moisture* sebagai input utama dalam sistem *monitoring* dan pengendalian penyiraman otomatis pada *Smart Garden*.

3.7.5. Pengujian Pompa Air

Pengujian pompa air merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa pompa air dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan perintah yang diberikan oleh sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pompa dalam merespons sinyal kendali, memastikan kinerja komponen pendukung seperti relay berjalan dengan normal, serta memastikan proses penyiraman dapat berlangsung sesuai dengan pengaturan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian digunakan untuk menilai keandalan pompa air sebagai bagian dari sistem penyiraman otomatis.

3.7.6. Pengujian GUI (Graphical User Interface)

Pengujian *Graphical User Interface* (GUI) dilakukan untuk memastikan tampilan antarmuka sistem *Smart Garden* dapat menampilkan informasi *monitoring* dan kontrol secara akurat serta mudah dipahami oleh pengguna. Pengujian ini mencakup penampilan data sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara, serta status pompa air yang dikirim dari perangkat *IoT* ke aplikasi.

Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan sistem dan mengamati kesesuaian data yang ditampilkan pada GUI dengan data yang dibaca oleh sensor secara langsung. Selain itu, diuji pula kestabilan tampilan, pembaruan data secara *real-time*, serta fungsi navigasi pada antarmuka. Hasil pengujian ini digunakan

untuk memastikan *GUI* dapat berfungsi dengan baik sebagai media *monitoring* dan kontrol sistem *Smart Garden*.

3.7.7. Pengujian *Internet of Things*

Pengujian *Internet of Things (IoT)* dilakukan untuk memastikan sistem *Smart Garden* mampu mengirimkan data *monitoring* secara *real-time* dari perangkat *ESP32* ke platform web *Antares*. Parameter yang diuji meliputi suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, serta status pompa air.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan data yang ditampilkan pada *interface monitoring* dengan data yang ditampilkan pada web *Antares*. Selain itu, dilakukan pengukuran waktu tunda (*delay*) pengiriman data untuk mengetahui kinerja komunikasi sistem *IoT*.

Sistem dinyatakan bekerja dengan baik apabila data yang ditampilkan pada *interface* sesuai dengan data pada web *Antares* serta *delay* pengiriman data masih berada dalam batas toleransi, yaitu kurang dari 5 detik.

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

Pada Bab 4 ini, penulis akan mencantumkan hasil pengujian serta melakukan pembahasan secara mendalam terkait setiap kondisi, parameter, dan keadaan yang telah ditetapkan dalam proses pengujian. Data yang disajikan merupakan hasil dari pengujian menyeluruh pada setiap sub-sistem yang telah dipastikan berfungsi dengan baik. Dengan demikian, penulis dapat mengintegrasikan hasil-hasil tersebut untuk membentuk sistem yang utuh dan fungsional sebagai bagian dari tugas akhir ini. Pembahasan ini tidak hanya mencakup analisis terhadap kinerja setiap komponen yang diuji, tetapi juga memberikan wawasan tentang kelebihan, kekurangan, serta potensi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Hasil yang diperoleh akan dibahas secara rinci untuk memastikan bahwa tujuan yang telah ditetapkan dalam penelitian ini tercapai dengan optimal.

4.1. Hasil Pengujian Mekanik

Ketahanan desain mekanik pada cover *ESP32*, box *smart garden* menjadi fokus utama dalam pengujian ini. Tujuannya adalah untuk melindungi komponen dari kerusakan fisik yang dapat menyebabkan *error*. Pengujian dilakukan untuk memastikan apakah sistem pengirim dan penerima mampu berfungsi secara optimal.



Gambar 18. Hasil Pengujian Mekanik

Setelah rancangan desain mekanik dibuat seperti pada Gambar 18, penulis melakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem mampu bekerja dengan stabil dalam melakukan proses *monitoring* kelembaban tanah serta pengendalian pompa air secara otomatis. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan desain mekanik dalam menopang komponen serta memastikan tidak terjadi gangguan fungsi akibat faktor mekanis selama sistem beroperasi.

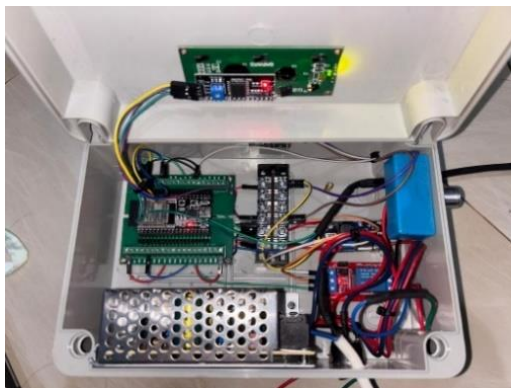
Tabel 4 Hasil Pengujian Mekanik

Kondisi Sistem	Hasil Pengujian
Sensor	Berfungsi dan stabil
Pompa air OFF	Tidak terjadi kebocoran
Pompa air ON	Air mengalir dengan baik
Sistem bekerja terus-menerus	Stabil dan tidak terjadi gangguan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, sistem *Smart Garden* mampu beroperasi dengan baik pada berbagai kondisi pengujian. Sensor *soil moisture* tetap stabil saat tertanam di tanah, *box controller* mampu melindungi komponen elektronik dari paparan lingkungan, dan pompa air dapat bekerja sesuai perintah sistem tanpa kendala mekanis. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan desain mekanik dan integrasi sistem yang diterapkan telah mendukung pengoperasian sistem *Smart Garden* secara optimal sesuai dengan tujuan tugas akhir.

4.2. Hasil Pengujian Elektrikal

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, penulis menguji beberapa komponen elektrikal utama pada sistem, yaitu sensor *soil moisture* dan sensor *DHT22*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan pembacaan masing-masing sensor. Nilai yang dihasilkan oleh sensor kemudian dibandingkan dengan data referensi yang diperoleh menggunakan alat ukur terkalibrasi, seperti higrometer. Proses perbandingan ini dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan sensor pada sistem *Smart Garden* mendekati nilai sebenarnya, serta untuk memverifikasi bahwa seluruh komponen elektrikal dapat bekerja secara konsisten dan andal sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 19. Hasil Pengujian Elektrikal

Pada Gambar 19, Sistem *Smart Garden* ini menggunakan mikrokontroler *ESP32* sebagai pusat pengendali. Sensor *DHT* digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban udara, di mana pin *VCC* dihubungkan ke sumber tegangan 3,3 V, pin *GND* ke *ground*, dan pin *DATA/OUT* dihubungkan ke pin *GPIO 4 ESP32*. Sensor *soil moisture* analog digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah, dengan pin *VCC* terhubung ke sumber tegangan 5 V, pin *GND* ke *ground*, dan pin *OUT* dihubungkan ke pin *ADC GPIO 34 ESP32* sebagai input analog.

Untuk menampilkan informasi sistem, digunakan *LCD 16x2* berkomunikasi melalui antarmuka *I²C*, di mana pin *VCC* dihubungkan ke sumber tegangan 5 V, pin *GND* ke *ground*, pin *SCL* dihubungkan ke *GPIO 22*, dan pin *SDA* dihubungkan ke *GPIO 21 ESP32*. Selain itu, modul relay digunakan sebagai aktuator untuk mengendalikan pompa air. Pin *VCC* relay dihubungkan ke sumber tegangan 5 V, pin *GND* ke *ground*, dan pin *IN/OUT* relay dihubungkan ke *GPIO 23 ESP32* sebagai sinyal kendali.

Pada sisi aktuator, terminal *COM (Common)* relay dihubungkan ke sumber tegangan positif dari catu daya pompa, sedangkan terminal *NC (Normally Closed)* relay dihubungkan ke terminal positif pompa air. Terminal negatif pompa dihubungkan langsung ke kutub negatif catu daya. Dengan konfigurasi ini, pompa air akan bekerja sesuai dengan logika kendali yang diberikan oleh *ESP32* melalui modul relay, sehingga sistem mampu melakukan penyiraman tanaman secara otomatis berdasarkan kondisi kelembaban tanah yang terdeteksi.

4.3. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor-sensor yang digunakan dalam sistem *Smart Garden* mampu bekerja dengan baik serta menghasilkan data yang akurat sesuai dengan kondisi lingkungan kebun sawi. Sensor yang diuji meliputi sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*), sensor suhu dan kelembaban udara *DHT22*. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian hasil pembacaan sensor sebelum data tersebut digunakan pada proses *monitoring*, pengambilan keputusan penyiraman otomatis berbasis *Tiny Machine Learning (TinyML)*, serta pengiriman data ke platform *IoT*.

4.3.1. Hasil Pengujian Sensor *DHT22*

Pengujian sensor *DHT22* dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar berupa higrometer. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor, tingkat ketelitian, serta akurasi dan presisi sensor *DHT22* dalam mendeteksi suhu lingkungan.

Proses pengujian dilakukan pada tiga subject pengujian, di mana pada setiap subject dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali dengan interval waktu 1 menit untuk setiap pengukuran. Data suhu yang dihasilkan oleh sensor *DHT22* dicatat secara berkala, kemudian dibandingkan dengan nilai suhu yang

ditunjukkan oleh higrometer sebagai nilai acuan. Interval waktu 1 menit dipilih untuk memastikan kestabilan pembacaan sensor dan meminimalkan pengaruh suhu lingkungan secara tiba-tiba.

$$Error = \left| \frac{DHT22-Higrometer}{Higrometer} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (2)$$

$$Rata - Rata (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n} \quad (3)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (5)$$

$$Presisi = 100\% - RSD \quad (6)$$

Tabel 5. Hasil Pengujian Suhu Udara

Subject	No	Pengujian Sensor		Error	Akurasi
		Suhu	Higrometer		
1	1	31.5	30.8	2.27	97.73
	2	31.6	30.8	2.60	97.40
	3	31.6	30.7	2.93	97.07
	4	31.7	30.8	2.92	97.08
	5	31.7	30.8	2.92	97.08
	6	31.6	30.8	2.60	97.40
	7	31.7	30.9	2.59	97.41
	8	31.6	30.8	2.60	97.40
	9	31.8	30.9	2.91	97.09
	10	31.7	30.8	2.92	97.08
2	1	28.3	27.7	2.17	97.83
	2	28.3	27.7	2.17	97.83
	3	28.4	27.8	2.16	97.84
	4	28.4	27.8	2.16	97.84
	5	28.4	27.8	2.16	97.84
	6	28.5	27.9	2.15	97.85
	7	28.4	27.8	2.16	97.84
	8	28.5	27.9	2.15	97.85
	9	28.5	27.9	2.15	97.85
	10	28.5	27.9	2.15	98.85
	1	29.9	29.2	2.40	97.60

3	2	30.0	29.3	2.39	96.61
	3	29.9	29.2	2.40	97.60
	4	29.9	29.2	2.40	97.60
	5	30.0	29.3	2.39	96.61
	6	30.1	29.4	2.38	96.62
	7	30.1	29.4	2.38	96.62
	8	30.2	29.5	2.37	96.63
	9	30.0	29.3	2.39	97.61
	10	30.0	29.3	2.39	97.26
Rata-Rata Subject 1				2.73	97.27
Rata-Rata Subject 2				2.16	97.84
Rata-Rata Subject 3				2.39	97.61

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5, diperoleh nilai error pengukuran suhu udara sensor DHT22 yang relatif kecil pada setiap subject pengujian. Rata-rata error pada Subject 1 sebesar 2,73%, Subject 2 sebesar 2,16%, dan Subject 3 sebesar 2,39%. Nilai akurasi yang dihasilkan berada pada kisaran 97%, yang menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor *DHT22* cukup mendekati nilai suhu referensi dari higrometer. Hal ini menandakan bahwa sensor *DHT22* memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan dalam sistem monitoring suhu udara.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Presisi Suhu

Subject	Rata-Rata Suhu	Standar Deviasi	RSD	Presisi
1	31.65	0.085	0.27	99.73
2	28.42	0.079	0.28	99.72
3	30.01	0.099	0.33	99.67

Selanjutnya, pengukuran presisi suhu dianalisis menggunakan nilai standar deviasi (SD) dan *Relative Standard Deviation* (RSD) dari data suhu yang dihasilkan sensor DHT22, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Nilai standar deviasi yang diperoleh relatif kecil, yaitu 0,085 °C pada Subject 1, 0,079 °C pada Subject 2, dan 0,099 °C pada Subject 3. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki tingkat kestabilan yang baik.

Nilai RSD yang diperoleh masing-masing sebesar 0,27%, 0,28%, dan 0,33%. Nilai RSD yang rendah menunjukkan variasi data yang sangat kecil. Jika dinyatakan dalam bentuk presisi, diperoleh nilai presisi sebesar 99,73% pada Subject 1, 99,72% pada Subject 2, dan 99,67% pada Subject 3. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensor *DHT22* mampu menghasilkan data suhu yang sangat konsisten pada pengukuran berulang dengan interval waktu 1 menit.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kelembaban Udara

Subject	No	Pengujian Sensor		Error	Akurasi
		Kelembaban udara	Higrometer		
1	1	62	61	1.64	98.36
	2	62	61	1.64	98.36
	3	62	61	1.64	98.36
	4	61	60	1.67	98.33
	5	63	62	1.61	98.39
2	1	76	75	1.33	98.67
	2	76	75	1.33	98.67
	3	76	75	1.33	98.67
	4	77	76	1.32	98.67
	5	77	76	1.32	98.68
3	1	54	53	1.89	98.11
	2	54	53	1.89	98.11
	3	55	54	1.85	98.15
	4	54	53	1.89	98.11
	5	55	54	1.85	98.15
Rata-Rata Subject 1				1.64	98.36
Rata-Rata Subject 2				1.33	98.67
Rata-Rata Subject 3				1.87	98.13

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7, diperoleh nilai error pengukuran kelembaban udara sensor *DHT22* yang relatif kecil pada setiap subject pengujian. Rata-rata error pada Subject 1 sebesar 1,64%, Subject 2 sebesar 1,33%, dan Subject 3 sebesar 1,87%. Nilai akurasi yang dihasilkan berada pada kisaran 98%, yang menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor *DHT22* cukup mendekati nilai kelembaban udara referensi dari higrometer. Hal ini menandakan bahwa sensor *DHT22* memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan dalam sistem monitoring kelembaban udara.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Presisi Kelembaban Udara

Subject	Rata-Rata Kelembaban udara	Standar Deviasi (SD)	RSD	Presisi
1	62	0.71	1.15	98.85
2	76.4	0.55	0.72	99.28
3	54.4	0.55	1.01	98.98

Selanjutnya, pengukuran presisi kelembaban udara dihitung menggunakan nilai standar deviasi (SD) dan *Relative Standard Deviation* (RSD) dari data

pengukuran, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8. Nilai standar deviasi yang diperoleh relatif kecil, yaitu 0,71 %RH pada Subject 1, 0,55 %RH pada Subject 2, dan 0,55 %RH pada Subject 3, yang menunjukkan kestabilan pembacaan sensor.

Nilai RSD masing-masing sebesar 1,15%, 0,72%, dan 1,01%. Nilai RSD yang rendah menunjukkan bahwa variasi data antar pengukuran kecil. Jika dinyatakan dalam bentuk presisi, diperoleh nilai presisi sebesar 98,85% pada Subject 1, 99,28% pada Subject 2, dan 98,99% pada Subject 3. Nilai presisi di atas 98% mengindikasikan bahwa sensor *DHT22* mampu menghasilkan data kelembaban udara yang konsisten pada pengukuran berulang.

4.3.2. Hasil Pengujian Sensor *Soil Moisture*

Pengujian sensor *soil moisture* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi tingkat kelembaban tanah serta kestabilan nilai pembacaan yang dihasilkan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem *monitoring* dan pengendalian penyiraman otomatis pada *Smart Garden*. Data diperoleh dengan menanam sensor pada media tanah dengan kondisi kelembaban yang berbeda, mulai dari tanah kering hingga tanah basah.

Tabel 9. Hasil Pengujian *Soil Moisture*

No	Nilai ADC	Kelembaban	Kategori
1	2800	1%	Kering
2	2650	10%	Kering
3	2400	25%	Kering
4	2100	45%	Lembab
5	1800	65%	Lembab
6	1550	85%	Basah
7	1400	100%	Basah

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9, nilai ADC yang dihasilkan sensor menunjukkan hubungan terbalik dengan tingkat kelembaban tanah, di mana semakin tinggi kelembaban tanah maka nilai ADC yang terbaca semakin rendah. Sensor mampu membedakan kondisi tanah kering, lembab, dan basah dengan jelas serta menunjukkan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi tanah akibat penambahan air.

Selain itu, hasil pembacaan sensor relatif stabil pada kondisi tanah yang konstan dan tidak menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Dengan demikian, sensor *soil moisture* dinyatakan berfungsi dengan baik dan layak digunakan sebagai parameter utama dalam sistem *monitoring* kelembaban tanah serta pengendalian penyiraman otomatis pada *Smart Garden* yang dikembangkan.

4.3.3. Hasil Pengujian Pompa Air

Pengujian pompa air dilakukan untuk memastikan bahwa pompa dapat berfungsi dengan baik dan bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan oleh sistem berdasarkan keluaran model *Artificial Neural Network (ANN)*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respons pompa air terhadap keputusan yang dihasilkan oleh model *ANN* yang memproses data dari sensor *soil moisture*, suhu, dan kelembaban udara (*DHT22*), serta memastikan bahwa pompa hanya aktif ketika kondisi tanah membutuhkan penyiraman.

Pengujian meliputi kinerja relay sebagai penghubung antara sistem kontrol dan pompa air, guna memastikan relay dapat bekerja secara aktif dan nonaktif dengan tepat sesuai perintah dari sistem. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap respon *ON/OFF* pompa berdasarkan nilai keluaran *TinyML (ANN)* untuk memastikan kesesuaian antara hasil klasifikasi model dengan aksi penyiraman. Hasil pengujian ini diharapkan menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis *ANN* mampu bekerja secara efektif, efisien, dan andal dalam menjaga kelembaban tanah pada sistem *Smart Garden* yang dikembangkan.

Tabel 10. Hasil Pengujian Pompa Air

Outout <i>TinyML</i>	Status Pompa
> 0.6	ON
< 0.4	OFF
$0.4 - 0.6$	Zona Aman

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 10, menunjukkan pembagian kondisi kerja pompa air berdasarkan nilai keluaran model *TinyML (ANN)*. Nilai *output* ≥ 0.6 menandakan kondisi tanah kering sehingga pompa air diaktifkan (*ON*). Sebaliknya, nilai *output* ≤ 0.4 menunjukkan kondisi tanah basah sehingga pompa air dimatikan (*OFF*). Rentang nilai $0.4-0.6$ ditetapkan sebagai zona aman, di mana sistem tidak melakukan penyiraman untuk mencegah penyiraman berlebih (*overwatering*). Penerapan batas ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air serta menjaga kelembaban tanah agar tetap optimal bagi pertumbuhan tanaman sawi.

4.4. Hasil Pengujian *Interface*

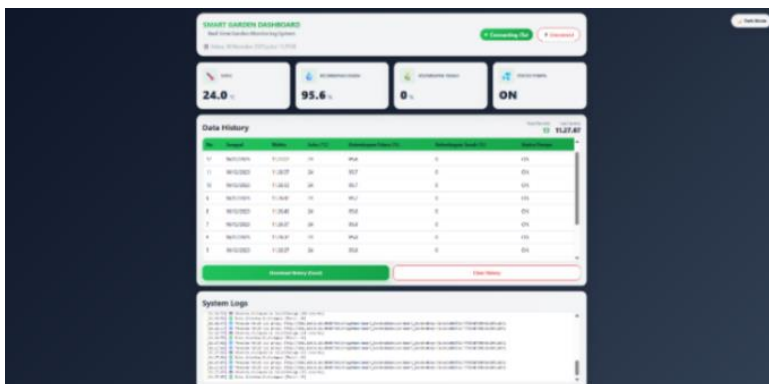
Pada bagian ini, peneliti melakukan pengujian menyeluruh terhadap *interface* yang telah dirancang, dengan tujuan untuk memastikan bahwa setiap fitur pada aplikasi berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian mencakup beberapa aspek utama yaitu *menu login*, *menu monitoring* dan riwayat data.

5	Connect	Untuk menghubungkan aplikasi web dengan platform <i>Antares</i> menggunakan data yang telah diinput.
6	Proxy Build	Untuk membuka panduan penggunaan proxy lokal.
7	Dark Mode	Mengubah tampilan menjadi terang atau gelap
8	Informasi Waktu dan Tanggal	Menampilkan hari, tanggal, dan waktu sistem sebagai informasi waktu <i>monitoring</i> .

Berdasarkan Tabel 11, Antarmuka dashboard digunakan untuk memantau kondisi kebun sawi dan kinerja sistem *Smart Garden* secara *real-time*. Informasi yang ditampilkan meliputi kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, serta status penyiraman berdasarkan hasil analisis sistem dan *TinyML*. Sistem juga menyediakan klasifikasi kondisi tanaman sehingga memudahkan pengguna dalam memantau, mengevaluasi, dan mengambil keputusan penyiraman secara efisien.

4.4.2. Hasil Pengujian Pada Menu Monitoring

Pengujian menu *monitoring* dilakukan untuk memastikan sistem dapat menampilkan data sensor secara *real-time* dari perangkat *Smart Garden*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, serta status pompa air berhasil ditampilkan dengan baik pada *dashboard*. Selain itu, fitur data *history* dan *system logs* berfungsi dengan normal, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dan aktivitas secara berkala.



Gambar 21. Hasil pengujian interface

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 21, sistem berhasil menampilkan informasi suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, serta status pompa air dengan baik dan sesuai dengan data yang dikirimkan oleh perangkat. Data yang ditampilkan pada *dashboard* bersifat *real-time* dan mengalami pembaruan secara berkala tanpa terjadi keterlambatan yang signifikan.

Tabel 12. Komponen Antarmuka Menu Monitoring

No	Komponen Antarmuka	Fungsi
1	Connecting / Disconnect	Menampilkan status koneksi antara aplikasi dashboard dengan platform <i>Antares</i> secara <i>real-time</i> dan untuk memutuskan koneksi dari server <i>Antares</i> .
2	Panel Suhu (°C)	Menampilkan nilai suhu lingkungan kebun yang diperoleh dari sensor <i>DHT22</i>
3	Panel Kelembapan Udara (%)	Menampilkan nilai kelembapan udara lingkungan kebun secara <i>real-time</i> .
4	Panel Kelembapan Tanah (%)	Menampilkan nilai kelembapan tanah yang dibaca oleh soil moisture sensor
5	Panel Status Pompa	Menampilkan kondisi pompa air, yaitu ON atau OFF, sesuai dengan hasil kontrol sistem.
6	System Logs	Untuk menampilkan aktivitas sistem, seperti proses koneksi, pengambilan data, dan penggunaan proxy, sebagai sarana <i>monitoring</i> dan troubleshooting.

Berdasarkan Tabel 12, Antarmuka *dashboard Smart Garden* digunakan untuk memantau kondisi lingkungan kebun dan kinerja sistem secara *real-time* dan terintegrasi. Informasi yang ditampilkan meliputi suhu lingkungan, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta status pompa air. Selain itu, sistem menyediakan pencatatan data secara berkala dalam bentuk riwayat *monitoring* dan *system logs* sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan evaluasi kondisi tanaman serta pengambilan keputusan terkait pengelolaan penyiraman secara efektif dan efisien.

4.4.3. Hasil Pengujian Riwayat Data

Selanjutnya, penulis melakukan pengujian pada *menu*. Riwayat data *monitoring* meliputi kemampuan untuk melakukan *Update*, dan *Delete* data pada data pengguna yang terhubung dengan database serta melakukan rekap dan *export* data ke *microsoft excel*, adapun hasil yang di dapat adalah sebagai berikut

Data History							Total Records	Last Update
							13	11.27.07
No	Tanggal	Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan Udara (%)	Kelembapan Tanah (%)	Status Pompa		
12	16/12/2025	11.27.07	24	95.6	0	ON		
11	16/12/2025	11.26.57	24	95.7	0	ON		
10	16/12/2025	11.26.52	24	95.7	0	ON		
9	16/12/2025	11.26.47	24	95.7	0	ON		
8	16/12/2025	11.26.42	24	95.8	0	ON		
7	16/12/2025	11.26.37	24	95.8	0	ON		
6	16/12/2025	11.26.32	24	95.8	0	ON		
5	16/12/2025	11.26.27	24	95.8	0	ON		
Download History (Excel)							Clear History	

Gambar 22. Hasil Pengujian Riwayat Data

Pengujian ini menunjukkan bahwa antarmuka *Interface monitoring* memiliki kemampuan mencatat dan merekap data hasil *monitoring*, yang kemudian dapat diekspor ke dalam format *Microsoft Excel*. Fitur ini tidak hanya mempermudah pengelolaan data pengguna, tetapi juga mendukung dokumentasi dan analisis lebih lanjut terkait aktivitas *monitoring* pada *interface* berbasis web, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan sistem

Tabel 13. Komponen Antarmuka Riwayat Data

No	Komponen Antarmuka	Fungsi
1	Data History	Menampilkan riwayat data sensor yang tersimpan, meliputi tanggal, waktu, suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan status pompa.
2	Download History	mengunduh data riwayat <i>monitoring</i> dalam format Excel untuk keperluan dokumentasi dan analisis lanjutan.
3	Clear History	untuk menghapus seluruh data riwayat <i>monitoring</i> yang tersimpan pada sistem.

Berdasarkan Tabel 13, Hasil *monitoring* yang telah tersimpan pada sistem *Smart Garden*. Informasi yang ditampilkan meliputi tanggal, waktu, suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta status pompa. Selain itu, pengguna dapat mengunduh data riwayat dalam format Excel untuk keperluan dokumentasi dan analisis lanjutan, serta menghapus data riwayat yang tersimpan apabila diperlukan.

4.5. Hasil Pengujian *Internet of Things*

Pengujian *Internet of Things (IoT)* dilakukan untuk mengetahui kesesuaian data antara tampilan antarmuka *monitoring (interface)* dengan data yang ditampilkan pada web *Antares*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sistem komunikasi data, akurasi informasi yang dikirimkan, serta waktu tunda (*delay*) pengiriman data dari perangkat *Smart Garden* ke platform *IoT*.

Tabel 14. Hasil Pengujian *IoT*

Pencobaan	Tampilan Interface	Tampilan Web <i>Antares</i>	Delay
1	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 52%, pompa ON	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 52%, pompa ONN	2 detik
2	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 53%, pompa ON	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 53%, pompa ONN	3 detik
3	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 51%, pompa ON	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 51%, pompa ONN	2 detik
4	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 53%, pompa ON	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 53%, pompa ON	2 detik
5.	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 52%, pompa ON	Suhu 31,5°C, kelembaban 69%, soil 52%, pompa ON	3 detik
Rata Rata Delay			2.4 detik

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 14, dapat diketahui bahwa data suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, serta status pompa air yang ditampilkan pada antarmuka *monitoring* memiliki kesesuaian dengan data yang diterima dan ditampilkan pada web *Antares*. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengiriman data dari perangkat *Smart Garden* ke platform *IoT* berjalan dengan baik tanpa adanya perbedaan nilai data.

Perbedaan waktu tampilan (*delay*) yang terjadi berada pada rentang 2 hingga 3 detik dengan nilai rata-rata sebesar 2,4 detik. Nilai *delay* tersebut masih berada dalam batas toleransi sistem *IoT* berbasis jaringan internet. *Delay* yang terjadi

dipengaruhi oleh kualitas koneksi jaringan serta proses pengiriman dan penerimaan data dari perangkat ke server *Antares*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem IoT pada *Smart Garden* mampu bekerja secara stabil dan andal dalam melakukan pengiriman data *monitoring* secara *real-time*.

4.6. Hasil Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari proses pengambilan data secara langsung pada *smart garden* saat beroperasi. Data dikumpulkan menggunakan sensor *soil moisture* dan sensor *DHT22* yang terpasang pada alat untuk memantau parameter kelembaban tanah, suhu udara dan kelembaban udara.

4.6.1. Dataset Mentah

Sebelum dataset digunakan untuk proses analisis dan pelatihan model *TinyML*, dilakukan tahapan *preprocessing data* untuk memastikan kualitas dan konsistensi data. Tahapan *preprocessing* ini bertujuan untuk mengurangi noise, menghilangkan data tidak valid, serta menyesuaikan format data agar sesuai dengan kebutuhan sistem pembelajaran mesin. Dataset hasil *preprocessing* terdiri dari 1000 data, yang selanjutnya digunakan untuk tahap pelabelan data.

Dataset tersebut diperoleh dari dua sumber, yaitu data hasil pengambilan langsung di kebun sawi selama 2 hari menggunakan sensor pada sistem *Smart Garden*, serta data tambahan yang dibuat secara manual untuk melengkapi variasi kondisi lingkungan yang diperlukan dalam proses pelatihan model. Data manual disusun berdasarkan rentang nilai realistis yang mengacu pada kondisi aktual kebun dan literatur terkait, sehingga tetap merepresentasikan kondisi lingkungan tanaman sawi secara wajar.

Tabel 15. Hasil dataset

No	Kelembaban Tanah	Suhu	Kelembaban udara
1	43.7	26	67.9
2	95.6	30	67.4
3	75.9	33.6	87.2
4	63.9	32.1	67.5
5	24	32.9	68.2
6	24	31.2	82.8
1000	50.1	27.1	86.1

Berdasarkan hasil data mentah yang ditunjukkan pada Tabel 15, data sensor telah berada pada rentang nilai yang wajar dan konsisten sesuai dengan kondisi

lingkungan kebun. Tidak terdapat nilai kosong maupun data ekstrem yang dapat mengganggu proses pembelajaran model. Dengan kualitas data yang baik setelah *preprocessing*, dataset ini dinilai layak untuk digunakan pada tahap pelabelan dan pelatihan model *TinyML* dalam sistem *Smart Garden* yang dikembangkan.

4.6.2. Hasil pembuatan label dataset

Pelabelan data dilakukan berdasarkan kondisi operasional sistem *Smart Garden* pada saat proses pengambilan data berlangsung. Data diklasifikasikan berdasarkan keputusan sistem dalam mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air. Data yang diambil ketika kondisi kelembaban tanah masih mencukupi sehingga pompa air tidak aktif diberi label 0 (normal), sedangkan data yang diambil ketika kelembaban tanah berada pada kondisi kering sehingga sistem mengaktifkan pompa air diberi label 1 (membutuhkan penyiraman).

Penentuan label tidak menggunakan nilai ambang batas tetap secara manual, melainkan berdasarkan keputusan sistem yang dihasilkan dari kombinasi data sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara. Dengan pendekatan ini, model *Artificial Neural Network* (ANN) mempelajari pola hubungan antar parameter serta batas klasifikasi secara mandiri dari data pelatihan.

Tabel 16. Hasil Label dataset

No	Kelembaban Tanah	Suhu	Kelembaban udara	Pompa
1	43.7	26	67.9	1
2	95.6	30	67.4	0
3	75.9	33.6	87.2	0
4	63.9	32.1	67.5	1
5	24	32.9	68.2	1
6	24	31.2	82.8	1
7	15.2	31.6	73.5	1

Berdasarkan hasil pelabelan pada Tabel 16, terlihat bahwa keputusan pengaktifan pompa air tidak hanya dipengaruhi oleh satu parameter saja, melainkan merupakan hasil dari kombinasi beberapa parameter lingkungan. Dataset yang telah dilabeli ini selanjutnya digunakan sebagai data latih dan data uji pada proses pelatihan model ANN berbasis *TinyML* untuk pengendalian penyiraman otomatis pada sistem *Smart Garden*.

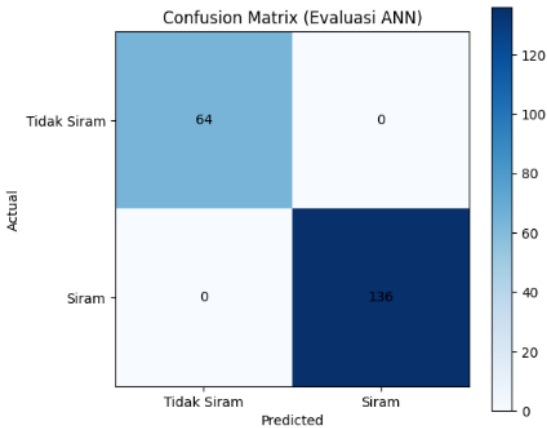
4.7. Hasil Pelatihan Model ANN

Pada tahap ini dilakukan pembahasan mengenai hasil pelatihan dan evaluasi model *Artificial Neural Network* (ANN) yang digunakan dalam sistem Smart

Garden. Setelah proses pelatihan selesai, model dievaluasi menggunakan beberapa metrik evaluasi untuk mengetahui tingkat akurasi dan keandalan model dalam melakukan klasifikasi kondisi penyiraman. Selain itu, pada bagian ini juga dibahas proses konversi model ke format *TensorFlow Lite* serta hasil integrasi model *TinyML* ke dalam sistem berbasis *ESP32*.

4.7.1. Hasil Evaluasi *Confusion Matrix*

Evaluasi kinerja model *Artificial Neural Network* (ANN) dilakukan menggunakan metode *confusion matrix* untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan kondisi penyiraman tanaman ke dalam dua kelas, yaitu *Tidak Siram* dan *Siram*. *Confusion matrix* digunakan untuk membandingkan hasil prediksi model dengan kondisi aktual pada data pengujian sehingga dapat diketahui tingkat akurasi dan kesalahan klasifikasi yang terjadi.



Gambar 23. Hasil *Confusion Matrix*

Berdasarkan hasil *confusion matrix* pada Gambar 23, diperoleh sebanyak 64 data aktual tidak siram yang berhasil diklasifikasikan dengan benar sebagai *Tidak Siram*, serta 136 data aktual siram yang berhasil diklasifikasikan dengan benar sebagai *Siram*. Tidak ditemukan kesalahan klasifikasi, baik pada kondisi *Tidak Siram* yang diprediksi sebagai *Siram* maupun sebaliknya. Hasil ini menunjukkan bahwa model ANN berbasis *TinyML* memiliki performa klasifikasi yang sangat baik dan mampu membedakan kondisi penyiraman secara akurat pada data pengujian yang digunakan.

4.7.2. Hasil Evaluasi *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*

Evaluasi kinerja model *Artificial Neural Network* (ANN) pada sistem *Smart Garden* dilakukan menggunakan metrik *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai kemampuan model dalam mengklasifikasikan kebutuhan penyiraman tanaman sawi ke dalam dua kelas, yaitu Tidak Siram dan Siram, berdasarkan data sensor *soil moisture*, suhu udara, dan kelembaban udara.

Tabel 17. Hasil Evaluasi Model

Kategori	Presisi %	Recal %	F1-Score %	Akurasi
Tidak Siram	100%	100%	100%	100%
Siram	100%	100%	100%	100%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 17, *classification report*, model ANN memperoleh nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* sebesar 1,00 pada kedua kelas. Nilai *precision* sebesar 1,00 menunjukkan bahwa seluruh keputusan penyiraman yang dihasilkan sistem sesuai dengan kondisi aktual, sehingga tidak terdapat kesalahan dalam mengaktifkan pompa air pada kondisi yang tidak memerlukan penyiraman. Nilai *recall* sebesar 1,00 menandakan bahwa model mampu mendeteksi seluruh kondisi tanah yang membutuhkan penyiraman tanpa ada data yang terlewat. Sementara itu, nilai *F1-Score* sebesar 1,00 menunjukkan keseimbangan yang sangat baik antara *precision* dan *recall*.

4.7.3. Konversi Model

Konversi model merupakan tahap setelah pelatihan dan evaluasi model *Artificial Neural Network* (ANN) selesai dilakukan, di mana model yang telah dilatih menggunakan *TensorFlow* dikonversi ke dalam format *TensorFlow Lite* (TFLite) agar dapat dijalankan pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32. Proses ini bertujuan untuk menyesuaikan ukuran dan kompleksitas model dengan keterbatasan memori dan kemampuan komputasi mikrokontroler sehingga model dapat dieksekusi secara efisien. Selanjutnya, file TFLite yang dihasilkan dikonversi ke dalam bentuk *header* file (*model.h*) agar dapat diintegrasikan langsung ke dalam program ESP32 sebagai bagian dari implementasi *TinyML*, sehingga proses prediksi efisiensi dapat dilakukan secara lokal dan *real-time* tanpa ketergantungan pada koneksi internet.

4.7.4. Hasil Intergrasi *TinyML*

Integrasi model dilakukan dengan memasukkan file *model.h* yang berisi hasil konversi model *Artificial Neural Network* (ANN) ke dalam program mikrokontroler ESP32. Model *TinyML* ini digunakan untuk melakukan proses inferensi secara lokal dengan memanfaatkan data sensor yang diperoleh secara *real-time*, yaitu

kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara. Data sensor tersebut diproses sebagai input model untuk menghasilkan prediksi kebutuhan penyiraman tanaman secara langsung.

```
#include "SmartGarden_ANN.h"
#include "TensorFlowLite_ESP32.h"
#include "tensorflow/lite/micro/all_ops_resolver.h"
#include "tensorflow/lite/micro/micro_error_reporter.h"
#include "tensorflow/lite/micro/micro_interpreter.h"
#include "tensorflow/lite/schema/schema_generated.h"
```

Gambar 24. Intergrasi *TinyML*

Integrasi model *TinyML* pada *ESP32* ditunjukkan melalui pemanggilan file model hasil konversi dalam bentuk header file *SmartGarden_ANN.h* ke dalam program utama mikrokontroler. File tersebut berisi model *Artificial Neural Network (ANN)* yang telah dikonversi ke format *TensorFlow Lite* dan direpresentasikan dalam bentuk array C agar dapat dimuat ke memori *ESP32*.

4.7. Hasil Pengujian Model

Pengujian *TinyML* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model *Artificial Neural Network (ANN)* yang telah diimplementasikan pada perangkat mikrokontroler *ESP32* dalam mengklasifikasikan tingkat kelembaban tanah. Model *TinyML* memproses data masukan yang diperoleh dari sensor kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara, kemudian menghasilkan keluaran berupa nilai prediksi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman otomatis pada sistem *Smart Garden*.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model *ANN* mampu bekerja secara akurat dan responsif dalam kondisi lingkungan yang berbeda, serta dapat memberikan keputusan yang sesuai terhadap kebutuhan penyiraman tanaman.

Tabel 18. Hasil Pengujian Model

No	Kelembaban Tanah	Suhu	Kelembaban Udara	Nilai Prediksi ANN	Status Pompa
1	29	29.2	65.0	0.53	ON
2	72	29.3	65.1	0.31	OFF
3	50	28.6	73.4	0.46	ON
4	68	27.8	75.9	0.36	OFF
5	30	27.8	77.1	0.56	OFF
6	26	31.6	64.4	0.60	ON

7	78	31.7	65.0	0.35	OFF
8	39	29.7	64.5	0.49	ON
9	28	29.2	64.8	0.53	ON
10	20	28.2	62.5	0.53	ON
11	37	27.7	63.4	0.44	ON
12	78	27.3	60.1	0.20	OFF
13	64	29.2	65.0	0.35	OFF
14	34	29.3	69.1	0.52	ON
15	65	27.2	60.0	0.26	OFF

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 18, model *TinyML* mampu mengklasifikasikan kondisi kelembaban tanah berdasarkan hasil prediksi *ANN* ke dalam beberapa tingkat yang merepresentasikan kebutuhan penyiraman tanaman. Pada kondisi tanah kering, nilai prediksi *ANN* berada pada nilai yang menunjukkan kebutuhan penyiraman, sehingga sistem mengaktifkan pompa air. Sebaliknya, pada kondisi tanah yang memiliki kelembaban cukup, model menghasilkan nilai prediksi yang menunjukkan bahwa penyiraman tidak diperlukan, sehingga pompa air berada pada kondisi mati.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa model *ANN* berbasis *TinyML* yang diimplementasikan pada *ESP32* mampu mendukung sistem *monitoring* dan pengendalian penyiraman otomatis secara efektif. Penerapan *TinyML* pada sistem *Smart Garden* ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta membantu menjaga kelembaban tanah agar tetap berada pada kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman sawi.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *Smart Garden: Monitoring dan Kontrol Perkebunan Sawi Berbasis IoT Menggunakan TinyML*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil memantau suhu udara, kelembaban udara, dan kelembaban tanah tanaman sawi secara *real-time* menggunakan sensor *DHT22* dan *soil moisture* yang terintegrasi dengan *ESP32* serta platform *Antares*. Hasil pengujian menunjukkan kinerja sensor yang baik, di mana pengukuran suhu memiliki rata-rata error sebesar 2,45% dengan akurasi 97,56% serta presisi 99,70%. Pada pengukuran kelembaban udara diperoleh rata-rata error 1,60% dengan akurasi 98,40% serta presisi 99,07%. Pada sensor kelembaban tanah, hasil pembacaan ADC menunjukkan nilai sekitar 1400 merepresentasikan kondisi tanah basah, sedangkan nilai sekitar 2800 menunjukkan kondisi tanah kering. Hal ini menunjukkan sistem *monitoring* mampu bekerja secara stabil dan berkelanjutan sesuai tujuan penelitian.
2. Model *machine learning* yang ditanamkan pada *ESP32* mampu mengklasifikasikan kondisi kelembaban tanah dan mengontrol pompa air secara otomatis. Sistem akan mengaktifkan pompa saat tanah kering dan menghentikannya saat kondisi lembab tercapai. Mekanisme ini menunjukkan bahwa teknologi *TinyML* dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis pada sistem penyiraman, sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien dan kondisi lingkungan tanaman dapat dijaga lebih optimal.
3. Model *Artificial Neural Network (ANN)* yang telah dilatih berhasil dikonversi ke *TensorFlow Lite* dan dijalankan langsung pada *ESP32*. Proses inferensi dapat dilakukan secara lokal tanpa ketergantungan penuh pada server *cloud*, sehingga sistem menjadi lebih responsif, hemat daya, dan stabil. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan *TinyML* efektif diterapkan pada sistem pertanian cerdas skala kecil.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pengembangan pada penelitian ini lebih lanjut, antara lain:

1. Untuk meningkatkan akurasi *monitoring* kondisi tanaman (sejalan dengan manfaat kemudahan pemantauan *real-time*), sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor lain seperti sensor pH

tanah, sensor intensitas cahaya, atau sensor nutrisi tanah sehingga kondisi pertumbuhan sawi dapat dianalisis lebih komprehensif.

2. Agar manfaat sistem sebagai sistem cerdas semakin maksimal, model machine learning dapat dikembangkan tidak hanya untuk klasifikasi penyiraman, tetapi juga untuk prediksi waktu penyiraman berikutnya atau deteksi kondisi stres tanaman berdasarkan pola data lingkungan.
3. Untuk mendukung manfaat peningkatan produktivitas dan keandalan sistem, perlu dilakukan pengujian dalam jangka waktu lebih lama dan pada kondisi cuaca berbeda guna mengetahui stabilitas sistem dalam penggunaan nyata di lapangan.
4. Untuk lebih mendukung efisiensi penggunaan air dan energi, sistem dapat dikembangkan menggunakan metode pengaturan debit air otomatis (misalnya kontrol PWM pada pompa) sehingga volume air yang diberikan benar-benar sesuai kebutuhan tanaman.
5. Agar manfaat kemudahan akses informasi semakin baik, tampilan dashboard monitoring dapat dikembangkan dengan fitur grafik tren data, notifikasi otomatis saat kondisi tanah terlalu kering/basah, serta akses melalui perangkat *mobile*.

Daftar Pustaka

- [1] Ayu Syahfitri, "Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya," *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 113–120, Jan. 2025, doi: 10.61132/uranus.v3i1.667.
- [2] A. F. Rahmah, Dwi Sartika Simatupang, and Alun Sujjada, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Tanaman Pada Greenhouse Berbasis Android Menggunakan Fuzzy Sugeno," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 4, no. 2, pp. 332–340, Aug. 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i2.5088.
- [3] Y. Setiawan, H. Tanudjaja, and S. Octaviani, "Penggunaan Internet of Things (IoT) untuk Pemantauan dan Pengendalian Sistem Hidroponik."
- [4] A. F. Rahmah, Dwi Sartika Simatupang, and Alun Sujjada, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Tanaman Pada Greenhouse Berbasis Android Menggunakan Fuzzy Sugeno," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 4, no. 2, pp. 332–340, Aug. 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i2.5088.
- [5] J. Erick Lumbantoruan *et al.*, "Monitoring dan Kontrol Tanaman Cabai berbasis Internet of Things dengan Menggunakan Aplikasi MIT App Inventor," pp. 179–187, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i6.641.
- [6] N. Schizas, A. Karras, C. Karras, and S. Sioutas, "TinyML for Ultra-Low Power AI and Large Scale IoT Deployments: A Systematic Review," Dec. 01, 2022, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/fi14120363.
- [7] T. Utari, I. Porman Pangaribuan, and R. S. Ardianto Priramadhi, "SISTEM KONTROL PENGGERAK ATAP OTOMATIS PADA BUDIDAYA TANAMAN TOMAT BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AUTOMATIC ROOF DRIVER CONTROL SYSTEM FOR TOMATO CULTIVATION BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK".
- [8] P. E. A Kaunang, S. R. U A Sompie, and A. S. M Lumenta, "Implementasi Google Internet of Things Core pada Monitoring Volume Ban Angin Mobil," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, pp. 163–170.
- [9] D. Auliya Saputra, N. Utami, and R. Setiawan, "RANCANG BANGUN ALAT PEMBERI PAKAN IKAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER," 2020.
- [10] K. Tri *et al.*, "KPJ 8(2) (2024) KAPPA JOURNAL Physics & Physics Education Perancangan Alat Ukur Kelembaban Tanah Menggunakan Capacitive Soil Moisture Sensor Berbasis Android," 2022, doi: 10.29408/kpj.v8i1.
- [11] Y. Didit, A. Putra, and C. Sari, "Pengaplikasian Sensor DHT22 Berbasis Arduino Sebagai Penetas Telur Ayam Kampung," 2022.
- [12] S. Bimo Mursalin and H. Sunardi, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Logika Fuzzy".

- [13] I. Darmawan, I. Kumara, and D. Khrisne, "SMART GARDEN SEBAGAI IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL DAN MONITORING TANAMAN BERBASIS TEKNOLOGI CERDAS," 2021.
- [14] P. Setiawan and E. Y. Anggraen, "Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian 2019 IBI DARMAJAYA Bandar Lampung," 2019.
- [15] P. Asriya and M. Yusfi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembaban Tanah Menggunakan Wireless Sensor Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 5, no. 4, 2016.
- [16] R. A. Najikh, M. Hannats, H. Ichsan, and W. Kurniawan, "Monitoring Kelembaban, Suhu, Intensitas Cahaya Pada Tanaman Anggrek Menggunakan ESP8266 Dan Arduino Nano," 2018. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [17] N. Nurdiana, "MONITORING KELEMBABAN TANAH PADA PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS," vol. 18, no. 1, p. p-ISSN, 2021.
- [18] H. Marcos and H. Muzaki, "MONITORING SUHU UDARA DAN KELEMBABAN TANAH PADA BUDIDAYA TANAMAN PEPAYA."
- [19] R. Saputra, I. Kuantan Singingi, I. K. Jl Gatot Subroto, K. Nenas, D. Jake, and K. Kuantan Singingi, "SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH DAN SUHU GREENHOUSE TANAMAN BAWANG MERAH BERBASIS IOT," 2021.

Biodata



Nama	: Gery Bulus Parsaulian Tampubolon
TTL	: Batam, 04 Oktober 2002
Agama	: Protestan
Alamat	: Sagulung Sempurna Rt 03 Rw 05 No 80
Email	: gerytam0410@gmail.com
Riwayat Pendidikan	SMA/SMK : SMAN 05 BATAM
	SMP : SMP TUNAS BARU

Lampiran

Lampiran berisi data pendukung penelitian yang dapat diakses melalui tautan berikut:

<https://drive.google.com/drive/folders/1L8QZv46OfMLUAX4ZoCem428h-8BRFdvw?usp=sharing>