



Perancangan Alat Ukur Parameter Tanah dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Android

Proyek Akhir

Oleh:

Larry Yudian Erlangga (3232311010)

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

Pernyataan Keaslian Proyek Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Proyek Akhir saya yang berjudul : "Perancangan Alat Ukur Parameter Tanah dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Android" 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, 4 Agustus 2025



Larry Yudian Erlangga
NIM: 3232311010

Lembar Pengesahan

Proyek Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar

Ahli Madya Teknik (AMd.T.)

di

Politeknik Negeri Batam

Oleh:

Larry Yudian Erlangga (3232311010)

Raja Hamonangan Panggabean S (3232311026)

Tanggal Sidang: 4 Agustus 2025

Disetujui oleh :

Penguji I



1. Aditya Gautama Darmoyono, S.T., M.T.
NIK: 117180

Pembimbing I



1. Ir. Kamarudin, S.T., M.T., IPM
NIK: 110071

Penguji II



2. Ardian Budi Kusuma Atmaja, S.Tr, M.T.
NIK: 214172

Logbook Bimbingan Proyek Akhir

FORMULIR LOGBOOK BIMBINGAN DAN PENGAJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Larry Yudian Erlangga
NIM : 3232311010
Pembimbing I : Ir. Kamarudin S.T., M.T., IPM
Pembimbing II : -
Judul : Perancangan Alat Ukur Nutrisi dan kondisi Tanah dengan Visualisasi Data pada Aplikasi Android

No	Hari/Tgl	Rincian Kegiatan	TTD Pembimbing I & II	
1	03 Mei 2025	Identifikasi Masalah dan Studi Literatur		
2	16 Mei 2025	Perencanaan Alat dan Sistem		
3	23 Mei 2025	Penyusunan dan Bimbingan Jobdesk Android dan Multimeter Tanah		
4	28 Mei 2025	Bimbingan Bab I		
5	5 Juni 2025	Konsultasi Interface LCD Nextion		
6	13 Juni 2025	Bimbingan Bab II		
7	20 Juni 2025	Konsultasi Permasalahan Elektrikal (PCB)		
8	26 Juni 2025	Bimbingan Bab III dan Bab IV		
9	03 Juli 2025	Konsultasi Sistem Alat		
10	11 Juli 2025	Bimbingan Progress		

Berdasarkan hasil bimbingan yang telah dilaksanakan selama 3 bulan dan telah disetujui oleh dosen pembimbing, maka dengan ini saya mengajukan diri sebagai peserta Sidang Tugas Akhir.

Batam, 15 Juli 2025
Peserta



Larry Yudian Erlangga
NIM:

Sistem Monitoring Parameter Tanah pada Lahan Perkebunan Menggunakan Metode AI Berbasis IoT

Abstrak

Sistem monitoring nutrisi dan kondisi tanah perkebunan dengan menggunakan teknologi AI (*Artificial Intelligence*) berbasis IoT (*Internet of Things*) dirancang untuk membantu petani dalam memantau kondisi tanah secara real-time, memberikan rekomendasi pupuk NPK, serta menyarankan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lingkungan. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor, termasuk sensor anemometer, sensor arah angin, sensor suhu dan kelembapan udara (SHT20), sensor suhu tanah (DS18B20), sensor kelembapan tanah, sensor pH tanah, sensor hujan, dan sensor NPK 7-in-1 untuk mendeteksi kadar nutrisi tanah. Data yang dikumpulkan oleh sensor akan diolah oleh kontroler utama menggunakan algoritma AI untuk menghasilkan rekomendasi yang tepat. Hasil analisis ini ditampilkan melalui aplikasi dan antarmuka web sehingga memudahkan petani untuk mengakses informasi. Sistem ini juga dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber daya utama, memungkinkan perangkat beroperasi secara berkelanjutan di lokasi terpencil tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional. Dengan sistem ini, petani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengoptimalkan hasil panen, dan mengurangi risiko kerugian akibat kondisi tanah yang tidak terpantau. Diharapkan, teknologi ini menjadi solusi inovatif dalam menghadapi tantangan sektor pertanian, seperti perubahan iklim dan penurunan kesuburan tanah.

Kata kunci: Sistem Monitoring, Artificial Intelligency (AI), Internet of Things (IoT).

An IoT-Based AI System for Monitoring Soil Parameters in Plantation Lands

Abstract

Plantation nutrition and soil condition monitoring system using Artificial Intelligence (AI) technology based on the Internet of Things (IoT) is designed to help farmers monitor soil conditions in real time, provide NPK fertilizer recommendations, and suggest types of plants that are suitable for environmental conditions. This system integrates various sensors, including anemometer sensors, wind direction sensors, air temperature and humidity sensors (SHT20), soil temperature sensors (DS18B20), soil moisture sensors, soil pH sensors, rain sensors, and 7-in-1 NPK sensors to detect soil nutrient levels. Data collected by the sensors will be processed by the main controller using AI algorithms to produce appropriate recommendations. The results of this analysis are displayed through applications and web interfaces, making it easier for farmers to access information. This system is also equipped with solar panels as the main power source, allowing the device to operate sustainably in remote locations without relying on conventional electricity networks. With this system, farmers can increase the efficiency of fertilizer use, optimize crop yields, and reduce the risk of losses due to unmonitored soil conditions. It is hoped that this technology will be an innovative solution in facing challenges in the agricultural sector, such as climate change and decreasing soil fertility.

Keywords: monitoring system, Artificial Intelligenci (AI), Internet of Things (IOT).

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena karunianya penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini. Proyek akhir yang berjudul “Sistem Monitoring Parameter Tanah pada Lahan Perkebunan menggunakan Metode AI Berbasis IoT” ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (AMd.T.) di Politeknik Negeri Batam. Proyek akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari pihak, yakni Bapak Ir. Kamarudin, S.T., M.T., IPM., selaku dosen pembimbing, teman-teman yang senantiasa membantu dan memberikan semangat kepada penulis, dan orang tua serta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Untuk itu penulis ucapkan terima kasih atas kontribusi bantuan dalam berbagai bentuk. Demikian semoga laporan proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan juga untuk penulis sendiri.

Batam, 4 Agustus 2025



Larry Yudian Erlangga

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Proyek Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Logbook Bimbingan Proyek Akhir	iii
Abstrak.....	iv
Abstract	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	3
2.1. Unsur Hara Tanah	3
2.2. Mikrokontroler	3
2.3. Sensor	3
2.3.1. Sensor NPK 7in1	4
2.3.2. Sensor Arah Angin	4
2.3.3. Sensor Suhu dan Kelembapan Udara	4
2.3.4. Sensor Hujan	4
2.3.5. Sensor PH Tanah.....	4
2.3.6. Sensor Suhu Tanah	5
2.3.7. Sensor Kelembapan Tanah	5
2.4. User Interface	5
2.5. Keypad	5
2.6. Internet of Things	6
2.7. Parameter Kondisi Optimal Tanaman	6
2.8. Logika Fuzzy	6
Bab 3. Metode Pelaksanaan	8
3.1. Perancangan	8
3.1.1. Perancangan dan Fabrikasi Elektrikal	9
3.1.2. Perancangan dan Fabrikasi Mekanikal.....	9
3.1.3. Perancangan User Interface	9
3.1.4. Pembuatan Program Mikrokontroler	9
3.1.5. Perancangan Logika Fuzzy	9
3.2. Pengujian	10
3.2.1. Pengujian Sensor	11
3.2.2. Pengujian Internet of Things dan AI	11

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan	13
4.1. Hasil Pengujian Sensor.....	13
4.1.1. Hasil Pengujian Sensor NPK 7IN1	13
4.1.2. Hasil Pengujian Sensor SHT20	15
4.1.3. Hasil Pengujian Sensor PH Tanah	16
4.1.4. Hasil Pengujian Sensor Suhu Tanah	17
4.1.5. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah	17
4.2. Pengujian Sistem Internet of Things dan AI	18
4.2.1. Hasil Pengujian Website	18
4.2.2. Hasil Pengujian Aplikasi Android Studio	18
4.2.3. Hasil Implementasi Logika Fuzzy	18
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	19
5.1. Kesimpulan	19
5.2. Saran.....	20
Daftar Pustaka	21
Biodata	23
Lampiran.....	24

Daftar Gambar

Gambar 1. Flowchart 8

Daftar Tabel

Tabel 1. Hasil pengujian NPK untuk nitrogen	13
Tabel 2. Hasil pengujian NPK untuk fosfor	13
Tabel 3. Hasil pengujian NPK untuk kalium	14
Tabel 4. Hasil pengujian NPK untuk PH Tanah	14
Tabel 5. Hasil pengujian NPK untuk Suhu Tanah	14
Tabel 6. Hasil pengujian NPK untuk kelembaban tanah	15
Tabel 7. Hasil pengujian NPK untuk konduktivitas listrik	15
Tabel 8. Hasil pengujian sensor kelembaban udara	15
Tabel 9. Hasil pengujian sensor suhu udara	16
Tabel 10. Hasil pengujian sensor pH tanah	16
Tabel 11. Hasil pengujian sensor suhu tanah	17
Tabel 12. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah	17

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang didominasi oleh kegiatan di sektor pertanian [1]. Jumlah unit usaha pertanian di Indonesia pada tahun 2023 sebanyak 29.360.833. Usaha mandiri sebanyak 29.342.202, Usaha berbadan hukum sebanyak 5.705 dan usaha pertanian lainnya sebanyak 12.926. Kemudian pada data angka tetap Luas panen padi pada 2023 diperkirakan sekitar 10,21 juta hektare, mengalami penurunan sebanyak 255,79 ribu hektare atau 2,45 persen dibandingkan luas panen padi di 2022 yang sebesar 10,45 juta hektare [2]. Luas panen Cabe rawit pada tahun 2021 mengalami penurunan sebanyak 1,738 hektare dari 181,043 hektare pada tahun 2020 menjadi 179,305 hektare pada tahun 2021 dan luas panen pada tanaman kacang Panjang tahun 2021 mengalami penurunan sebanyak 931 hektare dari 52,170 hektare tahun 2020 menjadi 51,239 [3].

Salah satu faktor penyebab turunnya hasil panen pertanian di Indonesia adalah mayoritas petani di Indonesia masih menggantungkan pada perubahan iklim dalam pengolahan lahan pertanian. Perubahan iklim berdampak pada pola tanam oleh petani, misalnya petani mulai bercocok tanam ketika akan memasuki musim hujan. Ketika musim kemarau tiba, lahan pertanian menjadi kekurangan air. Pada musim pancaroba sering muncul hama yang dapat merusak tanaman pertanian [4]. Faktor lain dari penyebab penurunan hasil panen adalah kondisi tanah yang tidak subur serta kekurangan unsur hara pada tanah dapat menyebabkan tanaman tidak sehat [5].

Mengenai permasalahan diatas, kami merancang sebuah karya inovatif untuk mendeteksi kondisi pada tanah yang dilengkapi dengan rekomendasi kadar pupuk yang mempermudah petani menganalisis kebutuhan pada tanaman dan rekomendasi jenis tanaman berdasarkan situasi iklim. Alat tersebut dilengkapi dengan berbagai sensor penunjang. Kemudian data-data hasil pengukuran dikirimkan ke database kemudian ditampilkan pada *interface* aplikasi dan *website*. Perangkat *monitoring* juga dilengkapin dengan panel surya yang dimana perangkat tersebut akan 24 jam berada di titik pemantauan tanah dan juga menghemat penggunaan energi listrik. Diharapkan dengan proyek ini masalah pemantauan kondisi tanah pada tanaman dapat teratasi agar tidak terjadi gagal panen.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara alat tersebut dapat merekomendasikan jenis tanaman yang harus ditanam berdasarkan kondisi iklim
2. Bagaimana cara membuat tampilan *website* dan aplikasi *mobile user friendly*

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini yaitu menghasilkan sebuah alat yang dapat mendeteksi unsur hara tanah, memonitoring kondisi tanah dan memberikan rekomendasi jenis tanaman yang cocok ditanam serta memberikan rekomendasi kadar pupuk NPK.

1.4. Manfaat

Dengan adanya alat tersebut diharapkan dapat membantu petani menurunkan angka kegagalan hasil panen serta mengurangi resiko kerugian.

1.5. Batasan

Adapun batasan masalah dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Area monitoring terbatas pada satu titik lokasi atau lahan kecil
2. Hasil pengukuran kondisi cuaca hanya dapat dilihat melalui website atau aplikasi android apabila terhubung dengan koneksi internet.
3. Sensor kecepatan angin dan sensor arah mata angin tidak memiliki alat kalibrator sehingga nilai pengukurannya masih belum akurat.
4. Penentuan jenis dan dosis sampel pupuk NPK untuk pengujian lapangan masih menjadi kendala utama. Kandungan yang tertera pada kemasan pupuk (misalnya N,P,K 5,79%) tidak selalu langsung terbaca secara proporsional oleh sensor.
5. Pengujian tidak mencakup validasi terhadap hasil laboratorium, sehingga keakuratan sensor hanya dibandingkan terhadap nilai yang diasumsikan berdasarkan dosis campuran pupuk.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Unsur Hara Tanah

Unsur hara tanah merupakan komponen esensial yang sangat menentukan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Unsur hara dibagi menjadi dua kategori, yaitu makro dan mikro. Makronutrien mencakup nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebagai unsur utama, serta kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S) sebagai unsur sekunder. Sementara itu, unsur mikronutrien meliputi besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), dan boron (B), yang walaupun dibutuhkan dalam jumlah kecil, tetap penting bagi metabolisme tanaman.

Ketersediaan unsur hara makro seperti N, P, dan K sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan tanah, khususnya pH tanah dan kandungan bahan organik (Soil Organic Matter/SOM). Tanah dengan pH terlalu rendah (<5,5) akan mengalami pengikatan fosfor sehingga tidak tersedia bagi tanaman, sedangkan tanah dengan pH netral hingga sedikit basa cenderung memiliki ketersediaan hara yang lebih optimal. Selain itu, bahan organik berperan dalam menyediakan cadangan nitrogen dan fosfor secara bertahap serta meningkatkan daya tukar kation (CEC), yang penting untuk mempertahankan ketersediaan kalium [6].

2.2. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan salah satu terobosan teknologi microelektronik yang handal, oleh karena itu mikrokontroler hadir untuk memenuhi keperluan industri dan konsumen akan kebutuhan alat-alat bantu [7]. Mikrokontroler pada proyek kali ini adalah ESP 32 yang berfungsi mengolah data dari hasil pembacaan sensor yang nantinya ditampilkan pada *interface*.

2.3. Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengubah suatu besaran fisik atau kimia menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan dianalisis. Dalam konteks pertanian presisi, sensor berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kandungan unsur hara tanah secara real-time.

Sensor merupakan komponen utama dalam sistem pertanian berbasis teknologi, terutama ketika diintegrasikan dalam jaringan sensor nirkabel. Sensor memungkinkan pengambilan data secara otomatis dan kontinu, sehingga informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan secara tepat, efisien, dan berbasis data dalam pengelolaan lahan pertanian [8].

2.3.1. Sensor NPK 7in1

Sensor NPK 7-in-1 adalah perangkat digital yang mampu mengukur tujuh parameter tanah secara bersamaan, yaitu: nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), suhu tanah, kelembapan tanah, pH tanah, dan konduktivitas listrik (EC). Sensor ini menggunakan metode elektrokimia dan kapasitif untuk mendeteksi kondisi tanah secara real-time dan akurat. sensor ini dilengkapi dengan probe stainless steel anti-karat dan sistem isolasi internal yang memungkinkan pengukuran stabil di berbagai jenis tanah. Sensor ini juga mendukung output RS485 MODBUS, sehingga dapat diintegrasikan ke berbagai sistem monitoring otomatis seperti IoT pertanian atau mikrokontroler [9].

Sensor anemometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Cup anemometer menggunakan tiga cangkir berbentuk setengah bola yang dipasang pada sebuah sumbu horizontal. Ketika angin 4 menerpa cangkir, maka sumbu akan berputar dan frekuensi putarannya akan diukur dan dikonversi menjadi kecepatan angin [10].

2.3.2. Sensor Arah Angin

Pengukuran arah angin dilakukan menggunakan sensor hall effect yang terintegrasi dengan mikrokontroler. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi arah angin [11].

2.3.3. Sensor Suhu dan Kelembapan Udara

Sensor SHT20 adalah sensor digital tipe CMOSens yang mengukur suhu dan kelembapan relatif dengan akurasi tinggi ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ & $\pm 2\%$ RH). Menggunakan antarmuka I²C [12].

2.3.4. Sensor Hujan

Sensor pendeteksi hujan atau rain drop digunakan untuk memonitor berbagai kondisi hujan yang dikonversi ke beberapa sinyal output digital dan analog. Sensor memakai material FR-04 berkualitas tinggi dua sisi dengan permukaan dilapis nikel, anti oksidasi dan daya tahan superior [13].

2.3.5. Sensor PH Tanah

Sensor pH tanah merupakan sensor pendeteksi keasaman (acid) atau kebasaan (alkali) tanah. Skala pH yang dapat diukur oleh sensor pH tanah ini memiliki range 3,5 hingga 15 [14].

2.3.6. Sensor Suhu Tanah

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang menggunakan antarmuka 1-Wire, artinya hanya membutuhkan satu jalur data (ditambah ground) untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler [15].

2.3.7. Sensor Kelembaban Tanah

Sensor soil moisture atau sensor kelembaban tanah, adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur kadar air atau kelembaban dalam tanah [16].

2.4. User Interface

User interface merupakan bagian dari sistem yang berfungsi untuk memfasilitasi interaksi langsung antara pengguna dengan perangkat. Antarmuka ini berupa serangkaian tampilan grafis yang dirancang agar dapat dioperasikan oleh pengguna serta diprogram sedemikian rupa sehingga dapat dikenali dan dijalankan oleh sistem operasi komputer sesuai fungsinya. Pada sistem ini, user interface diwujudkan dalam bentuk aplikasi Android dan tampilan website yang memudahkan pengguna memantau data serta mengoperasikan perangkat. Untuk menampilkan informasi secara langsung pada alat, digunakan LCD Nextion Enhanced NX3224K028 2.8" yang dikonfigurasi melalui sambungan antara pin-pin LCD dengan port mikrokontroler. Tampilan pada LCD ini memuat data hasil pembacaan sensor NPK 7 in 1, meliputi kadar nitrogen, fosfor, kalium, pH tanah, suhu, dan kelembaban, serta dilengkapi dengan tombol navigasi guna memudahkan perpindahan menu [17].

2.5. Keypad

Keypad adalah perangkat input elektronik yang terdiri dari deretan tombol (angka, simbol atau huruf) yang disusun dalam pola baris dan kolom (matrix). Pada produk ini keypad digunakan sebagai tombol ke beberapa menu yaitu :

1. *Zero* = menginisialisai produk.
2. *Hold* = Jika ditekan maka hasil pembacaan akan *freeze*.
3. *Save* = menyimpan hasil pembacaan sensor.
4. *On/off* = menghidupkan atau mematikan produk.
5. *Up, down, Left and Right* = sebagai *selection*
6. Alphanumeric = sebagai karakter untuk input, penyimpanan data, atau penamaan, yang memungkinkan campuran huruf dan angka.

dengan menggunakan *membran switch* dengan tipe sirkuit *layer metal dome type* [18].

2.6. Internet of Things

Sebuah konsep teknologi yang canggih memanfaatkan konektivitas internet adalah *Internet of Things* (IoT). IoT menyambungkan alat-alat fisik seperti sensor suhu, sensor NPK, sensor kelembaban dan lainnya secara berkelanjutan untuk mengirim data, menerima data dan atau mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui perantara internet sebagai media pertukaran data dan informasi dari perangkat satu ke perangkat yang lainnya [19].

2.7. Parameter Kondisi Optimal Tanaman

Setiap jenis tanaman memiliki syarat lingkungan tertentu yang harus dipenuhi agar pertumbuhan dan hasil panen optimal. Pada penelitian ini digunakan tiga parameter lingkungan utama, yaitu kelembapan tanah, kelembapan udara, dan suhu udara, karena berpengaruh signifikan terhadap fisiologi dan produktivitas tanaman [20]. Kelembapan tanah berperan dalam penyediaan air dan nutrisi, sehingga kondisi yang terlalu kering dapat menyebabkan tanaman mengalami kekeringan, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat memicu pembusukan akar [21]. Kelembapan udara memengaruhi laju transpirasi, di mana kelembapan terlalu rendah meningkatkan penguapan air dan kelembapan terlalu tinggi memicu perkembangan penyakit jamur [22]. Suhu udara berpengaruh pada metabolisme tanaman, kecepatan pertumbuhan, serta perkembangan bunga dan buah, sehingga setiap tanaman memiliki kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan maksimal [23].

Berdasarkan literatur, kondisi optimal untuk tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: cabai memiliki kelembapan tanah optimal 60–80%, kelembapan udara 50–80%, dan suhu udara 18–30 °C [24][25]. Timun membutuhkan kelembapan tanah 70–90%, kelembapan udara 70–90%, dan suhu udara 20–30 °C [26]. Kentang memiliki kelembapan tanah optimal 60–80%, kelembapan udara 70–90%, dan suhu udara 15–22 °C [27]. Tomat membutuhkan kelembapan tanah 60–80%, kelembapan udara 65–85%, dan suhu udara 20–30 °C. Semangka memerlukan kelembapan tanah 70–90%, kelembapan udara 70–90%, dan suhu udara 20–30 °C. Jagung optimal pada kelembapan tanah 60–80%, kelembapan udara 60–80%, dan suhu udara 20–30 °C, sedangkan bayam memiliki kelembapan tanah optimal 70–90%, kelembapan udara 70–90%, dan suhu udara 18–25 °C [28]. Parameter-parameter inilah yang menjadi dasar perancangan fungsi keanggotaan dalam sistem logika fuzzy yang digunakan pada penelitian ini.

2.8. Logika Fuzzy

Logika fuzzy pada sistem ini diimplementasikan menggunakan metode Mamdani untuk memberikan rekomendasi jenis tanaman berdasarkan kondisi lingkungan pada periode tertentu. Sistem tidak menggunakan data sensor real-

time, tetapi memanfaatkan data historis yang lebih representatif terhadap kondisi musiman. Pengguna memilih periode tanggal awal dan akhir pada aplikasi web, kemudian sistem otomatis mengambil data sensor dari Firebase untuk periode yang sama pada tahun sebelumnya. Data yang digunakan berupa nilai rata-rata kelembapan tanah, kelembapan udara, dan suhu udara. Nilai rata-rata tersebut digunakan sebagai input untuk proses fuzzy.

Setiap parameter input difuzzifikasi ke dalam tiga himpunan linguistik: rendah, sedang, dan tinggi. Fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk segitiga tanpa overlap, sehingga setiap nilai input hanya termasuk ke dalam satu kategori dengan derajat keanggotaan penuh pada kategori tersebut dan bernilai nol pada kategori lainnya. Pemilihan desain tanpa overlap dilakukan untuk menyederhanakan proses komputasi pada mikrokontroler [29], menghindari ambiguitas hasil inferensi [30], serta sesuai dengan karakteristik parameter pertanian yang umumnya memiliki batas optimal yang tegas [31].

Berdasarkan parameter optimal tanaman yang digunakan sebagai acuan fuzzy tersebut, dibangun basis aturan fuzzy (rule base) yang memetakan kombinasi kategori input ke keluaran rekomendasi tanaman. Sebagai contoh: *“Jika kelembapan tanah sedang DAN kelembapan udara sedang DAN suhu udara sedang, maka keluaran = cabai”* dan *“Jika kelembapan tanah sedang DAN kelembapan udara tinggi DAN suhu udara rendah, maka keluaran = kentang”*. Proses inferensi menggunakan operator minimum (min) untuk menentukan kekuatan aktivasi aturan dan operator maksimum (max) untuk menggabungkan aturan yang memiliki keluaran sama.

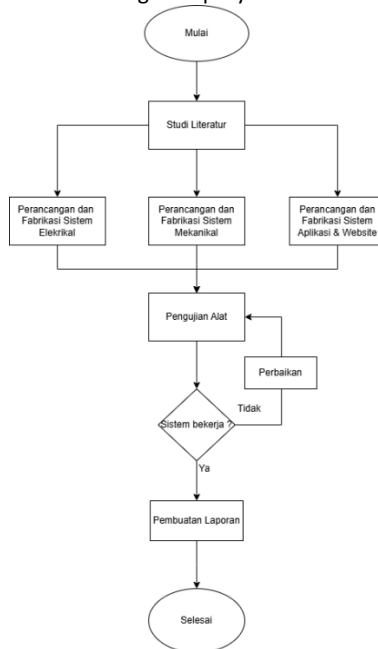
Keluaran inferensi berupa himpunan fuzzy kemudian diubah menjadi nilai crisp menggunakan metode centroid. Hasil defuzzifikasi menghasilkan nilai keluaran untuk setiap aturan yang dipetakan langsung ke masing-masing tanaman. Seluruh nilai keluaran tersebut dibandingkan, sehingga tanaman dengan keluaran paling mendekati kondisi optimal ditetapkan sebagai rekomendasi. Sistem juga memungkinkan lebih dari satu tanaman direkomendasikan jika beberapa tanaman memiliki keluaran dengan nilai yang relatif seimbang.

Dengan pendekatan ini, sistem mampu memberikan rekomendasi tanaman yang relevan dengan kondisi musiman berdasarkan data historis, sekaligus ringan secara komputasi karena menggunakan fungsi keanggotaan segitiga tanpa overlap dan basis aturan sederhana, sehingga sesuai untuk diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32.

Bab 3. Metode Pelaksanaan

3.1. Perancangan

Tahapan pelaksanaan proyek diuraikan pada Gambar 1 yang menjelaskan secara umum urutan pelaksanaan kegiatan proyek akhir.



Gambar 1. Flowchart tahapan perancangan

Perancangan sistem ini mencakup aspek mekanikal, elektrikal, antarmuka, serta pengembangan perangkat lunak yang akan ditanamkan pada mikrokontroler. Pada bagian mekanikal, dilakukan proses pembuatan desain, penataan tata letak komponen, hingga fabrikasi model 3D untuk memastikan integrasi yang presisi. Pada aspek elektrikal, mencakup perancangan desain PCB, penempatan komponen elektronik, pengaturan distribusi daya, serta proses pembuatan PCB itu sendiri. Untuk antarmuka, sistem dirancang dengan tampilan yang dapat diakses melalui LCD dan menggunakan keypad pada multimeter, serta dilengkapi dukungan pemantauan melalui aplikasi mobile dan website. Sementara itu, perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan aplikasi, serta pemrograman.

3.1.1. Perancangan dan Fabrikasi Elektrikal

Perancangan Elektrikal pada Sistem ini dengan membuat PCB Shiel ESP32 yang akan terhubung beberapa komponen elektronika yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler sebagai kontroler proses sistem. Terdapat juga beberapa sensor yaitu sensor NPK 7 in 1, Sensor *Anemometer*, Sensor arah angin, Sensor SHT20, Sensor Hujan, Sensor kelembapan tanah, Sensor suhu tanah, Sensor PH tanah, Modul *Step down* DC dan batre 12 volt.

3.1.2. Perancangan dan Fabrikasi Mekanikal

Proses perancangan Mekanikal pada proyek ini dirancang menggunakan aplikasi *Autocad* dan *SolidWork*. Desain yang dihasilkan berupa 3D sebuah casing multimeter tanah, panel sistem *monitoring*, dudukan sensor hujan dan *keypad* pada *casing multimeter* tanah. Kemudian desain dari dudukan sensor hujan ditecak menggunakan 3D printing dengan ketebatalan 3mm. Alat monitoring yang telah di desain kemudian dibuat dengan menggunakan alluminium profiles dan menggunakan panel box.

3.1.3. Perancangan User Interface

Sistem ini dilengkapi antarmuka pengguna (user interface) berupa website dan aplikasi Android. Aplikasi Android dikembangkan menggunakan Android Studio dengan memanfaatkan bahasa pemrograman JavaScript dan XML, sedangkan website dibangun melalui Visual Studio menggunakan kombinasi JavaScript, CSS, dan PHP. Antarmuka ini dirancang untuk mempermudah pengguna dalam memantau hasil pengukuran sensor, memperoleh analisis kondisi tanah, serta melihat rekomendasi kebutuhan pupuk secara langsung dan rekomendasi tanaman.

3.1.4. Pembuatan Program Mikrokontroler

ESP32 merupakan mikrokontroler yang diprogram menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan seluruh sensor yang terpasang sehingga dapat melakukan pengukuran secara otomatis. Selain itu, ESP32 juga diprogram untuk mengintegrasikan fungsi Internet of Things (IoT), memungkinkan data hasil pembacaan sensor dikirimkan secara real-time ke database.

3.1.5. Perancangan Logika Fuzzy

Perancangan Logika fuzzy pada sistem ini diimplementasikan menggunakan metode Mamdani untuk memberikan rekomendasi jenis tanaman berdasarkan kondisi lingkungan pada periode tertentu. Sistem tidak menggunakan data sensor real-time, tetapi memanfaatkan data historis yang lebih representatif terhadap kondisi musiman. Pengguna memilih periode tanggal awal dan akhir pada aplikasi

web, kemudian sistem otomatis mengambil data sensor dari Firebase untuk periode yang sama pada tahun sebelumnya. Data yang digunakan berupa nilai rata-rata kelembapan tanah, kelembapan udara, dan suhu udara. Nilai rata-rata tersebut digunakan sebagai input untuk proses fuzzy.

Setiap parameter input difuzzifikasi ke dalam tiga himpunan linguistik: rendah, sedang, dan tinggi. Fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk segitiga tanpa overlap, sehingga setiap nilai input hanya termasuk ke dalam satu kategori dengan derajat keanggotaan penuh pada kategori tersebut dan bernilai nol pada kategori lainnya. Pemilihan desain tanpa overlap dilakukan untuk menyederhanakan proses komputasi pada mikrokontroler, menghindari ambiguitas hasil inferensi, serta sesuai dengan karakteristik parameter pertanian yang umumnya memiliki batas optimal yang tegas.

Berdasarkan parameter optimal tanaman yang digunakan sebagai acuan fuzzy tersebut, dibangun basis aturan fuzzy (rule base) yang memetakan kombinasi kategori input ke keluaran rekomendasi tanaman. Sebagai contoh: *“Jika kelembapan tanah sedang DAN kelembapan udara sedang DAN suhu udara sedang, maka keluaran = cabai”* dan *“Jika kelembapan tanah sedang DAN kelembapan udara tinggi DAN suhu udara rendah, maka keluaran = kentang”*. Proses inferensi menggunakan operator minimum (min) untuk menentukan kekuatan aktivasi aturan dan operator maksimum (max) untuk menggabungkan aturan yang memiliki keluaran sama. Untuk grafik parameter optimal dapat dilihat pada lampiran.

Keluaran inferensi berupa himpunan fuzzy kemudian diubah menjadi nilai crisp menggunakan metode centroid. Hasil defuzzifikasi menghasilkan nilai keluaran untuk setiap aturan yang dipetakan langsung ke masing-masing tanaman. Seluruh nilai keluaran tersebut dibandingkan, sehingga tanaman dengan keluaran paling mendekati kondisi optimal ditetapkan sebagai rekomendasi. Sistem juga memungkinkan lebih dari satu tanaman direkomendasikan jika beberapa tanaman memiliki keluaran dengan nilai yang relatif seimbang.

Dengan pendekatan ini, sistem mampu memberikan rekomendasi tanaman yang relevan dengan kondisi musiman berdasarkan data historis, sekaligus ringan secara komputasi karena menggunakan fungsi keanggotaan segitiga tanpa overlap dan basis aturan sederhana, sehingga sesuai untuk diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32.

3.2. Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan tingkat keberhasilan sistem. Sistem yang telah dirancang kemudian diuji baik secara parsial pada masing-masing komponen maupun secara menyeluruh untuk mengevaluasi kinerja dan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang diharapkan.

3.2.1. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan kinerja dan akurasi sensor dalam sistem yang telah dirancang. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana sensor mampu menghasilkan data yang akurat dan andal sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Tahapan pengujian meliputi:

1. Menghubungkan sensor dengan mikrokontroler, perangkat lunak pemrograman, multimeter, serta bahan uji yang relevan.
2. Melakukan kalibrasi sensor sesuai panduan pabrik, dengan pengukuran pada kondisi referensi seperti tanah kering dan basah.
3. Menyusun program sederhana untuk membaca data sensor dan memverifikasi output terhadap kondisi aktual.
4. Menguji sensor pada berbagai kondisi uji, lalu membandingkan hasil pembacaan dengan nilai referensi untuk menilai tingkat akurasi.
5. Melakukan pengujian berulang pada kondisi yang sama guna memastikan konsistensi dan kestabilan hasil pengukuran.
6. Mengevaluasi hasil dengan menghitung nilai *mean absolute percentage error (MAPE)* untuk mengetahui tingkat keakuratan, serta standar deviasi untuk menilai tingkat presisi sensor.

3.2.2. Pengujian Internet of Things dan AI

Pengujian IoT dan AI bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi secara real-time, stabil, dan akurat dalam mengirimkan data sensor, menampilkan hasil pada aplikasi maupun website, serta memberikan rekomendasi berbasis logika fuzzy. Pengujian dilakukan setelah seluruh perangkat keras dan perangkat lunak selesai dirakit dan diintegrasikan. Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Koneksi dan Integrasi Perangkat IoT
Pengujian awal dilakukan untuk memastikan seluruh perangkat berbasis ESP32 dapat:
 - Terkoneksi ke jaringan WiFi yang tersedia,
 - Mengakses Firebase Realtime Database,
 - Sinkronisasi waktu menggunakan NTP Server.
2. Pengujian Transfer dan Visualisasi Data Sensor
Dilakukan dengan cara membaca data dari sensor (kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, pH, dsb) dan mengamati:
 - Apakah data muncul secara real-time pada aplikasi Android dan website,
 - Apakah ada delay atau data loss saat pengiriman ke Firebase,
 - Konsistensi nilai yang ditampilkan dibandingkan hasil pembacaan manual.
3. Pengujian Stabilitas dan Keandalan Jaringan

Dilakukan uji coba dengan:

- Membiarkan sistem berjalan terus-menerus selama ≥ 24 jam,
 - Mengamati apakah sistem tetap terhubung, tidak hang atau reset otomatis,
 - Menghitung persentase uptime dan mendeteksi kemungkinan disconnect.
4. Pengujian Kecerdasan Buatan (Rekomendasi Tanaman)
- Melibatkan uji logika fuzzy berbasis kondisi aktual, yaitu:
- Input: Data parameter yang sesuai/tidak sesuai dengan rentang ideal,
 - Proses: Inferensi fuzzy berbasis rule base dan fungsi keanggotaan yang ditentukan,
 - Output: Kategori rekomendasi seperti "Optimal", "Kurang Optimal", atau "Tidak Optimal",
 - Verifikasi apakah hasil rekomendasi sesuai dengan logika sistem dan tabel parameter tanaman.
5. Pengujian Kecerdasan Buatan (Rekomendasi Pupuk)
- Melibatkan uji logika fuzzy berbasis kondisi aktual, yaitu:
- Input: Data parameter Sensor dan referensi kadar pupuk npk
 - Proses: Inferensi fuzzy berbasis rule base dan fungsi keanggotaan yang ditentukan,
 - Output: "Tambahkan", "Cukup", atau "Kurangi"
 - Verifikasi apakah hasil rekomendasi sesuai dengan logika sistem

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Sensor

4.1.1. Hasil Pengujian Sensor NPK 7IN1

Tabel 1 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter N. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 1, hasil pengujian sensor memiliki nilai MAPE $\leq$ -47%. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai $\leq$ 2.02.

Tabel 1. Hasil pengujian NPK untuk nitrogen

No	Nilai Pembanding (mg/kg)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	91	-34.1	0.67
2	110	-47	1.04
3	118	-42.9	2.02
4	125	-36.8	1.53

Tabel 2 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter F. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 2, hasil pengujian sensor memiliki nilai MAPE $\leq$ -136%. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai $\leq$ 2.26.

Tabel 2. Hasil pengujian NPK untuk fosfor

No	Nilai Pembanding (mg/kg)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	78	-40.9	1.62
2	76	103.2	1.19
3	73	135.7	2.26
4	84	136.5	0.48

Tabel 3 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter K. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 3, hasil pengujian sensor memiliki nilai MAPE $\leq$ 93.8%. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai $\leq$ 4.91.

Tabel 3. Hasil pengujian NPK untuk kalium

No	Nilai Pembanding (mg/kg)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	156	-24.1	1.97
2	152	25.7	2.77
3	146	77.2	4.91
4	148	93.8	2.62

Tabel 4 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter pH. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 4, hasil pengujian sensor memiliki nilai $MAPE \leq 0.62\%$. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai ≤ 0.01 .

Tabel 4. Hasil pengujian NPK untuk PH Tanah

No	Nilai Pembanding (pH)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	6.59	0.62	0.03
2	6.41	0.49	0.00
3	6.38	0.42	0.00
4	6.088	0.412	0.01

Tabel 5 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter suhu. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 5, hasil pengujian sensor memiliki nilai $MAPE \leq 0.8\%$. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai 0.

Tabel 5. Hasil pengujian NPK untuk Suhu Tanah

No	Nilai Pembanding (C)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	21	0	0.00
2	21.8	0.2	0.00
3	21.8	0.2	0.00
4	22.2	0.8	0.00

Tabel 6 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter kelembaban. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 6, hasil pengujian sensor memiliki nilai $MAPE \leq 8.23\%$. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai ≤ 0.61 .

Tabel 6. Hasil pengujian NPK untuk kelembaban tanah

No	Nilai Pembanding (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	32.36	8.23	0.48
2	29.57	3.73	0.61
3	26.22	0.78	0.38
4	25.58	0.42	0.04

Tabel 7 merupakan hasil pengujian sensor NPK untuk parameter Konduktivitas. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan menggunakan 4 sampel yang berbeda. Berdasarkan data pada tabel 7, hasil pengujian sensor memiliki nilai MAPE $\leq 65.5\%$. Nilai standar deviasi yang dihasilkan bernilai ≤ 1.54 .

Tabel 7. Hasil pengujian NPK untuk konduktivitas listrik

No	Nilai Pembanding (EC)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	350	25	0.00
2	420.3	65.6	0.47
3	635.7	6.3	1.54
4	594.6	18.4	0.76

4.1.2. Hasil Pengujian Sensor SHT20

Pengujian sensor SHT20 dilakukan terpisah untuk pengujian pembacaan kelembapan udara dan suhu udara. Pengujian pembacaan kelembapan udara dan suhu udara dilakukan dengan mengambil data sebanyak 10 kali percobaan. Setelah data pengukuran didapatkan, kemudian menghitung nilai persentase error, MAPE, dan standar deviasinya. Berdasarkan data pada tabel 8, pembacaan sensor terhadap kelembapan udara memiliki nilai MAPE sebesar 2.39% dan dengan standar deviasinya sebesar 1.08 dan pembacaan sensor terhadap suhu udara memiliki nilai MAPE sebesar 1.41% dan dengan standar deviasinya sebesar 0.66.

Tabel 8. Hasil pengujian sensor kelembaban udara

No	Humidity Meter (%)	Rata -Rata Nilai Sensor (%)	Rata-Rata Error (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	60	63.21	5.35	4.7	0.08
2	65	68.31	5.09		0.04
3	68	70.91	4.28		0.16
4	72	75.16	4.39		0.17
5	75	78.31	4.42		0.03

Tabel 9. Hasil pengujian sensor suhu udara

No	Temperatur Meter (°C)	Rata -Rata Nilai Sensor (°C)	Rata-Rata Error (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	32.2	31.29	2.83	1.94	0.10
2	30.5	30.22	0.92		0.09
3	28.3	27.18	3.96		0.10
4	26.2	25.82	1.45		0.11
5	23.8	23.68	0.53		0.05

4.1.3. Hasil Pengujian Sensor PH Tanah

Pengujian sensor PH tanah dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan menggunakan 3 sampel yang berbeda. Setelah hasil pengukuran didapatkan, masing-masing hasil pengukuran sensor pH dihitung untuk mengetahui nilai persentase error-nya. Kemudian, data-data tersebut diolah untuk mengetahui nilai MAPE. Berdasarkan data pada tabel 10 , diketahui bahwa nilai MAPE yang didapatkan berkisar antara 1,41,% hingga 3,29%. Selanjutnya data-data pengukuran yang didapatkan diolah untuk mencari nilai standar deviasinya. Nilai deviasi yang didapatkan berkisar antara 0,053 hingga 0,114. Hasil pengujian sensor pH tanah secara rinci terlampir pada bagian lampiran.

Tabel 10. Hasil pengujian sensor pH tanah

No	Buffer pH	Rata -Rata Nilai Sensor pH	Rata-Rata Error (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	4	3.96	2.58	2.44	0.11
2	7	6.77	3.29		0.05
3	10	9.9	1.45		0.12

4.1.4. Hasil Pengujian Sensor Suhu Tanah

Pengujian sensor suhu tanah dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Hasil pengujian sensor dibandingkan dengan nilai alat ukur sebenarnya. Setelah data data pengukuran didapatkan, kemudian mencari nilai persentase error. Setelah didapatkan persentase error, kemudian mencari nilai MAPE dan standar deviasinya. Berdasarkan data pada tabel 11, nilai MAPE yang didapatkan sebesar 2,58% dan nilai standar deviasinya sebesar 1.32.

Tabel 11. Hasil pengujian sensor suhu tanah

No	Thermometer (°C)	Rata -Rata Nilai Sensor (°C)	Rata-Rata Error (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	34	33.47	1.56	1.55	1.48
2	32	31.22	2.44		2.49
3	30	29.88	0.84		0.82
4	28	27.39	2.19		2.27
5	26	25.82	0.71		0.71

4.1.5. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan nilai alat ukur soil tester meter. Setelah data-data didapatkan, kemudian mencari nilai persentase error. Setelah nilai error dari masing-masing data didapatkan, kemudian mencari nilai MAPE, dan terakhir mencari nilai standar deviasinya. Berdasarkan data pada tabel 12, nilai MAPE yang didapatkan sebesar 1,30% dan nilai standar deviasinya sebesar 0,93.

Tabel 12. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah

No	Moisture Meter (%)	Rata -Rata Nilai Sensor (%)	Rata-Rata Error (%)	MAPE (%)	Standar Deviasi
1	42.5	39.99	5.9	2.9	0.13
2	58.9	57.35	2.63		0.19
3	66.2	64.64	2.36		0.03
4	77.2	75.8	1.82		0.03
5	85.9	84.35	1.81		0.14

4.2. Pengujian Sistem Internet of Things dan AI

4.2.1. Hasil Pengujian Website

Website pada proyek ini berfungsi sebagai antarmuka untuk menampilkan hasil pembacaan sensor. Berdasarkan pengujian, website yang dirancang mampu menampilkan data sensor secara real-time dan sesuai dengan data yang tersimpan di database. Selain itu, website ini juga dilengkapi fitur penyimpanan data yang dapat diunduh dalam format tertentu maupun diakses langsung melalui halaman web.

4.2.2. Hasil Pengujian Aplikasi Android Studio

Hasil pengujian menunjukkan aplikasi Android Studio yang dikembangkan dapat terintegrasi dengan sistem, mulai dari mengirim hingga menerima data. Aplikasi ini memiliki fitur input data melalui formulir, pengolahan dan penyimpanan data ke database, serta penyajian data yang dapat dilihat pengguna. Keunggulan aplikasi ini antara lain antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan, proses pengolahan data yang cepat, serta fleksibilitas yang tinggi untuk disesuaikan dengan kebutuhan. Namun, aplikasi ini memerlukan koneksi internet untuk pertukaran data dan perangkat dengan spesifikasi memadai agar berjalan optimal.

4.2.3. Hasil Implementasi Logika Fuzzy

Hasil implementasi logika fuzzy menunjukkan bahwa sistem berhasil mengolah data lingkungan menjadi keputusan yang bersifat linguistik menggunakan metode Mamdani. Nilai input dari sensor seperti kelembapan tanah, kelembapan udara, dan suhu udara diproses melalui tahapan fuzzifikasi dengan fungsi keanggotaan segitiga. Sistem kemudian mengevaluasi aturan fuzzy yang telah ditentukan menggunakan operator *min* untuk logika AND dan *max* untuk agregasi antar aturan. Nilai hasil fuzzy kemudian dikonversi menjadi nilai tegas melalui metode defuzzifikasi centroid. Output akhir berupa status kondisi pertumbuhan tanaman: Optimal, Kurang Optimal, atau Tidak Optimal, dan hasil ini dikirimkan ke Firebase untuk ditampilkan ke pengguna. Sistem bekerja secara otomatis dan real-time tanpa perlu intervensi manual. Detail hasil pengujian fuzzy berdasarkan input dapat dilihat pada lampiran hasil pengujian fuzzy.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring nutrisi dan kondisi tanah berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dalam proyek akhir ini berhasil memenuhi tujuan utama, yaitu mempermudah petani dalam memantau kondisi tanah secara real-time dan memberikan rekomendasi pertanian yang akurat. Sistem ini memanfaatkan berbagai sensor seperti NPK 7-in-1, pH tanah, suhu dan kelembapan tanah dan udara, sensor arah dan kecepatan angin, serta sensor hujan, yang semuanya terhubung dan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Data dari sensor dikirimkan ke Firebase secara otomatis dan divisualisasikan dalam bentuk grafik dan informasi melalui aplikasi Android serta website yang telah dirancang dengan antarmuka ramah pengguna.

Pada pengujian sensor NPK 7in1 terkhusus parameter N,P,K memiliki hasil pembacaan yang tidak sama atau berbeda jauh dengan sensor pembanding maupun sampel. Hal itu diperlukan keakuratan pasti pada sampel yang diuji seperti sampel hasil dari pengujian laboratorium.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh Ivan Lionel dkk., sensor NPK menunjukkan ketidakspesifikan karena metode elektrokonduktivitas yang digunakan tidak dapat membedakan jenis ion atau elektrolit yang terukur. Kondisi ini menjadi kendala serius saat diaplikasikan pada tanah, mengingat tanah merupakan medium yang mengandung berbagai jenis elektrolit [32].

Keakuratan sensor diuji menggunakan metode MAPE dan standar deviasi, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan hasil pengukuran yang stabil. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan logika fuzzy Mamdani yang dapat mengolah data lingkungan menjadi rekomendasi kadar pupuk NPK serta jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi cuaca dan tanah. Fuzzifikasi, rule base, inferensi, dan defuzzifikasi telah diterapkan dengan baik untuk mengonversi input berupa data lingkungan menjadi output linguistik yang mudah dipahami, seperti “Optimal”, “Kurang Optimal”, dan “Tidak Optimal”.

Sistem ini dirancang untuk dapat beroperasi secara mandiri di lapangan tanpa sumber listrik konvensional melalui penggunaan panel surya, sehingga sangat sesuai diterapkan di lahan pertanian terpencil. Secara keseluruhan, sistem ini dinilai mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, membantu pemilihan tanaman yang cocok, dan mengurangi risiko gagal panen akibat ketidaksesuaian kondisi tanah atau iklim. Diharapkan, sistem ini dapat menjadi solusi praktis dan inovatif dalam pengelolaan pertanian berbasis teknologi di masa depan.

5.2. Saran

Berdasarkan pengalaman dan hasil yang diperoleh selama pengerjaan proyek akhir ini, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Penyempurnaan Kalibrasi Sensor Beberapa sensor seperti sensor kecepatan angin perlu dikalibrasi dengan alat ukur yang lebih akurat agar data yang dihasilkan semakin presisi.
2. Penambahan Fitur Prediksi Cuaca dan Hama Sistem dapat dikembangkan dengan penambahan fitur prediksi cuaca dan deteksi hama berbasis AI untuk memberikan rekomendasi yang lebih komprehensif bagi petani.
3. Pegujian nutrisi tanah (Nitrogen, Fosfor, Kalium) sebaiknya melibatkan uji laboratorium agar mengetahui nilai sebenarnya pada tanah yang diukur.
4. Pengembangan Cakupan Monitoring Perluasan area monitoring dengan menggunakan sistem jaringan sensor (wireless sensor network) dapat meningkatkan efektivitas alat ini di lahan yang lebih luas.
5. Penggunaan Energi Cadangan Selain panel surya, sebaiknya disediakan cadangan energi seperti baterai tambahan atau sumber listrik alternatif untuk menjamin keberlanjutan operasi sistem di saat cuaca mendung atau malam hari.
6. Peningkatan Kapasitas Penyimpanan dan Pemrosesan Data Mengingat data sensor yang terus-menerus dikirimkan, diperlukan manajemen data yang baik, baik dari sisi penyimpanan cloud maupun pemrosesan lokal (edge computing), untuk menghindari overload data dan mempercepat respons sistem.

Daftar Pustaka

- [1] A. N. A. Husna, “Ekspor dan Impor Hasil Pertanian terhadap Perekonomian Indonesia,” *ResearchGate*, Preprint, Dec. 2021.
- [2] Badan Pusat Statistik, *Hasil Pencacahan Lengkap Sensus Pertanian 2023 - Tahap 1 (Complete Enumeration Results of the 2023 Census of Agriculture)*, 2023a.
- [3] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *BDSP - Badan Data Strategis Pertanian*. [Online]. Available: <https://bdsp2.pertanian.go.id/bdsp/id/home.html>. [Accessed: Nov. 19, 2024].
- [4] Kementerian Pertanian, *Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Sektor Pertanian*. [Online]. Available: <https://upland.psp.pertanian.go.id/public/artikel/1687919315/pengaruh-perubahan-iklim-terhadap-sektor-pertanian>. [Accessed: Nov. 12, 2024].
- [5] Z. Bayyani Roswy and S. Sudiarso, “Pengaruh Dosis Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Dua Varietas Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill),” *Produksi Tanaman*, vol. 10, no. 1, pp. 60–68, 2022.
- [6] Y. Guo, Y. Wang, and X. Wang, “Spatio-temporal variation and interaction of soil pH, organic matter, available phosphorus and potassium in Southwest China farmland,” *Agronomy*, vol. 14, no. 8, p. 1796, 2024, doi: 10.3390/agronomy14081796.
- [7] D. S. M. Rahakbauw and E. Ema, “Aplikasi Basic Operation Trainer Dan Uji Fungsi Mikrokontroler At89S51,” *Jurnal Industri Elektro dan ...*, vol. 8, no. 2, pp. 1–9, 2020.
- [8] P. Musa, H. Sugeru, and E. P. Wibowo, “Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations,” *Sensors*, vol. 24, no. 1, p. 51, 2024, doi: 10.3390/s24010051.
- [9] Zoko Link Technology Co., Ltd., *7-in-1 Soil Integrated Sensor – Instruction Manual*, 2024. [Online]. Available: <https://www.niubol.com/Instruction-Manual/7-in-1-Soil-Composite-Sensor.html>.
- [10] R. Wicaksono, J. D. Irawan, and S. A. Wibowo, “Sistem Peramalan Curah Hujan Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda Berbasis IoT,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 4, pp. 2103–2112, 2023.
- [11] H. N. Kusman, A. Rusdinar, and D. Darlis, “Sistem Monitoring Weather Station Pada Pertanian Berbasis IoT,” *e-Proceedings of Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 2468–2480, 2022.
- [12] Sensirion AG, *Datasheet SHT20 – Humidity and Temperature Sensor IC*, 2022.

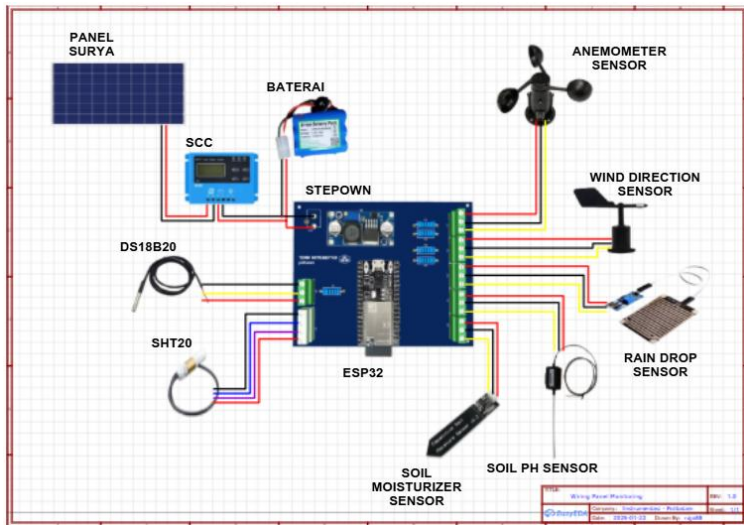
- [13] N. A. S. Laksana and A. R. S. Nurhidayat, "Desain, Fabrikasi dan Analisis Konsumsi Energi Wiper Otomatis Model Single Lever System untuk Mobil Listrik Jenis City Car," *J. APTEK*, vol. 14, no. 1, pp. 6–12, 2022.
- [14] A. Mujahid, M. Jannah, Salahuddin, and Taufiq, "Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor pH Tanah dan Sensor Kelembaban," *J. Arus Elektro Indonesia*, vol. 9, no. 2, pp. 5–9, 2023.
- [15] Maxim Integrated / Analog Devices, *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet*.
- [16] F. Yusran, D. N. Ramadan, and ..., "Sistem Monitoring pH Tanah dan Penyiraman Otomatis Tanaman Cerdas Berbasis IoT Mikrokontroler pada Bonsai Berjenis Santiagi," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 9, no. 1, pp. 316–323, 2023.
- [17] R. F. A. Aziza and Y. T. Hidayat, "Analisa Usability Desain User Interface Pada Website Tokopedia Menggunakan Metode Heuristics Evaluation," *J. Tekno Kompak*, vol. 13, no. 1, p. 7, 2019.
- [18] Wikipedia, "Keypad." [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Keypad>. [Accessed: 2025].
- [19] A. Selay et al., "Karimah Tauhid, Volume 1 Nomor 6 (2022), e-ISSN 2963-590X," *Karimah Tauhid*, vol. 1, no. 2963–590X, pp. 861–862, 2022.
- [20] F. P. Gardner, R. B. Pearce, and R. L. Mitchell, *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, 1991.
- [21] D. Hillel, *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, 2004.
- [22] H. G. Jones, *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press, 2014.
- [23] L. Taiz and E. Zeiger, *Plant Physiology*. Sinauer Associates, 2010.
- [24] eLkomika, "Sistem Monitoring XXXXX," 2024. [Online]. Available: <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/view/6270>. [Accessed: Aug. 5, 2025].
- [25] Elinova, "Desain dan Implementasi Sistem XXXX," 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.unissula.ac.id/index.php/El/article/view/3628>. [Accessed: Aug. 5, 2025].
- [26] Bulelengkab.go.id, "4 Cara Menentukan Tanam," 2024. [Online]. Available: <https://bulelengkab.go.id/detail/artikel/4-cara-menentukan-tanam>. [Accessed: Aug. 5, 2025].
- [27] Agromaret.com, "Budidaya Pertanian Berdasarkan Ketinggian Tempat," 2018. [Online]. Available: <https://blog.agromaret.com/2018/07/budidaya-pertanian-berdasarkan-ketinggian-tempat>. [Accessed: Aug. 5, 2025].
- [28] Bulelengkab.go.id, "4 Cara Menentukan Tanam di Indonesia yang Paling Tepat," 2024. [Online]. Available: <https://bulelengkab.go.id/detail/artikel/4-cara-menentukan-tanam-di-indonesia-yang-paling-tepat-78>. [Accessed: Aug. 5, 2025].

- [29] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [30] G. J. Klir and B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall, 1995.
- [31] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [32] I. Lionel, A. Ro'uf, and B. Alldino, "Analisis Spesifisitas terhadap Sensor NPK PR-3001-TR-ECTHPH-N01 Tipe 485," *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentations Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 45–56, Apr. 2023, doi: 10.22146/ijeis.79672.

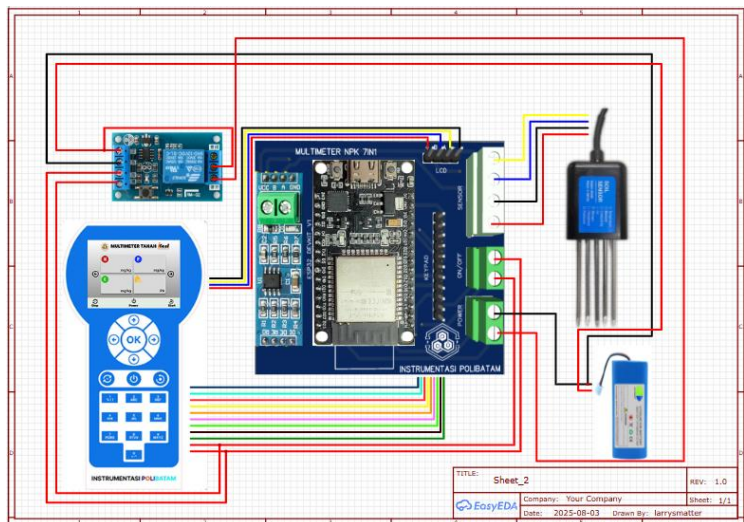
Biodata

	Nama TTL Agama Alamat Email Riwayat Pendidikan	: Larry Yudian Erlangga : Batam, 20 Juni 2003 : Islam : Galaxy Park Blok E3 No. 4 : larryyudiane@gmail.com : SMA/SMK : SMK Negeri 1 Batam SMP : SMP Negeri 9 Batam
	Nama TTL Agama Alamat Email Riwayat Pendidikan	: Raja Hamonangan Panggabean S : Batam, 5 Juli 2004 : Kristen : Muka Kuning Indah Blok S No. 24 : raja.tbeng31@gmail.com : SMA/SMK : SMK Negeri 1 Batam SMP : SMP Negeri 11 Batam

Lampiran



Desain elektrik panel system monitoring



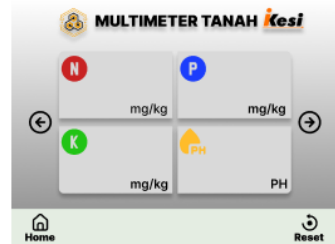
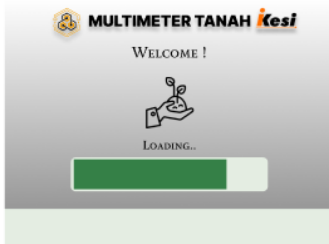
Desain elektrik panel monitoring



Perangkat panel monitoring



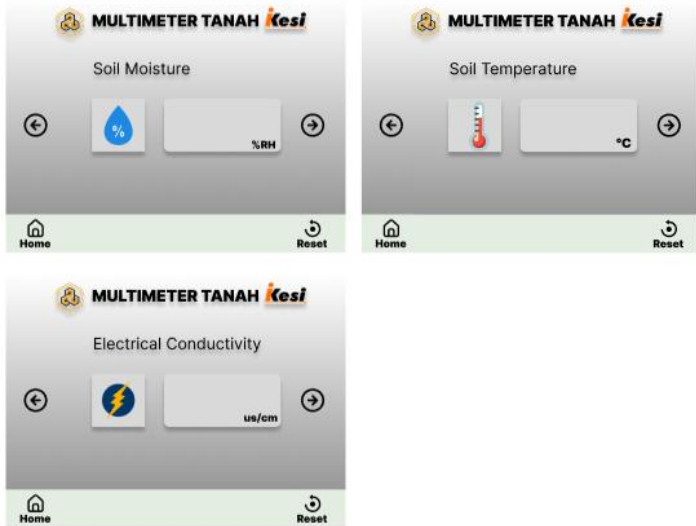
Perangkat multimeter tanah



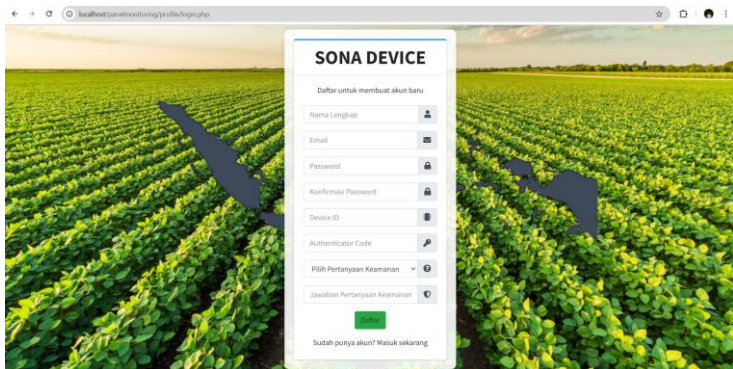
Tampilan LCD Nextion



Tampilan LCD terpisah



Tampilan LCD terpisah



Tampilan menu pendaftaran akun pada website



Tampilan menu log in website



Tampilan dashboard website

SONA DEVICE

Admin

Dashboard

Hasil Pengukuran

Rekomendasi Tanaman

Log Out

Data Pengukuran

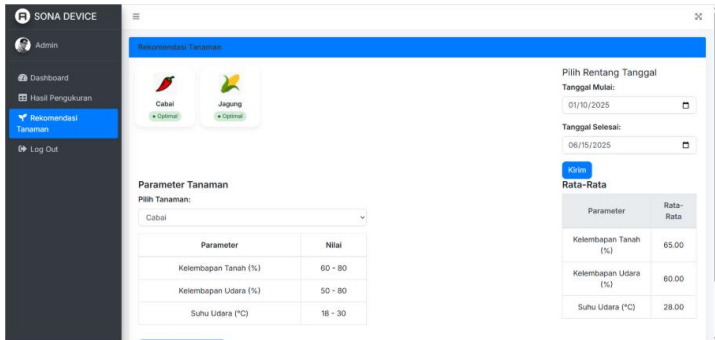
Semua Bulan: ▼ Semua Tahun: ▼

Export PDF

Search:

No.	pH Tanah	Kelembaban Tanah	Suhu Tanah	Suhu Udara	Kelembaban Udara	Kecapatan Angin	Arah Angin	Tanggal
1	--	72	29.7	25.3	96	3	Utara	2024-01-01
2	--	78	29.5	27.6	84	5	Utara	2024-01-02
3	--	76	28.7	27.3	86	6	Utara	2024-01-03
4	--	70	28	24.3	80	5	Barat Laut	2024-01-04
5	--	65	29.2	26.8	91	9	Timur Laut	2024-01-05
6	--	63	29.2	28	86	7	Timur Laut	2024-01-06
7	--	67	30.3	24.2	98	3	Utara	2024-01-07
8	--	99	28.5	26.3	88	5	Timur Laut	2024-01-08
9	--	65	29.8	27.2	88	6	Utara	2024-01-09
10	--	92	27	25.6	96	6	Utara	2024-01-10

Tampilan riwayat pengukuran



Tampilan rekomendasi tanaman





Tampilan aplikasi android

No	Buffer pH	Nilai Sensor Ph	Error (%)
1	4	4.15	3.75%
2		4.04	1.00%
3		4	0.00%
4		3.95	1.25%
5		3.87	3.25%
6		3.89	2.75%
7		3.87	3.25%
8		3.87	3.25%
9		3.82	4.50%
10		4.11	2.75%
MAPE (%)			2.58%
Standar Deviasi			0.112

Hasil pengujian sensor pH tanah untuk sampel ke-1

No	Buffer pH	Nilai Sensor Ph	Error (%)
1	7	6.82	2.57%
2		6.82	2.57%
3		6.82	2.57%
4		6.8	2.86%
5		6.82	2.57%
6		6.76	3.43%
7		6.72	4.00%
8		6.69	4.43%
9		6.72	4.43%
10		6.76	3.43%
MAPE (%)			3.29%
Standar Deviasi			0.053

Hasil pengujian sensor pH tanah untuk sampel ke-2

No	Buffer pH	Nilai Sensor Ph	Error (%)
1	10	10.2	2.00%
2		10	0.00%
3		9.86	1.40%
4		9.86	1.40%
5		9.88	1.20%
6		9.8	2.00%
7		9.85	1.50%
8		9.85	1.50%
9		9.8	1.50%
10		9.85	1.50%
MAPE (%)			1.41%
Standar Deviasi			0.114

Hasil pengujian sensor pH tanah untuk sampel ke-3

No	Nilai Pembanding (N)	Nilai Sensor (N)	Error (%)
1	91	57	-34
2	91	56	-35
3	91	56	-35
4	91	56	-35
5	91	58	-33
6	91	57	-34
7	91	57	-34
8	91	57	-34
9	91	57	-34
10	91	58	-33
MAPE (%)			-34.1
Standar Deviasi			0.67

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter N) ke-1

No	Nilai Pembanding (N)	Nilai Sensor (N)	ERROR
1	110	62	-48
2	110	62	-48
3	110	65	-45
4	110	65	-45
5	110	62	-48
6	110	62	-48
7	110	63	-47
8	110	63	-47
9	110	63	-47
10	110	63	-47
MAPE (%)			-47
Standar Deviasi			1.04

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter N) ke-2

No	Nilai Pembanding (N)	Nilai Sensor (N)	ERROR
1	118	70	-48
2	118	75	-43
3	118	75	-43
4	118	75	-43
5	118	73	-45
6	118	75	-43
7	118	77	-41
8	118	77	-41
9	118	77	-41
10	118	77	-41
MAPE (%)			-42.9
Standar Deviasi			2.02

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter N) ke-3

No	Nilai Pembanding (N)	Nilai Sensor (N)	ERROR
1	125	90	-35
2	125	90	-35
3	125	84	-41
4	125	88	-37
5	125	88	-37
6	125	88	-37
7	125	88	-37
8	125	88	-37
9	125	89	-36
10	125	89	-36
MAPE (%)			-36.8
Standar Deviasi			1.53

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter N) ke-4

No	Nilai Pembanding (P)	Nilai Sensor (P)	Error (%)
1	78	120	-42
2	78	114	-36
3	78	120	-42
4	78	120	-42
5	78	120	-42
6	78	119	-41
7	78	119	-41
8	78	119	-41
9	78	119	-41
10	78	119	-41
MAPE (%)			-40.9
Standar Deviasi			1.62

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter P) ke-1

No	Nilai Pembanding (P)	Nilai Sensor (P)	ERROR
1	76	178	102
2	76	178	102
3	76	178	102
4	76	178	102
5	76	178	102
6	76	181	105
7	76	181	105
8	76	180	104
9	76	180	104
10	76	180	104
MAPE (%)			103.2
Standar Deviasi			1.19

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter P) ke-2

No	Nilai Pembanding (P)	Nilai Sensor (P)	ERROR
1	73	211	138
2	73	211	138
3	73	206	133
4	73	206	133
5	73	206	133
6	73	206	133
7	73	208	135
8	73	211	138
9	73	211	138
10	73	211	138
MAPE (%)			135.7
Standar Deviasi			2.26

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter P) ke-3

No	Nilai Pembanding (P)	Nilai Sensor (P)	ERROR
1	84	221	137
2	84	221	137
3	84	221	137
4	84	221	137
5	84	221	137
6	84	220	136
7	84	220	136
8	84	220	136
9	84	220	136
10	84	220	136
MAPE (%)			136.5
Standar Deviasi			0.48

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter P) ke-4

No	Nilai Pembanding (K)	Nilai Sensor (K)	Error (%)
1	156	136	-20
2	156	136	-20
3	156	130	-26
4	156	131	-25
5	156	131	-25
6	156	131	-25
7	156	131	-25
8	156	131	-25
9	156	131	-25
10	156	131	-25
MAPE (%)			-24.1
Standar Deviasi			1.97

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter K) ke-1

No	Nilai Pembanding (K)	Nilai Sensor (K)	ERROR
1	152	176	24
2	152	176	24
3	152	176	24
4	152	176	24
5	152	176	24
6	152	176	24
7	152	176	24
8	152	180	28
9	152	180	28
10	152	185	33
MAPE (%)			25.7
Standar Deviasi			2.77

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter K) ke-2

No	Nilai Pembanding (K)	Nilai Sensor (K)	ERROR
1	146	214	68
2	146	214	68
3	146	221	75
4	146	221	75
5	146	227	81
6	146	227	81
7	146	227	81
8	146	227	81
9	146	227	81
10	146	227	81
MAPE (%)			77.2
Standar Deviasi			4.91

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter K) ke-3

No	Nilai Pembanding (K)	Nilai Sensor (K)	ERROR
1	148	240	92
2	148	240	92
3	148	240	92
4	148	240	92
5	148	240	92
6	148	240	92
7	148	240	92
8	148	246	98
9	148	246	98
10	148	246	98
MAPE (%)			93.8
Standar Deviasi			2.62

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter K) ke-4

No	Nilai Pembanding (pH)	Nilai Sensor (pH)	Error (%)
1	6.59	7.2	0.61
2	6.59	7.2	0.61
3	6.59	7.2	0.61
4	6.59	7.2	0.61
5	6.59	7.2	0.61
6	6.59	7.3	0.71
7	6.59	7.2	0.61
8	6.59	7.2	0.61
9	6.59	7.2	0.61
10	6.59	7.2	0.61
MAPE (%)			0.62
Standar Deviasi			0.03

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter pH) ke-1

No	Nilai Pembanding (pH)	Nilai Sensor (pH)	ERROR
1	6.41	6.9	0.49
2	6.41	6.9	0.49
3	6.41	6.9	0.49
4	6.41	6.9	0.49
5	6.41	6.9	0.49
6	6.41	6.9	0.49
7	6.41	6.9	0.49
8	6.41	6.9	0.49
9	6.41	6.9	0.49
10	6.41	6.9	0.49
MAPE (%)			0.49
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter pH) ke-2

No	Nilai Pembanding (pH)	Nilai Sensor (pH)	ERROR
1	6.38	6.8	0.42
2	6.38	6.8	0.42
3	6.38	6.8	0.42
4	6.38	6.8	0.42
5	6.38	6.8	0.42
6	6.38	6.8	0.42
7	6.38	6.8	0.42
8	6.38	6.8	0.42
9	6.38	6.8	0.42
10	6.38	6.8	0.42
MAPE (%)			0.42
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter pH) ke-3

No	Nilai Pembanding (pH)	Nilai Sensor (pH)	ERROR
1	6.12	6.5	0.38
2	6.1	6.5	0.4
3	6.1	6.5	0.4
4	6.08	6.5	0.42
5	6.08	6.5	0.42
6	6.08	6.5	0.42
7	6.08	6.5	0.42
8	6.08	6.5	0.42
9	6.08	6.5	0.42
10	6.08	6.5	0.42
MAPE (%)			0.412
Standar Deviasi			0.01

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter pH) ke-4

No	Nilai Pembanding (C)	Nilai Sensor (C)	Error (%)
1	21	21	0
2	21	21	0
3	21	21	0
4	21	21	0
5	21	21	0
6	21	21	0
7	21	21	0
8	21	21	0
9	21	21	0
10	21	21	0
MAPE (%)			0
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Celsius) ke-1

No	Nilai Pembanding (C)	Nilai Sensor (C)	Error (%)
1	21.8	22	0.2
2	21.8	22	0.2
3	21.8	22	0.2
4	21.8	22	0.2
5	21.8	22	0.2
6	21.8	22	0.2
7	21.8	22	0.2
8	21.8	22	0.2
9	21.8	22	0.2
10	21.8	22	0.2
MAPE (%)			0.2
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Celsius) ke-2

No	Nilai Pembanding (C)	Nilai Sensor (C)	Error (%)
1	21.8	22	0.2
2	21.8	22	0.2
3	21.8	22	0.2
4	21.8	22	0.2
5	21.8	22	0.2
6	21.8	22	0.2
7	21.8	22	0.2
8	21.8	22	0.2
9	21.8	22	0.2
10	21.8	22	0.2
MAPE (%)			0.2
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Celsius) ke-3

No	Nilai Pembanding (C)	Nilai Sensor (C)	Error (%)
1	22.2	23	0.8
2	22.2	23	0.8
3	22.2	23	0.8
4	22.2	23	0.8
5	22.2	23	0.8
6	22.2	23	0.8
7	22.2	23	0.8
8	22.2	23	0.8
9	22.2	23	0.8
10	22.2	23	0.8
MAPE (%)			0.8
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Celsius) ke-4

NO	Nilai Pembanding (%)	Nilai Sensor (%)	Error (%)
1	32.4	40.2	7.8
2	32	41	9
3	32.4	41	8.6
4	32.4	40	7.6
5	32.4	40.7	8.3
6	32.4	40	7.6
7	32.4	40	7.6
8	32.4	41	8.6
9	32.4	41	8.6
10	32.4	41	8.6
MAPE (%)			8.23
Standar Deviasi			0.48

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Kelembaban) ke-1

NO	Nilai Pembanding (%)	Nilai Sensor (%)	Error (%)
1	29.6	35	5.4
2	29.6	33	3.4
3	29.6	33	3.4
4	29.6	33	3.4
5	29.6	33	3.4
6	29.5	34	4.5
7	29.5	33	3.5
8	29.6	33	3.4
9	29.6	33	3.4
10	29.5	33	3.5
MAPE (%)			3.73
Standar Deviasi			0.61

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Kelembaban) ke-2

NO	Nilai Pembanding (%)	Nilai Sensor (%)	Error (%)
1	26.2	27	0.8
2	26.2	27	0.8
3	26.2	27.5	1.3
4	26.3	27.5	1.2
5	26.2	27	0.8
6	26.2	27	0.8
7	26.2	27	0.8
8	26.2	27	0.8
9	26.2	27	0.8
10	26.3	26	-0.3
MAPE (%)			0.78
Standar Deviasi			0.38

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Kelembaban) ke-3

NO	Nilai Pembanding (%)	Nilai Sensor (%)	Error (%)
1	25.6	26	0.4
2	25.6	26	0.4
3	25.6	26	0.4
4	25.6	26	0.4
5	25.6	26	0.4
6	25.6	26	0.4
7	25.6	26	0.4
8	25.6	26	0.4
9	25.5	26	0.5
10	25.5	26	0.5
MAPE (%)			0.42
Standar Deviasi			0.04

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Kelembaban) ke-4

NO	Nilai Pembanding (EC)	Nilai Sensor (EC)	Error (%)
1	350	375	25
2	350	375	25
3	350	375	25
4	350	375	25
5	350	375	25
6	350	375	25
7	350	375	25
8	350	375	25
9	350	375	25
10	350	375	25
MAPE (%)			25
Standar Deviasi			0.00

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Konduktivitas) ke-1

NO	Nilai Pembanding (EC)	Nilai Sensor (EC)	Error (%)
1	420	486	66
2	420	486	66
3	420	486	66
4	420	486	66
5	420	485	65
6	421	486	65
7	421	486	65
8	421	486	65
9	420	486	66
10	420	486	66
MAPE (%)			65.6
Standar Deviasi			0.47

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Konduktivitas) ke-2

NO	Nilai Pembanding (EC)	Nilai Sensor (EC)	Error (%)
1	637	642	5
2	637	642	5
3	637	642	5
4	634	642	8
5	634	642	8
6	634	642	8
7	637	642	5
8	637	642	5
9	637	642	5
10	633	642	9
MAPE (%)			6.3
Standar Deviasi			1.54

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Konduktivitas) ke-3

NO	Nilai Pembanding (EC)	Nilai Sensor (EC)	Error (%)
1	593	613	20
2	595	613	18
3	595	613	18
4	595	613	18
5	595	613	18
6	593	613	20
7	595	613	18
8	595	613	18
9	595	613	18
10	595	613	18
MAPE (%)			18.4
Standar Deviasi			0.76

Hasil pengujian sensor NPK (Parameter Konduktivitas) ke-4

Sample Ke	1			2			3			4			5		
Pengukuran Ke	Alat Ukur Pembanding (-C)	Sensor (-C)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (-C)	Sensor (-C)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (-C)	Sensor (-C)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (-C)	Sensor (-C)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (-C)	Sensor (-C)	Error (%)
1	32.20	31.40	2.48	30.50	30.10	1.31	28.30	27.10	4.24	26.20	25.80	1.53	23.80	23.69	0.46
2	32.20	31.10	3.42	30.50	30.30	0.66	28.30	27.20	3.89	26.20	25.70	1.91	23.80	23.69	0.46
3	32.20	31.30	2.80	30.50	30.30	0.66	28.30	27.10	4.24	26.20	25.70	1.91	23.80	23.65	0.63
4	32.20	31.30	2.80	30.50	30.30	0.66	28.30	27.10	4.24	26.20	26.00	0.76	23.80	23.65	0.63
5	32.20	31.40	2.48	30.50	30.30	0.66	28.30	27.10	4.24	26.20	25.80	1.53	23.80	23.72	0.34
6	32.20	31.20	3.11	30.50	30.10	1.31	28.30	27.20	3.89	26.20	25.70	1.91	23.80	23.75	0.21
7	32.20	31.30	2.80	30.50	30.20	0.98	28.30	27.10	4.24	26.20	25.80	1.53	23.80	23.70	0.42
8	32.20	31.20	3.11	30.50	30.10	1.31	28.30	27.20	3.89	26.20	26.00	0.76	23.80	23.70	0.42
9	32.20	31.30	2.80	30.50	30.20	0.98	28.30	27.40	3.18	26.20	25.80	1.53	23.80	23.60	0.84
10	32.20	31.40	2.48	30.50	30.30	0.66	28.30	27.30	3.53	26.20	25.90	1.15	23.80	23.60	0.84
MAPE (%)			2.83	MAPE (%)			0.92	MAPE (%)			3.96	MAPE (%)			1.45
Standar Deviasi			0.10	Standar Deviasi			0.09	Standar Deviasi			0.10	Standar Deviasi			0.05

Hasil Pengujian Sensor SHT20 – Temperature

Sample Ke	1			2			3			4			5		
Pengukuran Ke	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)
1	60	63.2	5.33	65	68.31	5.09	68	70.8	4.12	72	75.2	4.44	75	78.32	4.43
2	60	63.21	5.35	65	68.33	5.12	68	71.2	4.71	72	75.22	4.47	75	78.32	4.43
3	60	63.28	5.47	65	68.33	5.12	68	71.2	4.71	72	75.25	4.51	75	78.3	4.40
4	60	63.25	5.42	65	68.25	5.00	68	71	4.41	72	75.25	4.51	75	78.32	4.43
5	60	63	5.00	65	68.25	5.00	68	70.8	4.12	72	75.22	4.47	75	78.35	4.47
6	60	63.22	5.37	65	68.3	5.08	68	70.8	4.12	72	74.85	3.96	75	78.25	4.33
7	60	63.21	5.35	65	68.3	5.08	68	70.82	4.15	72	74.85	3.96	75	78.28	4.37
8	60	63.25	5.42	65	68.32	5.11	68	70.85	4.19	72	75.2	4.44	75	78.35	4.47
9	60	63.25	5.42	65	68.32	5.11	68	70.82	4.15	72	75.22	4.47	75	78.32	4.43
10	60	63.22	5.37	65	68.38	5.20	68	70.82	4.15	72	75.32	4.61	75	78.32	4.43
MAPE (%)			5.35	MAPE (%)			5.09	MAPE (%)			4.28	MAPE (%)			4.42
Standar Deviasi			0.08	Standar Deviasi			0.04	Standar Deviasi			0.16	Standar Deviasi			0.03

Hasil Pengujian Sensor SHT20 – Humidity

Sample Ke	1			2			3			4			5		
Pengukuran Ke	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)	Alat Ukur Pembanding (%)	Sensor (%)	Error (%)
1	42.5	40.2	5.41	58.9	57.3	2.72	66.2	64.65	2.34	77.2	75.8	1.81	85.9	84.2	1.98
2	42.5	40	5.88	58.9	57.4	2.55	66.2	64.62	2.39	77.2	75.82	1.79	85.9	84.2	1.98
3	42.5	39.82	6.31	58.9	57.45	2.46	66.2	64.62	2.39	77.2	75.82	1.79	85.9	84.25	1.92
4	42.5	39.88	6.16	58.9	57.42	2.51	66.2	64.66	2.33	77.2	75.75	1.88	85.9	84.25	1.92
5	42.5	40	5.88	58.9	57.42	2.51	66.2	64.6	2.42	77.2	75.8	1.81	85.9	84.5	1.63
6	42.5	40	5.88	58.9	57	3.23	66.2	64.6	2.42	77.2	75.8	1.81	85.9	84.25	1.92
7	42.5	39.82	6.31	58.9	57	3.23	66.2	64.65	2.34	77.2	75.8	1.81	85.9	84.3	1.86
8	42.5	40	5.88	58.9	57.5	2.38	66.2	64.65	2.34	77.2	75.8	1.81	85.9	84.5	1.63
9	42.5	40.2	5.41	58.9	57.5	2.38	66.2	64.67	2.31	77.2	75.82	1.79	85.9	84.5	1.63
10	42.5	40.00	5.88	58.9	57.50	2.38	66.2	64.67	2.31	77.2	75.75	1.88	85.9	84.50	1.63
MAPE (%)			5.90	MAPE (%)			2.63	MAPE (%)			2.36	MAPE (%)			1.81
Standar Deviasi			0.13	Standar Deviasi			0.19	Standar Deviasi			0.03	Standar Deviasi			0.14

Hasil Pengujian Sensor Soil Moisturizer

Sample Ke	1			2			3			4			5						
Pengukuran Ke	Alat Ukur Pemandang (°C)	Sensor (°C)	Error (%)	Alat Ukur Pemandang (°C)	Sensor (°C)	Error (%)	Alat Ukur Pemandang (°C)	Sensor (°C)	Error (%)	Alat Ukur Pemandang (°C)	Sensor (°C)	Error (%)	Alat Ukur Pemandang (°C)	Sensor (°C)	Error (%)				
1	34	33.2	2.35	32	31.4	1.88	30	29.7	1.00	28	27.63	1.32	26	25.8	0.77				
2	34	33.4	1.76	32	31.1	2.81	30	29.75	0.83	28	27.65	1.25	26	25.7	1.15				
3	34	33.7	0.88	32	31.3	2.19	30	29.72	0.93	28	27.62	1.36	26	25.7	1.15				
4	34	33.4	1.76	32	30.8	3.75	30	29.55	1.50	28	27.68	1.14	26	26	0.00				
5	34	33.6	1.18	32	31.2	2.50	30	30.13	0.43	28	27.1	3.21	26	25.76	0.92				
6	34	33.3	2.06	32	31.2	2.50	30	30.1	0.33	28	27.2	2.86	26	25.72	1.08				
7	34	33.7	0.88	32	31.3	2.19	30	30.2	0.67	28	27.1	3.21	26	25.8	0.77				
8	34	33.4	1.76	32	31.2	2.50	30	29.65	1.17	28	27.2	2.86	26	26	0.00				
9	34	33.5	1.47	32	31.3	2.19	30	30.2	0.67	28	27.4	2.14	26	25.77	0.88				
10	34	33.50	1.47	32	31.40	1.88	30	29.75	0.83	28	27.30	2.50	26	25.90	0.38				
MAPE (%)				MAPE (%)				MAPE (%)				MAPE (%)							
Standar Deviasi			1.48	Standar Deviasi			2.49	Standar Deviasi			0.82	Standar Deviasi			2.27	Standar Deviasi			0.71

Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Sample Ke	1			2			3			
Pengukuran Ke	Buffer pH	Sensor	Error (%)	Buffer pH	Sensor	Error (%)	Buffer pH	Sensor	Error (%)	
1	4	4.15	3.75	7	6.82	2.57	10	10.2	2.00	
2		4.04	1.00		6.82	2.57		10	0.00	
3		4	0.00		6.82	2.57		9.86	1.40	
4		3.95	1.25		6.8	2.86		9.86	1.40	
5		3.87	3.25		6.82	2.57		9.88	1.20	
6		3.89	2.75		6.76	3.43		9.8	2.00	
7		3.87	3.25		6.72	4.00		9.85	1.50	
8		3.87	3.25		6.69	4.43		9.85	1.50	
9		3.82	4.50		6.72	4.43		9.8	2.00	
10		4.11	2.75		6.76	3.43		9.85	1.50	
MAPE (%)			MAPE (%)			MAPE (%)				
Standar Deviasi			0.11	Standar Deviasi			0.05	Standar Deviasi		

Hasil Pengujian Sensor pH Tanah

Input : Kelembapan Tanah = 65%, Kelembapan Udara = 60%, Suhu Udara = 28°C							
No	Tanaman	μ Tanah	μ Udara	μ Suhu	Rule Aktif	Output	Hasil Rekomendasi
1	Cabai	Sedang (0.50)	Sedang (0.67)	Sedang (0.33)	Rule 2	8.5	Optimal
2	Tomat	Sedang (0.60)	Sedang (0.75)	Sedang (0.50)	Rule 2	8.6	Optimal
3	Kentang	Rendah (0.7)	Sedang (0.8)	Tinggi (0.6)	Rule 5	2.7	Tidak Optimal
4	Jagung	Sedang (0.7)	Sedang (0.5)	Sedang (0.7)	Rule 2	8.4	Optimal
5	Timun	Sedang (0.6)	Rendah (0.4)	Sedang (0.8)	Rule 4	6.1	Kurang Optimal
6	Semangka	Sedang (0.7)	Sedang (0.6)	Sedang (0.9)	Rule 2	8.8	Optimal

Hasil pengujian fuzzy pada input tertentu ke-1

Input : Kelembapan Tanah = 45%, Kelembapan Udara = 85%, Suhu Udara = 32°C							
No	Tanaman	μ Tanah	μ Udara	μ Suhu	Rule Aktif	Output	Hasil Rekomendasi
1	Cabai	Rendah (1.0)	Tinggi (0.8)	Tinggi (0.8)	Rule 5	2	Tidak Optimal
2	Tomat	Rendah (1.0)	Tinggi (0.9)	Tinggi (0.7)	Rule 5	2.2	Tidak Optimal
3	Kentang	Rendah (1.0)	Tinggi (1.0)	Tinggi (0.9)	Rule 3	1.5	Tidak Optimal
4	Jagung	Rendah (1.0)	Tinggi (0.9)	Sedang (0.3)	Rule 5	2.4	Tidak Optimal
5	Timun	Rendah (0.9)	Sedang (0.4)	Tinggi (0.8)	Rule 4	5.2	Kurang Optimal
6	Semangka	Rendah (0.8)	Sedang (0.5)	Sedang (0.5)	Rule 4	5.4	Kurang Optimal

Hasil pengujian fuzzy pada input tertentu ke-2

Input : Kelembapan Tanah = 78%, Kelembapan Udara = 75%, Suhu Udara = 22°C							
No	Tanaman	μ Tanah	μ Udara	μ Suhu	Rule Aktif	Output	Hasil Rekomendasi
1	Cabai	Sedang (0.9)	Sedang (0.8)	Sedang (0.7)	Rule 2	8.8	Optimal
2	Tomat	Sedang (0.8)	Sedang (0.9)	Sedang (0.9)	Rule 2	9	Optimal
3	Kentang	Sedang (1.0)	Sedang (1.0)	Sedang (1.0)	Rule 2	8.5	Optimal
4	Jagung	Tinggi (0.2)	Sedang (0.9)	Sedang (0.9)	Rule 4	5.5	Kurang Optimal
5	Timun	Sedang (1.0)	Sedang (0.9)	Sedang (0.8)	Rule 2	8.7	Optimal
6	Semangka	Sedang (0.8)	Sedang (0.8)	Rendah (0.4)	Rule 5	2.8	Tidak Optimal

Hasil pengujian fuzzy pada input tertentu ke-3

Input : Kelembapan Tanah = 85%, Kelembapan Udara = 40%, Suhu Udara = 18°C							
No	Tanaman	μ Tanah	μ Udara	μ Suhu	Rule Aktif	Output	Hasil Rekomendasi
1	Cabai	Tinggi (0.6)	Rendah (1.0)	Rendah (1.0)	Rule 5	2	Tidak Optimal
2	Tomat	Tinggi (0.7)	Rendah (1.0)	Rendah (0.8)	Rule 5	2.1	Tidak Optimal
3	Kentang	Sedang (0.6)	Rendah (1.0)	Sedang (0.9)	Rule 4	5.3	Kurang Optimal
4	Jagung	Tinggi (0.6)	Rendah (1.0)	Rendah (1.0)	Rule 5	2	Tidak Optimal
5	Timun	Sedang (0.7)	Rendah (1.0)	Rendah (1.0)	Rule 5	2.1	Tidak Optimal
6	Semangka	Sedang (0.6)	Rendah (1.0)	Rendah (1.0)	Rule 5	2.2	Tidak Optimal

Hasil pengujian fuzzy pada input tertentu ke-4



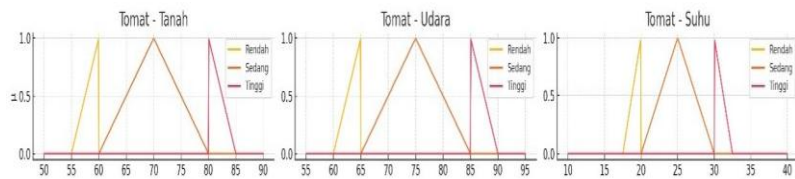
Grafik parameter optimal tanaman timun



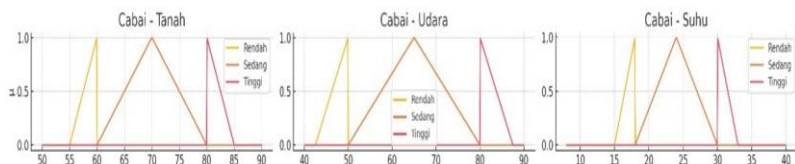
Grafik parameter optimal tanaman semangka



Grafik parameter optimal tanaman kentang



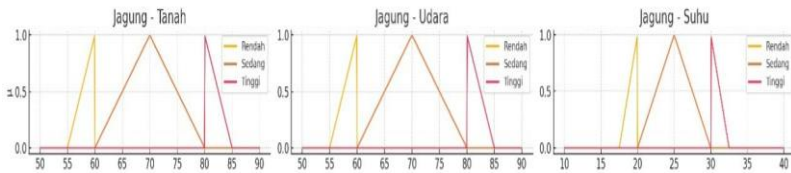
Grafik parameter optimal tanaman tomat



Grafik parameter optimal tanaman cabai



Grafik parameter optimal tanaman bayam



Grafik parameter optimal tanaman jagung

Rule	Kondisi	Keterangan
Rule 1	Kelembapan tanah rendah, kelembapan udara rendah, suhu rendah	Tidak Optimal
Rule 2	Kelembapan tanah sedang, kelembapan udara sedang, suhu sedang	Optimal
Rule 3	Kelembapan tanah tinggi, kelembapan udara tinggi, suhu tinggi	Tidak Optimal
Rule 4	Kelembapan tanah sedang, kelembapan udara sedang, suhu rendah	Kurang Optimal
	Kelembapan tanah sedang, kelembapan udara rendah, suhu sedang	
	Kelembapan tanah rendah, kelembapan udara sedang, suhu sedang	
Rule 5	Kelembapan tanah rendah, kelembapan udara rendah, suhu sedang	Tidak Optimal
	Kelembapan tanah rendah, kelembapan udara sedang, suhu rendah	
	Kelembapan tanah sedang, kelembapan udara rendah, suhu rendah	

Tabel rule fuzzy rekomendasi pupuk

No	Nitrogen (mg/kg)	Fosfor (mg/kg)	Kalium (mg/kg)	REKOMENDASI		
				Nitrogen (mg/kg)	Fosfor (mg/kg)	Kalium (mg/kg)
1	53.74	13.35	67.92	+60.0	+17.5	+75.0
2	93.12	29.78	113.55	+25.9	+4.6	+37.5
3	120.35	34.91	149.58	+0.1	+0.1	+0.2
4	143.92	41.14	177.37	-14.9	-2.5	-11.2
5	211.78	64.12	263.51	-36	-10.5	-45

Hasil pengujian rekomendasi tanaman

No	Aturan Fuzzy	Output	Arti Tindakan
1	IF nilai sensor adalah Low (Rendah) THEN rekomendasi = baseAdd	+baseAdd	Tambahkan pupuk dalam jumlah tertentu
2	IF nilai sensor adalah Mid (Sedang/Ideal) THEN rekomendasi = 0	0,0	Kondisi tanah cukup, tidak perlu tindakan
3	IF nilai sensor adalah High (Tinggi) THEN rekomendasi = baseReduce	-baseReduce	Kurangi pupuk (tanah terlalu jenuh)

Tabel rule fuzzy rekomendasi pupuk