

SKRIPSI

IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC PADA RANCANGAN IOT UNTUK ANALISIS KEBUTUHAN PUPUK PADA LAHAN PERTANIAN MENGGUNAKAN SENSOR NPK, SOIL 4-IN-1, DHT22, DAN LDR



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

Chika Putri Andrea Lita

NIM. 2115344002

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Sektor pertanian memiliki peran vital dalam perekonomian, tetapi sering kali menghadapi tantangan terkait penurunan kesuburan tanah dan ketidakseimbangan alokasi pupuk bersubsidi dengan kebutuhan di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kondisi tanah berbasis *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi dengan metode *fuzzy logic* untuk menganalisis kebutuhan pupuk secara akurat dan efisien.

Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan beberapa sensor, antara lain sensor Soil 4-in-1 untuk mengukur kelembaban, suhu, pH, dan EC tanah, sensor NPK untuk kadar Nitrogen, Fosfor, dan Kalium, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara, serta sensor LDR untuk intensitas cahaya. Data dari sensor-sensor ini diolah menggunakan dua tahap logika fuzzy. Tahap pertama menggunakan metode Mamdani untuk mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah (Buruk, Cukup, atau Ideal) berdasarkan kadar NPK. Tahap kedua menggunakan pendekatan numerik berbasis aturan untuk memberikan faktor koreksi pada dosis pupuk berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban lingkungan. Hasil analisis dan rekomendasi pupuk ditampilkan secara lokal melalui layar OLED dan dikirimkan ke aplikasi Android secara *real-time* melalui *Firestore Realtime Database*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berhasil mengintegrasikan semua sensor untuk memantau kondisi lingkungan dan tanah. Implementasi logika fuzzy dua tahap terbukti efektif dalam menganalisis tingkat kesuburan dan memberikan rekomendasi dosis pupuk yang sesuai. Pengujian validasi menunjukkan bahwa rekomendasi yang diberikan oleh sistem sejalan dengan perhitungan manual, dan tingkat deviasi pembacaan sensor berada di bawah 10%, menjadikannya cukup akurat untuk aplikasi pemantauan di lapangan. Dengan demikian, sistem ini menyediakan solusi yang andal dan efisien untuk membantu petani dalam menentukan dosis pemupukan yang tepat, mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: *Internet of Things (IoT)*, *Fuzzy Logic*, Sistem Pemantauan, Kebutuhan Pupuk, Pertanian Presisi

ABSTRACT

The agricultural sector has a vital role in the economy, but often faces challenges related to declining soil fertility and the imbalance of subsidized fertilizer allocation with on-the-ground needs. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based soil condition monitoring system integrated with a Fuzzy Logic method to analyze fertilizer needs accurately and efficiently.

The system is designed using an ESP32 microcontroller connected to several sensors, including a Soil 4-in-1 sensor to measure soil moisture, temperature, pH, and EC, an NPK sensor for Nitrogen, Phosphorus, and Potassium levels, a DHT22 sensor for air temperature and humidity, and an LDR sensor for light intensity. Data from these sensors are processed using a two-stage fuzzy logic approach. The first stage uses the Mamdani method to classify soil fertility levels (Poor, Fair, or Ideal) based on NPK levels. The second stage uses a rule-based numerical approach to provide a correction factor for fertilizer dosage based on environmental temperature and humidity conditions. The analysis results and fertilizer recommendations are displayed locally on an OLED screen and sent to an Android application in real-time via the Firebase Realtime Database.

The research results show that the designed system successfully integrates all sensors to monitor environmental and soil conditions. The implementation of the two-stage fuzzy logic is proven effective in analyzing fertility levels and providing appropriate fertilizer dosage recommendations. Validation testing shows that the recommendations provided by the system are in line with manual calculations, and the deviation rate of sensor readings is below 10%, making it accurate enough for field monitoring applications. Thus, this system provides a reliable and efficient solution to help farmers determine the right fertilization dosage, supporting sustainable agricultural practices.

Keywords: Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Monitoring System, Fertilizer Needs, Precision Agriculture

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK	vii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Internet of Things.....	6
2.2.2 ESP32.....	7
2.2.3 Sensor.....	9
2.2.4 Firebase.....	11
2.2.5 Fuzzy Logic	11
2.2.6 pH Tanah.....	13
BAB III.....	14
METODE PENELITIAN	14
3.1 Rancangan Sistem.....	14
3.1.1 Rancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	14
3.1.2 Rancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	17
3.1.3 Rancangan Fuzzy Logic.....	19
3.2 Lokasi Penelitian.....	26
3.3 Metode Penelitian	26
3.3.1 Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	26
3.3.2 Media Tanam	27
3.3.3 Nilai Ideal NPK Berdasarkan Jenis Tanah.....	28

3.4	Pengujian dan Analaisis hasil Penelitian	28
3.4.1	Pengujian Akurasi Sensor	28
3.4.2	Pengujian Sistem Fuzzy Logic	29
3.4.3	Pengujian Sistem Aplikasi dan Firebase	29
3.4.4	Validasi Output Sistem.....	30
3.5	Hasil yang Diharapkan.....	30
BAB 4		32
HASIL DAN PEMBASAN		32
4.1	Hasil Implementasi Sistem	32
4.1.1	Implementasi Alat	32
4.1.2	Implementasi Aplikasi	36
4.1.3	Implementasi Penyimpanan Data	40
4.2	Hasil pengujian Sistem	41
4.2.1	Pengujian Alat.....	42
4.2.2	Pengujian Aplikasi	45
4.2.3	Pengujian Penyimpanan Data	49
4.2.4	Pengujian Parameter-Parameter yang Diamati	51
4.3	Pembahasan Hasil Implentasi dan Pengujian	60
4.3.1	Analisis Implementasi Sistem.....	61
4.3.2	Analisis Pengujian Sistem	61
4.3.3	Perbandingan Hasil terhadap Acuan dari Tinjauan Pustaka	62
4.4	Perhitungan Rekomendasi pupuk Menggunakan Logika Fuzzy	63
4.5	Evaluasi Validasi Sistem	66
BAB V		69
KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara Kerja IoT	6
Gambar 2. 2 Mikrokontroler ESP32	7
Gambar 2. 3 Sensor NPK.....	9
Gambar 2. 4 Sensor DHT22	10
Gambar 2. 5 Module LDR	10
Gambar 2. 6 Sistem Firebase	11
Gambar 2. 7 Logika Fuzzy Logic	11
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem.....	15
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perangkat Lunak.....	18
Gambar 3. 3 Flowchart Perangkat Lunak	18
Gambar 3. 4 Alur Proses Fuzzy Logic Tahap 1	21
Gambar 3. 5 Alur Proses Fuzzy Logic Tahap 2	24
Gambar 4. 1 Rangkaian Sistem Monitoring dan Rekomendasi Pupuk Berbasis IoT	33
Gambar 4. 2 Tampilan OLED Hasil Analisis Fuzzy	34
Gambar 4. 3 Skematik Rangkaian PCB.....	35
Gambar 4. 4 Tampilan Splash Screen	37
Gambar 4. 5 Halaman Login dan Register Aplikasi	37
Gambar 4. 6 Tampilan Dashboard Aplikasi	38
Gambar 4. 7 Tampilan Menu Pengukuran	39
Gambar 4. 8 Tampilan Monitoring Cuaca dan Histori.....	39
Gambar 4. 9 Tampilan Monitoring Cahaya	40
Gambar 4. 10 Struktur Firebase Realtime Database pada Sistem	41
Gambar 4. 11 Tampilan Oled Parameter Sensor	43
Gambar 4. 12 Tampilan OLED Rekomendasi Pupuk.....	43
Gambar 4. 13 Tampilan Spalsh dan Login ke halaman dashboard.....	45
Gambar 4. 14 Tampilan Menu Dashboard.....	46
Gambar 4. 15 Tampilan Pengukuran Tanah.....	47
Gambar 4. 16 Tampilan Rekomendasi Pemupukan	47
Gambar 4. 17 Tampilan Riwayat Data Pengukuran.....	48
Gambar 4. 18 Tampilan Data Cuaca dan Cahaya	49
Gambar 4. 19 Tampilan Firebase saat data terkirim ke node last_data.....	50
Gambar 4. 20 Data Rekomendasi Pupuk pada Firebase	51
Gambar 4. 21 Struktur Histori Data Firebase	51

Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Nilai Suhu Sensor DHT22 dan Weather Station....	52
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Nilai kelembaban DHT22 dan Weather Station ...	53
Gambar 4. 24 Pengujian sensor DHT22 dibandingkan dengan Weather Station	54
Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Sensor LDR dan Lux Meter	58
Gambar 4. 26 Pengujian Sensor LDR dan Lux Meter	58
Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Sensor NPK dan Soil 4-in-1 dengan alat acuan.....	59
Gambar 4. 28 Pengujian Sensor NPK dan Soil 4-in-1 dibandingkan Alat Referensi....	60
Gambar 4. 29 Foto hasil implementasi alat dan aplikasi saat digunakan	61
Gambar 4. 30 Tampilan Aplikasi	68
Gambar 4. 31 Tampilan Oled.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Daftar Komponen Perangkat Keras	15
Tabel 3. 2 Komponen Perangkat Lunak dan Fungsinya	18
Tabel 3. 3 Fungsi Keanggotaan Fuzzy 1	19
tabel 3. 4 Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy 1	20
Tabel 3. 5 Rule Base Fuzzy 1.....	20
Tabel 3. 6 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy 2	22
Tabel 3. 7 Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy 2.....	23
Tabel 3. 8 Rule Base Fuzzy 2.....	23
Tabel 3. 9 Toleransi Unsur Hara	25
Tabel 3. 10 Faktor Koreksi.....	25
Tabel 3. 11 Karakteristik Jenis Tanah dan Perlakuan Pemupukan.....	27
Tabel 3. 12 Nilai Ideal NPK Tanaman Jagung per Jenis Tanah	28
Tabel 4. 1 Daftar Komponen Sistem.....	36
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor terhadap Jenis Tanah	44
Tabel 4. 3 Struktur Data yang Tersimpan di Firebase	50
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor Suhu Udara	52
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Udara	53
Tabel 4. 6 Data Kalibrasi Sensor LDR terhadap Lux Meter	55
Tabel 4. 7 data Hasil Perbandingan Sensor LDR dengan Lux Meter	57
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sensor NPK dan Soil 4-in-1	59
Tabel 4. 9 Hasil Rekomendasi Dosis Pupuk Berdasarkan Studi Kasus.....	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor yang sangat vital dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat sehingga menjadi salah satu pilar utama perekonomian yang mendukung pembangunan nasional. Perannya tidak hanya terbatas pada penyediaan bahan pangan, tetapi juga mencakup suplai bahan baku untuk industri, penguatan ketahanan pangan, serta pengurangan ketergantungan pada impor. Seiring meningkatnya kebutuhan pangan, permintaan terhadap tenaga kerja di sektor ini juga semakin besar, sehingga pertanian berpotensi menciptakan lapangan pekerjaan yang luas. Dengan pengelolaan yang efisien, sektor ini mampu menjadi sumber penghidupan bagi masyarakat, terutama di wilayah pedesaan, sekaligus mendorong pembangunan daerah tertinggal [1].

Kesuburan tanah merupakan salah satu faktor kunci keberhasilan pertanian. Namun, hingga kini masih banyak petani yang mengandalkan metode manual dan perkiraan untuk menentukan kebutuhan pupuk. Cara ini sering menimbulkan kesalahan dalam takaran dan jenis pupuk, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas tanaman, degradasi kualitas tanah, dan pemborosan sumber daya [2]. Pemupukan yang berlebihan juga dapat menyebabkan ketidakseimbangan pH tanah, menurunkan kemampuan tanah dalam menyerap nutrisi, bahkan mencemari lingkungan.

Permasalahan lain adalah keterbatasan ketersediaan pupuk bersubsidi dari pemerintah. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2022, alokasi pupuk bersubsidi hanya sebesar 7,4 juta ton, sementara kebutuhan menurut e-RDKK mencapai 25 juta ton, sehingga terdapat kesenjangan sekitar 17,6 juta ton [3]. Pada tahun 2024, meskipun alokasi meningkat menjadi 10,7 juta ton, kekurangan pupuk bersubsidi masih terjadi, yakni sebesar 3,4 juta ton. Ketidakseimbangan ini menghambat upaya peningkatan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, penerapan pemupukan berimbang dan berbasis data menjadi sangat penting agar dosis pupuk yang diberikan sesuai dengan kondisi spesifik tanah dan tanaman.

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan peluang besar untuk mewujudkan pengelolaan pertanian modern. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi tanah secara *real-time* melalui integrasi berbagai sensor, seperti

Soil 4-in-1 dan sensor NPK, yang mampu mengukur kelembapan, pH, suhu, serta kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium. Informasi ini menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis data [4]. Namun, data sensor bersifat kompleks dan bervariasi, sehingga memerlukan metode pengolahan yang mampu menangani ketidakpastian. Salah satu metode yang tepat adalah *fuzzy logic*, yang dapat meniru cara berpikir manusia melalui aturan linguistik untuk memberikan keputusan yang lebih adaptif.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan kondisi tanah dan rekomendasi dosis pupuk berbasis IoT yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor NPK, dan sensor *Soil 4-in-1*. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan metode *fuzzy logic* guna memberikan rekomendasi pemupukan yang tepat, efisien, dan kontekstual. Hasil analisis ditampilkan secara lokal melalui layar OLED dan dikirimkan secara real-time ke aplikasi Android, sehingga memudahkan petani dalam mengelola lahan pertanian secara efektif dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang sistem yang dapat mengukur dan memantau kondisi tanah, lingkungan, dan kebutuhan pupuk pada tanaman di sekitar lahan uji?
2. Bagaimana cara menerapkan metode *fuzzy logic* untuk menganalisis kadar unsur hara (NPK) dalam tanah dan memberikan rekomendasi kebutuhan pupuk?
3. Bagaimana cara sistem menyajikan informasi kebutuhan pupuk kepada petani secara *real-time* melalui aplikasi ponsel?
4. Bagaimana cara memastikan akurasi dan keandalan data dari sensor-sensor yang digunakan untuk memberikan rekomendasi pupuk yang sesuai dengan kondisi tanah dan tanaman?

1.3 Batasan Masalah

1. Studi hanya dilakukan pada tiga jenis tanah yang berbeda yaitu lempeng, pasir, dan tanah humus dengan luasan uji 30x30 cm dan kedalaman 10 cm per jenis tanah/media uji.

2. Implementasi dan pemrograman menggunakan mikrokontroler ESP32, dengan komunikasi data menggunakan protokol MQTT serta penyimpanan data pada *Firestore*.
3. Sensor yang digunakan adalah *sensor Soil 4-in-1* untuk kelembaban tanah, pH, suhu tanah, dan konduktivitas listrik (EC); sensor NPK untuk kadar nitrogen, fosfor, dan kalium; sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara; serta sensor LDR untuk intensitas cahaya.
4. Sistem hanya berfungsi untuk merekomendasikan pupuk dan menampilkan kondisi tanah.
5. Hasil pengukuran kondisi tanah dapat dipantau melalui aplikasi Android berbasis *Flutter*, dengan data yang tersimpan di *Firestore*.
6. Penentuan kebutuhan pupuk akan didasarkan pada analisis kondisi tanah dari jenis-jenis tanah yang diuji untuk mencapai kondisi tanah ideal yang mendukung pertumbuhan tanaman secara umum.
7. Logika fuzzy digunakan untuk menentukan rekomendasi pemupukan berdasarkan data sensor NPK.
 - Variabel input fuzzy: kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dalam tanah.
 - Variabel output fuzzy: rekomendasi jumlah pupuk dalam mg/kg untuk masing-masing unsur hara.
 - Metode fuzzifikasi menggunakan fungsi keanggotaan triangular.
 - Aturan fuzzy didasarkan pada kombinasi kadar NPK dalam tanah untuk menentukan dosis pupuk.
 - Metode defuzzifikasi menggunakan metode *Centroid (Centre of Gravity, CoG)* untuk menghasilkan nilai rekomendasi pupuk dalam bentuk numerik.
8. Sistem menggunakan power bank sebagai sumber daya utama, dengan opsi pengisian daya melalui port USB-C PD.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Dapat merancang sistem pemantauan kondisi tanah.
2. Dapat menerapkan *fuzzy logic* untuk penentuan kebutuhan pupuk.
3. Mengintegrasikan internet of things pada sistem yang akan dirancang.
4. Dapat memastikan akurasi data dari sensor yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan data akurat tentang kondisi tanah (NPK, pH, kelembapan, suhu) melalui pengujian pada berbagai jenis tanah (pasir, lempung, humus).
2. Membantu menentukan dosis pupuk secara tepat berdasarkan logika fuzzy dan hasil pengukuran sensor.
3. Menyediakan sistem pemantauan yang dapat dikembangkan sebagai solusi pertanian berbasis IoT secara praktis di lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang akan diuraikan dalam laporan skripsi ini terbagi dalam bab-bab yang akan dibahas sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pelaksanaan penelitian ini

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tempat pelaksanaan penelitian serta metode yang diterapkan dalam penelitian ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang perancangan dan hasil dari perancangan alat tersebut, serta hasil pengujian yang sudah dilakukan penulis.

BAB V. PENUTUP

Dalam bab ini akan dibahas penjelasan atau kesimpulan serta saran akhir dari hasil perakitan dan pengujian alat yang sudah dilakukan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem pemantauan dan rekomendasi pemupukan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan penerapan logika fuzzy dua tahap, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem Monitoring Berbasis IoT Berjalan dengan Baik

Sistem berhasil mengintegrasikan sensor NPK, soil 4-in-1, DHT22, dan LDR untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan tanah secara *real-time*. Data dapat ditampilkan melalui serial monitor serta dikirim ke dan diakses melalui aplikasi Android.

2. Implementasi Fuzzy Logic Dua Tahap Berhasil Menganalisis Kesuburan dan Memberikan Rekomendasi

Logika fuzzy tahap pertama mampu menentukan tingkat kesuburan tanah berdasarkan nilai Nitrogen *Firebase Realtime Database*, Fosfor, dan Kalium, yang dikategorikan menjadi Buruk, Cukup, atau Ideal. Fuzzy tahap kedua menyesuaikan dosis pupuk berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban menggunakan aturan *IF-THEN*, menghasilkan faktor koreksi (0.8, 1.0, atau 1.2) yang diterapkan pada perhitungan dosis akhir.

3. Toleransi Deviasi Berhasil Mencegah Pemupukan Berlebih

Penerapan batas toleransi untuk setiap unsur hara (± 10 mg/kg untuk Nitrogen, ± 5 mg/kg untuk Fosfor dan Kalium) memberikan hasil rekomendasi yang lebih bijak dan efisien, menghindari pemupukan jika kandungan unsur sudah berada dalam batas ideal.

4. Akurasi Sensor Relatif Tinggi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar sensor memiliki deviasi kurang dari 10% terhadap nilai referensi standar, dengan deviasi tertinggi terjadi pada konduktivitas (EC) sebesar 8.04%. Hal ini menunjukkan sistem memiliki akurasi yang cukup baik untuk kebutuhan monitoring kondisi tanah.

5. Rekomendasi Pupuk yang Dihasilkan Sesuai dengan Kondisi Tanah

Sistem mampu memberikan takaran pupuk yang disesuaikan dengan jenis tanah dan kondisi lingkungan. Misalnya, pada media tanah humus dengan kandungan N rendah dan kelembaban tanah kering, sistem merekomendasikan dosis Urea

117.39 g/polybag, tanpa tambahan SP-36 atau KCl karena nilai P dan K sudah berada dalam batas toleransi atau melebihi nilai ideal.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dan penyempurnaan sistem, beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain:

1. Penggunaan Sistem Kalibrasi Sensor Secara Berkala

Disarankan untuk melakukan kalibrasi sensor agar akurasi pengukuran tetap terjaga, terutama untuk parameter pH dan konduktivitas tanah.

2. Penambahan Modul Kendali Otomatis Aktuator

Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan aktuator seperti pompa pupuk otomatis untuk mewujudkan sistem yang benar-benar otomatis dari pemantauan hingga tindakan.

3. Integrasi dengan Sistem Notifikasi Real-Time

Disarankan untuk mengembangkan sistem peringatan dini atau notifikasi ke aplikasi Android apabila kondisi tanah berada di luar ambang normal, agar petani dapat segera mengambil tindakan.

4. Peningkatan Antarmuka Pengguna Aplikasi Android

Tampilan aplikasi dapat disempurnakan agar lebih informatif dan interaktif, misalnya dengan grafik tren data, riwayat pemupukan, serta fitur rekomendasi historis berdasarkan data sebelumnya.

5. Uji Coba Lapangan dalam Skala Lebih Luas

Sistem ini sebaiknya diuji lebih lanjut di berbagai jenis lahan dan kondisi cuaca agar efektivitas dan keandalannya dapat divalidasi secara menyeluruh untuk penerapan nyata di sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Sari, A. Novita, A.-K. Al-Khowarizmi, F. Ramadhani, and A. Satria, "Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 4, Art. no. 4, Jun. 2024, doi: 10.56211/blendsains.v2i4.505.
- [2] A. P. Baharsyah and M. I. Suriansyah, "Sistem Penunjang Keputusan Normalisasi Ph Dan Tds Pada Vertical Garden Tanaman Kangkung Dengan Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Internet Of Things," *DIKE J. Ilmu Multidisiplin*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2024, doi: 10.69688/dike.v2i1.63.
- [3] "View of Design And Implementation Of A Cyber Physical System Of A Automated Wheather Station And Agricultural Node In Smart Farming." Accessed: Jan. 09, 2025. [Online]. Available: <https://journals.telkomuniversity.ac.id/jnst/article/view/8749/2711>
- [4] S. Firdaus, T. Rismawan, and U. Ristian, "Sistem Manajemen Pengairan Pada Budidaya Tanaman Anggur Berbasis Internet Of Things (IOT)," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, Art. no. 3s1, Sep. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3389.
- [5] A. F. Ritonga, S. Wahyu, and F. O. Purnomo, "Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa SMK Jakarta 1," *Risenologi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, Apr. 2020, doi: 10.47028/j.risenologi.2020.51.57.
- [6] A. Sanaris and I. Suharjo, "Prototype Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan NodeMCU ESP32 Dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things (IOT)," no. 84.
- [7] I. G. A. Gunadi, "Wahana Matematika dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya, Vol. 16 No 3, Desember 2022 e-ISSN: 2549-6727 , p-ISSN: 1858-0629," *J. Mat.*, vol. 16, no. 3, 2022.
- [8] S. Ratna, , A., and , W., "Desain Dan Implementasi Alat Ukur Unsur Hara Tanah Menggunakan Sensor Npk Berbasis Wireless Sensor Network (WSN)," *Technol. J. Ilm.*, vol. 14, no. 4, p. 466, Oct. 2023, doi: 10.31602/tji.v14i4.12756.
- [9] I. Y. Syas and F. A. Rakhmadi, "Prototipe Sistem Monitoring Serta Kendali Suhu Dan Kelembapan Ruangan Budidaya Jamur Tiram Putih Menggunakan Sensor Dht22 Dan Mikrokontroler NODEMCU," *Sunan Kalijaga J. Phys.*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2019.

- [10] E. Desyantoro, A. F. Rochim, and K. T. Martono, “Sistem Pengendali Peralatan Elektronik dalam Rumah secara Otomatis Menggunakan Sensor PIR, Sensor LM35, dan Sensor LDR,” *J. Teknol. Dan Sist. Komput.*, vol. 3, no. 3, pp. 405–411, Aug. 2015, doi: 10.14710/jtsiskom.3.3.2015.405-411.
- [11] “Pemodelan Dasar Sistem Fuzzy.” Accessed: Mar. 01, 2025. [Online]. Available: <https://socs.binus.ac.id/2012/03/02/pemodelan-dasar-sistem-fuzzy/>
- [12] R. Rumfot, Y. A. Lesnussa, and D. L. Rahakbauw, “Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani, Sugeno Dan Tsukamoto Untuk Menentukan Jumlah Produksi Batu Pecah,” *MATHunesa J. Ilm. Mat.*, vol. 12, no. 1, pp. 157–168, Jan. 2024, doi: 10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168.
- [13] Dr. S. O’ Kennedy, “Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth,” *Int. J. Geogr. Geol. Environ.*.