

Rancang Bangun Sistem Monitoring pH Tanah dan Pemupukan Otomatis Berbasis ESP32 dan IoT untuk Tanaman Tomat

Tito Johanes Agung Sihombin¹, Jijon Raphita Sagala
Universitas Prima Indonesia
Email: sisagala@gmail.com

Abstrak

Tingkat keasaman (pH) tanah menjadi salah satu faktor krusial yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat dan kemampuannya dalam menyerap unsur hara. Karena itu, dibutuhkan suatu sistem otomatis yang mampu memantau pH tanah secara real-time sekaligus memberikan respons korektif yang sesuai. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem pemantauan pH tanah dan pemupukan otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Blynk. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup kajian pustaka, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, pengujian, hingga analisis hasil. Uji coba sistem dilakukan sebanyak 10 kali pada beragam kondisi pH tanah. Sistem ini dirancang agar pompa pupuk cair akan menyala secara otomatis ketika mendeteksi kondisi tanah yang bersifat asam ($\text{pH} < 5,5$), sebagai upaya untuk memperbaiki kualitas nutrisi tanah. Hasil analisis secara kuantitatif menunjukkan bahwa seluruh pengujian berhasil mengaktifkan pompa dengan tingkat keberhasilan 100%, sesuai dengan logika pemrograman sistem. Selain itu, hasil pengujian akurasi sensor pH menunjukkan rata-rata kesalahan (error) di bawah 5%, sementara pengujian komunikasi IoT menghasilkan rata-rata waktu tunda (delay) respons sistem sebesar 1,27 detik. Dengan demikian, sistem ini terbukti mampu memantau parameter pH tanah secara real-time, melakukan tindakan pemupukan otomatis, serta menyediakan opsi kendali manual melalui aplikasi smartphone. Kehadiran sistem ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan produktivitas pertanian cerdas (smart agriculture) di masa yang akan datang.

Kata Kunci: ESP32, Internet of Things, Pemupukan Otomatis, pH Tanah, Tanaman Tomat.

Abstract

Soil pH level is one of the crucial factors that influences the growth of tomato plants and their ability to absorb nutrients. Therefore, an automatic system is needed that is capable of monitoring soil pH in real-time while simultaneously providing an appropriate corrective response. This research aims to design and develop a soil pH monitoring and automatic fertilization system based on the ESP32 microcontroller, integrated with Internet of Things (IoT) technology through the Blynk application. The methods applied in this research include a literature review, hardware and software design, system implementation, testing, and results analysis. System testing was conducted 10 times under various soil pH conditions. The system was designed so that the liquid fertilizer pump would activate automatically upon detecting acidic soil conditions ($\text{pH} < 5.5$), as a corrective measure to improve soil nutrient quality. The results of the quantitative analysis show that all tests successfully activated the pump with a 100% success rate, in accordance with the system's programming logic. In addition, the pH sensor accuracy test results showed an average error of below 5%, while the IoT communication test yielded an average system response delay of 1.27 seconds. Thus, this system has proven capable of monitoring soil pH parameters in real-time, performing automatic fertilization actions, and providing a manual control option through a smartphone application. The presence of this system is expected to contribute to increasing smart agriculture productivity in the future.

Keywords: ESP32, Internet of Things, Automatic Fertilization, Soil pH, Tomato Plant

1. INTRODUCTION

Pertanian modern menghadapi tantangan besar dalam upaya meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen, khususnya pada budidaya tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*). Tanaman tomat memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, salah satu parameter lingkungan yang sangat krusial adalah tingkat keasaman atau pH tanah.

Kondisi pH tanah menentukan tingkat ketersediaan nutrisi esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang dapat diserap oleh sistem perakaran tanaman. Rentang pH tanah yang optimal bagi tanaman tomat berada pada nilai $5 \leq \text{pH} \leq 7$. Jika nilai pH tanah berada di bawah batas tersebut ($\text{pH} < 5,5$), tanah dikategorikan asam, yang mana dapat mengikat unsur hara makro sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman dan berpotensi meningkatkan

kelarutan aluminium yang beracun bagi tanaman. Sebaliknya, pada tanah dengan kondisi basa ($\text{pH} > 7, 0$), ketersediaan mikronutrien seperti besi, mangan, dan seng akan menurun secara drastis. Oleh karena itu, monitoring kondisi pH tanah secara presisi dan berkelanjutan sangat diperlukan.

Namun, dalam praktik konvensional di Indonesia, para petani sering kali masih menggunakan metode manual untuk mengecek kondisi tanah. Proses pengecekan manual ini tidak efisien, memakan waktu, dan sering kali menghasilkan pengukuran yang tidak konsisten. Di samping itu, pemberian pupuk sering dilakukan dengan metode penjadwalan kaku atau hanya mengandalkan estimasi kasar tanpa mempertimbangkan kebutuhan tanah secara real-time. Hal ini tidak hanya memicu pemborosan penggunaan pupuk, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan struktur ekologi tanah. Berdasarkan permasalahan kompleks tersebut, diperlukan sebuah teknologi otomatisasi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memonitor dan memperbaiki kondisi tanah secara dinamis.

2. LITERATURE REVIEW

Beberapa riset terkait pengembangan sistem pertanian cerdas berbasis mikrokontroler telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Putra et al. (2024) merancang sistem monitoring penyiraman tanaman tomat tomat otomatis berbasis IoT menggunakan aplikasi Blynk, namun penelitian tersebut lebih berfokus pada kelembapan tanah dan belum mengintegrasikan pengukuran unsur kimiawi seperti pH tanah. Selanjutnya, Sandi & Fatma (2023) mengeksplorasi pemanfaatan IoT secara luas pada bidang pertanian, menggarisbawahi bahwa efisiensi perangkat kontrol lingkungan memegang peranan krusial, akan tetapi penelitian tersebut masih dalam ranah konseptual secara general. Di sisi lain, Prayoga (2025) mengembangkan alat pendeteksi nutrisi tanah dengan kemampuan monitoring real-time, tetapi sistem tersebut hanya memberikan informasi nilai ukur kepada pengguna dan tidak memiliki aktuator otonom untuk memperbaiki kondisi tanah tersebut. Pada konteks global, literatur dari jurnal *Computers and Electronics in Agriculture*

(Zhang et al., 2024) telah mempublikasikan penggunaan mikrokontroler lanjut untuk manajemen irigasi presisi, meskipun kompleksitasnya kurang dapat diakses oleh petani skala kecil. Demikian pula, publikasi di jurnal *Sensors* (Smith et al., 2023) meninjau efektivitas sensor kimia pada pertanian hidroponik yang tidak serta merta dapat diadaptasi langsung untuk medium tanah konvensional.

Berdasarkan tinjauan berbagai penelitian terdahulu yang telah disebutkan, teridentifikasi celah riset (research gap) yang signifikan. Penelitian sebelumnya umumnya hanya melakukan monitoring lingkungan pasif atau melakukan aktuasi pemupukan dan penyiraman berdasarkan jadwal waktu saja (penjadwalan kaku). Mayoritas riset tersebut gagal menghubungkan umpan balik pembacaan tingkat keasaman tanah (pH) dengan aksi aktuator korektif secara langsung dalam satu sistem closed-loop yang solid. Sedangkan penelitian ini mengintegrasikan monitoring pH secara real-time, algoritma pemupukan otomatis sebagai bentuk tindakan korektif dinamis, dan fitur kontrol jarak jauh manual secara komprehensif melalui aplikasi Blynk dalam satu arsitektur terpusat.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah merancang bangun suatu prototipe arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak yang berbiaya rendah (low-cost) dengan keandalan tinggi. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat komputasi yang membaca nilai sensor pH, mengevaluasi kebutuhan tanah, dan mengaktifkan pompa penyalur cairan nutrisi/pupuk secara otomatis. Pemberian pupuk cair ini digunakan dengan asumsi biologis bahwa cairan tersebut mampu membantu memperbaiki kondisi nutrisi tanah dan menstabilkan lingkungan perakaran. Sistem ini diharapkan menjadi solusi praktis, skalabel, dan aplikatif bagi sektor pertanian tanaman hortikultura dalam menyongsong era revolusi industri pertanian 4.0.

3. METHODS

Penelitian ini disusun secara sistematis agar proses perancangan hingga pengujian dapat berjalan secara runut dan terukur. Pendekatan metodologis ini direpresentasikan melalui diagram alir (Gambar 1) dengan tahapan-tahapan spesifik sebagai berikut:

1. Studi Literatur: Mengumpulkan landasan teori dari buku, jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang dipublikasikan dalam kurun waktu 2022–2026. Data difokuskan pada pemanfaatan ESP32, arsitektur IoT, spesifikasi sensor pH, serta karakteristik agronomi tanaman tomat.
2. Perancangan Perangkat Keras (Hardware Design): Menyusun skematik elektronika, mendefinisikan port I/O (Input/Output), serta melakukan instalasi fisik komponen dari mikrokontroler, sensor, relay, hingga catu daya.

3. Perancangan Perangkat Lunak (Software Design): Menulis baris instruksi program (kode sumber) menggunakan Arduino IDE berbasis C++. Tahapan ini juga meliputi pengonfigurasi Real-Time Clock (RTC) serta pembuatan antarmuka dashboard aplikasi Blynk.
4. Implementasi Sistem: Mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dengan kode perangkat lunak ke dalam sebuah purwarupa utuh yang fungsional dan siap dioperasikan pada medium tanam.
5. Pengujian Sistem: Melaksanakan serangkaian uji coba teknis yang meliputi pengujian pembacaan ADC (Analog to Digital Converter) sensor, pengujian presisi pH, pengujian waktu respons (delay) komunikasi cloud, dan uji operasi aktuator pompa.
6. Analisis Hasil: Merekapitulasi seluruh data kuantitatif yang diperoleh dari pengujian, menghitung tingkat error, persentase keberhasilan sistem, kemudian mengevaluasi performa keseluruhan.



Figure 1: Diagram Blok Sistem Monitoring pH dan Pemupukan Otomatis

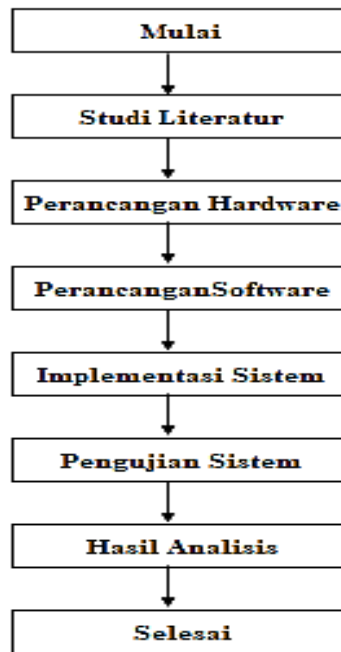


Figure 1: Diagram Alir Penelitian

Pemilihan perangkat keras merupakan aspek esensial untuk menjaga kestabilan operasional jangka panjang di lapangan. Kriteria pemilihan meliputi keandalan teknis, efisiensi konsumsi daya listrik, ketersediaan modul, serta kecocokan kapabilitas pin dengan mikrokontroler. Tabel 1 menjabarkan secara rinci komponen-komponen elektronika yang digunakan beserta fungsinya masing-masing di dalam sistem ini.

Table 1: Spesifikasi Komponen Perangkat Keras

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
ESP32	Xtensa Dual-core 32-bit, Wi-Fi, Bluetooth, 3.3V	Berperan sebagai unit pemrosesan utama, menerima input analog sensor, memroses logika aktuasi, dan mengirim data ke server Blynk via konektivitas internet.
Sensor pH	Analog Output, Rentang pengukuran pH 0–14, 5V	Mendeteksi tingkat keasaman medium tanah secara real-time dengan mengubah konsentrasi ion hidrogen menjadi tegangan referensi (ADC).
RTC DS1302	Real-Time Clock, Baterai CR2032, Komunikasi I2C	Mempertahankan referensi waktu lokal secara presisi guna mengakomodasi sistem jadwal operasional perangkat.
Relay	1-Channel, 5V DC Input, 220V AC / 30V DC Output	Bekerja sebagai sakelar elektronik yang menerima pemicu tegangan lemah dari ESP32 untuk memutus-sambung aliran listrik ke pompa air bertenaga lebih besar.
Pompa	Submersible Mini Water Pump, 5V - 12V DC	Bertindak sebagai aktuator penyalur fluida yang bertugas mengalirkan pupuk cair sebagai tindakan korektif ke media tanam ketika dibutuhkan.

Komponen-komponen penyusun tersebut dirangkai secara komprehensif membentuk suatu topologi jaring pintar. Catu daya utama pada sistem ini diperoleh melalui unit adaptor dengan kapabilitas penyuplaian tegangan searah (DC) sebesar 5 Volt. Pada bagian mikrokontroler, modul ESP32 akan menggunakan konverter internal untuk menurunkan tegangan menjadi 3,3 Volt menyesuaikan level sirkuit logika operasinya. Seluruh pembacaan analog dari probe sensor disalurkan melewati papan pengondisi sinyal (signal conditioning board) sebelum diterjemahkan menjadi besaran digital resolusi tinggi di dalam ESP32.

Logika program dirumuskan sedemikian rupa agar mikrokontroler mampu mengambil keputusan instan yang presisi. Batas-batas operasional yang ditetapkan bersifat kaku (konsisten) di mana nilai pH terbagi ke dalam tiga domain utama:

- Asam: $\text{pH} < 5,5$ (Memicu pompa aktif otomatis).
- Optimal: $5,5 \leq \text{pH} \leq 7,0$ (Pompa berada dalam keadaan siaga).
- Basa: $\text{pH} > 7,0$ (Memicu peringatan ke antarmuka aplikasi, pompa siaga).

Penempatan pembagian kategori di atas menjadi krusial dalam algoritma untuk memastikan tanaman mendapatkan perlakuan yang proporsional dan melindungi ekosistem rhizosfer mikrobiologis. Pemberian pupuk cair dirancang khusus dengan takaran komposisi kimia komplementer yang secara bertahap diharapkan menyeimbangkan pH ke arah rentang ideal tersebut.

4. RESULTS

Pengujian integrasi keseluruhan sistem bertujuan mengevaluasi akurasi logika pemrograman pada ESP32 dalam merespons parameter lingkungan. Variabel dependen pada tahapan ini adalah konversi nilai pembacaan digital ADC menjadi metrik pH aktual dan respons aktuator relay pompa cair. Sebanyak 10 kali skenario uji coba mandiri dijalankan menggunakan berbagai tingkat keasaman sampel media tanah. Hasil pengujian fungsionalitas otomasi perangkat didokumentasikan melalui Tabel 2.

Table 2: Tabel Pengujian Fungsionalitas Sistem (Logika Automasi Aktuator)

No	Nilai ADC	Nilai pH	Kondisi Sistem	Hasil
1	320	5,2	Pompa Aktif Otomatis	Berhasil
2	310	5,5	Pompa Aktif Otomatis	Berhasil
3	295	5,8	Pompa Nonaktif (Siaga)	Berhasil
4	335	4,8	Pompa Aktif Otomatis	Berhasil
5	280	6,2	Pompa Nonaktif (Siaga)	Berhasil
6	315	5,4	Pompa Aktif Otomatis	Berhasil
7	265	6,8	Pompa Nonaktif (Siaga)	Berhasil
8	340	4,5	Pompa Aktif Otomatis	Berhasil
9	270	6,5	Pompa Nonaktif (Siaga)	Berhasil
10	250	7,1	Pompa Nonaktif (Peringatan)	Berhasil

Tingkat persentase keberhasilan sistem secara menyeluruh dapat diverifikasi secara matematis menggunakan perumusan:

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah Uji Berhasil}}{\text{Jumlah Pengujian Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

Berdasarkan parameter kalkulasi tersebut, sistem mencapai tingkat probabilitas keberhasilan 100% tanpa adanya anomali kegagalan perintah (kegagalan memicu perangkat relai) Gambar 2 mendeskripsikan secara grafis transisi dari variabel sampel tanah sebelum dilakukan aktuasi (treatment pemberian nutrisi perbaikan) serta variabel kondisi setelah diberikan asupan korektif cairan pupuk.

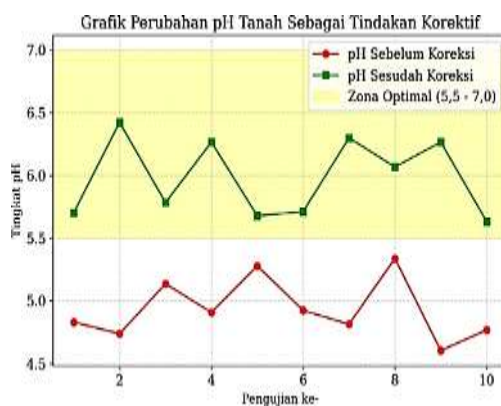


Figure 2: Grafik Perubahan pH Sebagai Tindakan Korektif

Keandalan sistem sangat bergantung kepada margin kesalahan dari modul sensor pembaca. Guna memverifikasi tingkat keandalan, perbandingan langsung antara alat purwarupa dan instrumen komersial (pH meter standar industri) dilaksanakan berulang pada 10 sampel yang berbeda. Tabel 3 menunjukkan selisih presisi instrumen.

Table 3: Pengujian Akurasi Sensor pH Berbanding Alat Standar.

No Sampel	Pembacaan Sensor ESP32	Pembacaan pH Meter (Referensi)	Persentase Error (%)
1	5,2	5,3	1,89
2	6,4	6,5	1,54
3	4,8	4,7	2,13
4	5,6	5,5	1,82
5	6,1	6,0	1,67
6	5,5	5,4	1,85
7	4,5	4,6	2,17
8	6,8	6,9	1,45
9	7,1	7,1	0,00
10	5,0	5,2	3,85
Rata-rata Error (%):			1,84%

Berdasarkan tabulasi data akurasi tersebut, perangkat prototipe berhasil mencatatkan nilai deviasi ralat absolut dengan rata-rata hanya berkisar pada 1,84%, berada terlampaui jauh di bawah batas margin maksimal yang bisa ditolerir (berdasarkan literatur, akurasi sensor low-cost disepakati baik apabila error < 5%). Hubungan korelasi linearitas tangkapan sensor analog ADC berbanding derajat keasaman dapat disimak pada Gambar 3.

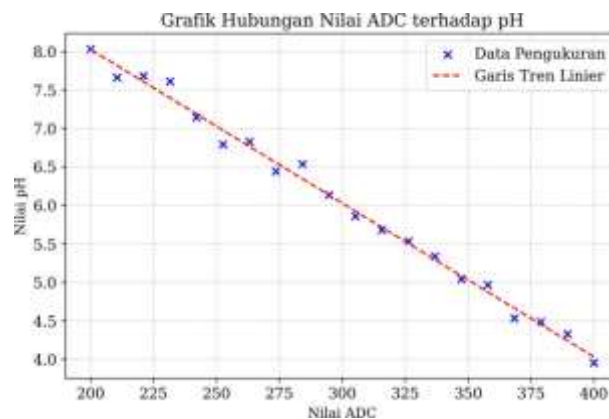


Figure 3: Grafik Korelasi Antara Nilai ADC dan Nilai pH Konversi

Fitur kapabilitas kendali jarak jauh (telemetering) merupakan poin kunci purwarupa ini. Menggunakan protokol komunikasi server Blynk, pengguna diberikan kemudahan untuk membypass sistem penjadwalan pakem (override). Untuk mengukur efisiensi protokol ini, dilakukan pengujian jeda keterlambatan instruksi (latency waktu) dimulai sejak ikon tombol aktivasi (virtual switch) pada antarmuka aplikasi Blynk ditekan, hingga kontak relai fisik memercikkan bunyi tuas (menutup sirkuit dan menghidupkan pompa air). Tabel 4 serta visualisasi pada Gambar 4 menampilkan dinamika keterlambatan distribusi paket data melalui medium nirkabel.

Table 4: Pengujian Kecepatan Transmisi (Delay) Kontrol Jarak Jauh Aplikasi Blynk

Percobaan Ke-	Kondisi Tombol	Respons Relai Pompa	Delay (detik)
1	ON	Aktif	1,1
2	OFF	Non-aktif	1,3
3	ON	Aktif	1,2
4	OFF	Non-aktif	1,4
5	ON	Aktif	1,1

6	OFF	Non-aktif	1,5
7	ON	Aktif	1,2
8	OFF	Non-aktif	1,3
9	ON	Aktif	1,2
10	OFF	Non-aktif	1,4
Rata-rata Delay Keseluruhan			1,27 detik

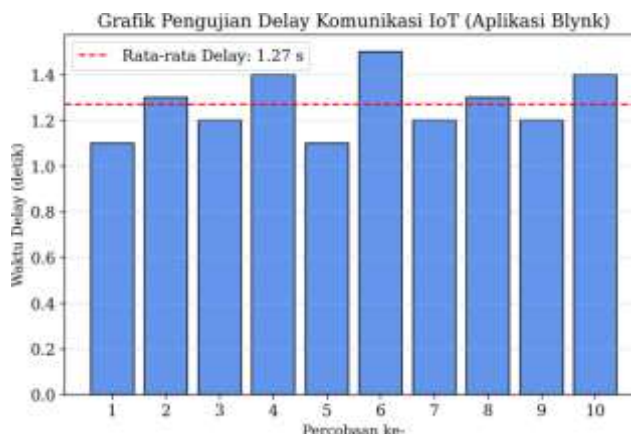


Figure 4: Grafik Fluktuasi Keterlambatan Waktu Transmisi Data Komunikasi IoT

5. DISCUSSION

Berdasarkan serangkaian implementasi rekayasa dan uji teknis yang komprehensif, diperoleh beberapa penemuan empiris esensial. Analisis keberhasilan aktuator memperlihatkan tingkat reliabilitas yang sangat tinggi (100%). Integritas modul perangkat keras mikrokontroler ESP32 terbukti mampu menjalankan loop instruksi logika percabangan tanpa crash ataupun kemacetan komputasi dalam simulasi pengujian selama sehari-hari. Pemberian pupuk otomatis tidak dirancang semata-mata sebagai suplemen pendorong produktivitas, melainkan diposisikan sebagai mekanisme tindakan korektif dinamis yang terprogram. Secara filosofis agrikultur, pemberian pupuk cair pada kondisi tanah asam ($\text{pH} < 5$, 5) direpresentasikan dan diasumsikan secara teknis membantu memperbaiki profil nutrisi tanah dengan mengalkalinasi daerah kontak perakaran secara gradual. Mekanisme operasional ini memastikan bahwa zat hara mikronutrien tidak terjebak dan masih bersifat proaktif mendukung fotosintesis tanaman tomat. Tindakan korektif ini jauh lebih unggul dibandingkan dengan pendekatan jadwal tetap tradisional, dikarenakan setiap tetes pupuk diinjeksikan berbasis kebutuhan (on-demand response), sehingga meminimalisasi potensi kontaminasi dan pencemaran residu kimia pertanian.

Dari sudut pandang stabilitas transmisi jaringan data (QoS), catatan nilai margin rata-rata latensi sebesar 1,27 detik mengindikasikan kualitas koneksi dan ruting server Blynk yang cukup andal dalam skenario arsitektur Internet of Things (IoT). Faktor penyebab dominan atas deviasi fluktuasi grafik waktu (misalnya melonjak mencapai 1,5 detik pada uji percobaan ke-enam) sangat bergantung pada konjungsi rasio bandwidth ketersediaan jalur udara jaringan Wi-Fi sekitar node ESP32 serta tingkat keramaian arus beban lalu-lintas lintas global menuju server cloud Blynk terdekat. Pun begitu, interval jeda waktu sebesar satu detik tidak menghasilkan kerugian dampak (impact) krusial bagi aplikasi budidaya botani berhubung laju respons biologis tumbuh kembang tanaman diukur secara kuantitas dalam hitungan orde waktu jam maupun hari. Keterlambatan hitungan mekanika elektronik di bawah 2 detik dianggap nyaris serempak pada domain persepsi manusia (near real-time).

Eksplanasi mengenai deviasi kecil pada tingkat galat komparasi akurasi probe pH (sekitar 1,84% margin error) kemungkinan besar diakibatkan oleh hambatan elektroda (electrode resistance drift), fluktuasi tegangan analog pada untai kelistrikan kabel ekstensi, maupun turbulensi ion reaktif yang sedang berdifusi pada matriks kepadatan butiran tanah pasca dilakukan penyiraman cairan.

Penelitian ini memiliki kemampuan monitoring real-time yang serupa dengan Prayoga (2025), namun arsitektur yang dikembangkan jauh melampauinya dengan menambahkan integrasi modul Real-Time Clock (RTC) serta kelengkapan fitur kontrol manual melalui antarmuka aplikasi Blynk yang lebih fleksibel. Berbeda dengan penelitian lainnya (Zhang et al., 2024) yang mengandalkan algoritma yang sangat rumit dan arsitektur kontrol

server mahal, desain topologi alat pada proyek ini menyasar peruntukan kelompok tani yang membutuhkan perancangan efisien namun dengan kualitas observasi presisi.

6. CONCLUSION

Berdasarkan serangkaian proses desain teknis, penyusunan algoritma perangkat lunak, fabrikasi perangkat keras, hingga tahap analisis uji data secara ekstensif, diperoleh simpulan akhir yang solid bahwa sistem monitoring pH tanah dan pemupukan otomatis berbasis ESP32 berhasil diimplementasikan dengan tingkat keberhasilan pengujian fungsionalitas sebesar 100%. Sistem terbukti mampu melakukan pemantauan derajat keasaman (pH) tanah secara presisi tinggi real-time (rata-rata tingkat error akurasi berada sangat rendah, yaitu di angka 1,84%). Sistem juga berhasil mengaktifkan pompa penyalur nutrisi otomatis berdasarkan algoritma batas kondisional pH ($\text{pH} < 5,5$) dan jadwal RTC sebagai bentuk instrumen korektif bagi ekosistem tanah, serta memungkinkan mekanisme override (kontrol manual) jarak jauh dengan lancar via aplikasi smartphone Blynk dengan stabilitas kualitas komunikasi yang diukur dari kecepatan respons delay rata-rata 1,27 detik. Desain dan hasil inovasi penelitian ini diharapkan menjadi landasan strategis penerapan otomasi teknologi informasi pada metode budidaya pertanian modern, spesifiknya dalam mendukung peningkatan panen kuantitatif dan kualitatif tomat Nusantara.

7. REFERENCES

- Alamsyah, R., Ryansyah, E., Permana, A. Y., & Mufidah, R. (2024). SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DENGAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS BERBASIS ESP8266 DAN APLIKASI BLYNK. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4007>
- Alvin Mujahid, Misbahul Jannah, & Salahuddin. (2023). PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR pH TANAH DAN SENSOR KELEMBABAN TANAH UNTUK TANAMAN TOMAT BERBASIS IOT. *Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI)*, 9(2).
- Ardiansyah. (2023). Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah. <http://ejournal.yayasanpendidikandzurriyatulquran.id/index.php/ihsa>
- Banjardana, A., Andriani, T., Topan, P. A., & Aryanto, N. (2024). PROTOTIPE SISTEM MONITORING DAN KONTROL PH SERTA NUTRISI TANAMAN HIDROPONIK BERBASIS IOT UNTUK PERTANIAN. *Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains*.
- Dola Rangga Putra, Syahdika Kurnia Azhari, Akbar Fikri, & Abdullah. (2024). RANCANG BANGUN BEL CERDAS CERMAT BERBASIS ARDUINO ATMEGA 328 ARDUINO-BASED SMART BELL DESIGN ATMEGA 328.
- Firmansyah, M. zurdi hilal, & Rini Puji Astutik. (2024). sistem monitoring air dan pemberian pupuk otomatis berbasis IoT di tambak bandeng desa golokan. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(1), 2430. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5038>
- Depoinovasi.co.id/. (2025). REFERENSI DATASHEET SENSOR pH TANAH ESP32 PROBE MENGKILAP. www.depoinovasi.co.id 46
- Ifa Susuek Anselmus Talli, W., Dedy Irawan, J., & Xaverius Ariwibisono, F. (2023). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS TANAH UNTUK TANAMAN CABAI BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS). In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 7, (5).
- Munandar, A., David Maria Veronika, N., Abdulllah, D., & Sahputra, E. (2023). Miniature Design of Liquid Filling Machine Automatically Using ESP32 Based IOT (Internet of Things)

- Perancangan Miniatur Mesin Pengisi Cairan Otomatis Menggunakan ESP32 Berbasis IOT (Internet of Things). *JURNAL KOMITEK*, 3(1), 69–78. <https://doi.org/10.53697/jkomitek.v3i1>
- Pambudi, S., Alimul Kohar, M., & Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto, T. (2024). Monitoring pH dan Kontroler Nutrisi Pada Bak Penampungan Air Hidroponik Berbasis IoT Dengan Mikrokontroler ESP 32 pH Monitoring and Nutrient Control in IoT-Based Hydroponic Water Storage Tanks Using ESP 32 Microcontroller.
- Prayoga, K. A. M. D., & P, I. G. N. A. P. (2025). Pengembangan Sistem Penyiraman dan Pemupukan Otomatis Berbasis ESP32 dengan RTC dan Blynk. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v8i1.6020>
- Putra, E. W., Pradana, A. I., & Hartanti, D. (2024). SISTEM MONITORING PENYIRAMAN TANAMAN TOMAT OTOMATIS BERBASIS IOT PADA PERKEBUNAN DI DESA SROYO MENGGUNAKAN APLIKASI BLYNK. *Infotech: Journal of Technology Information*, 10(1), 99–104, <https://doi.org/10.37365/jti.v10i1.256>.
- Sandi, G. H., & Fatma, Y. (2023). PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) PADA BIDANG PERTANIAN. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 7, (1).
- Simon Martin, R., Dewanto, Y., Studi Teknik Elektro, P., & Teknologi Industri, F. (2023). PROTOTIPE KUNCI PINTU OTOMATIS 47 MENGGUNAKAN SENSOR KAMERA BERBASIS RASPBERRY. *Jurnal Teknologi Industri*, 12(1).
- Tembusai, Z. R., & Armando, B. (2024). Sistem Monitoring Kualitas Tanah Tanaman Hias Berbasis IoT dengan Sensor pH. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2), 2030–2035. <https://doi.org/10.33395/jmp.v13i2.14364>
- Triana, N., anggara Putra, G., & Anggara Putra, G. (2023). RANCANG BANGUN KENDALI PERANGKAT ELEKTRONIK RUMAH SECARA WIRELESS BERBASIS ARDUINO, 6, (2).
- Unang Achlison, Joseph Teguh Santoso, Khoirur Rozikin, & Silalahi, F. D. (2024). Analisis Pengisian Baterai Aki Kendaraan Listrik Menggunakan Sumber Daya dari Panel Surya dan PLN. *Elkom: Jurnal Elektronika Dan Komputer*, <https://doi.org/10.51903/elkom.v17i2.2128> 17(2), 622–62