IMPLEMENTASI TEKNOLOGI IOT TERINTEGRASI UNTUK PEMELIHARAAN TANAMAN SAYUR PADA SISTEM SMART FARMING ROOFTOP FTE

IMPLEMENTATION OF AN INTEGRATED IOT-BASED SYSTEM FOR VEGETABLE PLANT MAINTENANCE IN A SMART FARMING ROOFTOP FTE

Satria Arjuna[1], Haura Safinaturrahmah[2], Ahmad Dzakir Hasibuan[3], Iman Hedi Santoso[4], Sri Astuti[5]
[1,2,3,4,5]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**satriiaarjuna@telkomuniversity.ac.id**, [2]**haurasafina@student.telkomuniversity.ac.id**, [3]**hasibuanahmad@student.telkomuniversity.ac.id**, [4]**imanhedis@telkomuniversity.ac.id**, [5]**sriastuti@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Pertanian perkotaan menghadapi tantangan dalam hal keterbatasan ruang dan waktu untuk merawat tanaman. Penelitian ini mengembangkan sistem *smart farming* berbasis Internet of Things (IoT) untuk untuk pemantauan dan pengendalian otomatis tanaman sayur di *rooftop* Gedung Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. Sistem ini menggunakan sensor suhu, sensor pH analog, dan sensor TDS yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data dikirim secara *real-time* ke Firebase Realtime Database untuk dianalisis dan ditampilkan, serta mengaktifkan notifikasi otomatis saat parameter lingkungan melewati batas optimal (25–27°C, pH 6.0–7.0, TDS 560–840 ppm). Aplikasi mobile digunakan sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian secara manual. Hasil dari pengujian menunjukkan sistem ini berfungsi dengan baik dengan waktu respons 1–5 detik dan tingkat kepuasan pengguna mencapai 95%. Sistem ini membuktikan bahwa penerapan IoT dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian skala kecil di lingkungan urban.

Kata kunci : Aplikasi *Mobile*, Firebase, Hidroponik, IoT, Pemeliharaan Tanaman, *Smart Farming*

Abstract

Urban agriculture faces challenges related to limited land and time for plant maintenance. This study developed an Internet of Things (IoT)-based smart farming system for monitoring and automated control of vegetable cultivation on the rooftop of the Faculty of Electrical Engineering at Telkom University. The system utilizes temperature sensors (DS18B20), analog pH sensors, and TDS sensors connected to an ESP32 microcontroller. Sensor data is transmitted in real-time to the Firebase Realtime Database for analysis and visualization, and triggers automatic notifications when environmental parameters exceed optimal thresholds (25–27°C, pH 6.0–7.0, TDS 560–840 ppm). A mobile application is used as an interface for monitoring and manual control. Testing results show that the system operates effectively with a response time of 1–5 seconds and a user satisfaction rate of 95%. This project demonstrates that the implementation of IoT technology can improve the efficiency and sustainability of small-scale urban farming.

Keywords: Mobile Application, Firebase, Hydroponics, IoT, Plant Maintenance, Smart Farming

1. Pendahuluan

Pertanian di kawasan perkotaan mengalami tantangan utama berupa keterbatasan ruang dan waktu untuk merawat tanaman. Salah satu solusi inovatif yang dikembangkan adalah dengan metode hidroponik di area rooftop. Teknik ini didukung oleh sistem otomatis yang dapat memantau dan mengatur kebutuhan tanaman secara *real-time*. Teknologi *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai solusi untuk permasalahan ini dengan memungkinkan penggabungan sensor lingkungan dan sistem kontrol yang beroperasi secara mandiri serta dapat diakses dari jarak jauh lewat aplikasi *mobile* [1].

Dengan berkembangnya penerapan IoT di berbagai bidang, termasuk pertanian, perangkat seperti sensor suhu, pH, dan TDS kini dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi keadaan media tanam dan lingkungan. Alat ini kemudian dapat mengaktifkan proses penyiraman dan pemberian nutrisi secara otomatis. Sistem ini dapat mengurangi kebergantungan pada Aktivitas secara manual meningkatkan efektivitas dalam pengelolaan sumber daya [2].

Penelitian ini mengembangkan sistem smart farming berbasis IoT dengan mikrokontroler 32-bit yang memiliki kemampuan Wi-Fi dan sensor digital, yang terhubung dengan *real-time database* berbasis *cloud*. Data yang dikumpulkan ditampilkan melalui aplikasi *mobile* sebagai antarmuka untuk pemantauan dan pengendalian. Pengujian dilakukan di *rooftop* Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom dengan pendekatan implementatif dan analisis kinerja sistem berdasarkan waktu respons, stabilitas koneksi, serta tingkat kepuasan pengguna. Solusi ini diharapkan dapat mendukung pertanian perkotaan yang efisien, berkelanjutan, dan selaras dengan arah digitalisasi dalam Revolusi Industri 4.0

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Sensor dan Parameter Lingkungan dalam Sistem Hidroponik Otomatis

Dalam hidroponik, keberhasilan pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh kestabilan kondisi lingkungan seperti suhu larutan, tingkat keasaman (pH), serta kadar nutrisi (TDS). Ketiga parameter ini berperan penting dalam proses penyerapan nutrisi oleh akar tanaman. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem *monitoring* otomatis yang dapat mendeteksi perubahan nilai secara *real-time* dan secara otomatis menyesuaikan tindakan yang dibutuhkan [3], [4].

Tabel 1 menunjukkan jenis sensor yang biasa digunakan untuk mengukur setiap parameter utama dalam sistem hidroponik otomatis:

Tabel 1. Jenis Sensor dan Parameter Lingkungan

Sensor	Parameter yang Dikendalikan	Rentang Ideal
DS18B20	Suhu larutan nutrisi	25°C – 27°C
4502c	Tingkat pH larutan	pH 6.0 – 7.0
SEN0244	Kadar nutrisi (TDS) dalam larutan	560 – 840 ppm

Sensor-sensor tersebut beroperasi secara terus-menerus untuk memantau keadaan lingkungan hidroponik, kemudian mengirimkan data ke mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Jika salah satu parameter berada di luar batas ideal, sistem akan otomatis menghidupkan aktuator seperti pompa nutrisi, pH up, dan pH down [5], [6]. Dengan adanya integrasi sensor ini, sistem hidroponik menjadi lebih efisien, responsif, dan mengurangi kebutuhan intervensi manual [6].

2.2 Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database merupakan platform penyimpanan data berbasis cloud yang memungkinkan pertukaran data secara instan dan *real-time* antara perangkat dan aplikasi. Pada sistem monitoring hidroponik, Firebase digunakan untuk menerima dan menyimpan data dari sensor seperti suhu, pH, dan TDS. Data ini dikirim dari mikrokontroler dan langsung ditampilkan dalam aplikasi mobile, memungkinkan pengguna untuk memantau dan merespons kondisi lingkungan tanaman dari jarak jauh.

Selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan data, Firebase menawarkan fitur autentikasi yang memungkinkan hanya pengguna tertentu yang bisa mengakses sistem. Dalam pengujian, sistem yang menggunakan Firebase menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif. Semua fungsi utama seperti pengiriman data, pembaruan tampilan aplikasi, dan pemberitahuan saat parameter melewati batas berjalan dengan baik, mendukung keandalan sistem *monitoring* hidroponik berbasis *Internet of Things* [7].

2.3 *Quality of Service* (QoS)

Quality of Service (QoS) merupakan acuan untuk menilai performa jaringan, terutama dalam mendukung sistem *monitoring* secara *real-time*. Parameter QoS yang sering dipakai dalam penilaian performa jaringan mencakup *delay* dan *jitter*. *Delay* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh data untuk dikirim dari pengirim menuju penerima, sedangkan *jitter* adalah variasi waktu dalam pengiriman paket data ke lokasi tujuan, yang mencerminkan fluktuasi latensi.

Standar pengukuran QoS merujuk pada ITU-T G.1010, seperti ditunjukkan pada Tabel 2:

Tabel 2. Parameter *Delay* dan *Jitter*

Kategori	Delay	Jitter
Sangat bagus	<150ms	0ms
Bagus	150 s/d 300 ms	0 s/d 75 ms
Sedang	300 s/d 450 ms	75 s/d 125 ms
Jelek	>450 ms	125 s/d 225 ms

Berikut merupakan rumus perhitungan parameter QoS :

$$Delay = \frac{Total\ Waktu}{Jumlah\ Data} \quad (1)$$

$$Jitter = \frac{Total\ Variasi\ Delay}{Total\ Paket\ Diterima} \quad (2)$$

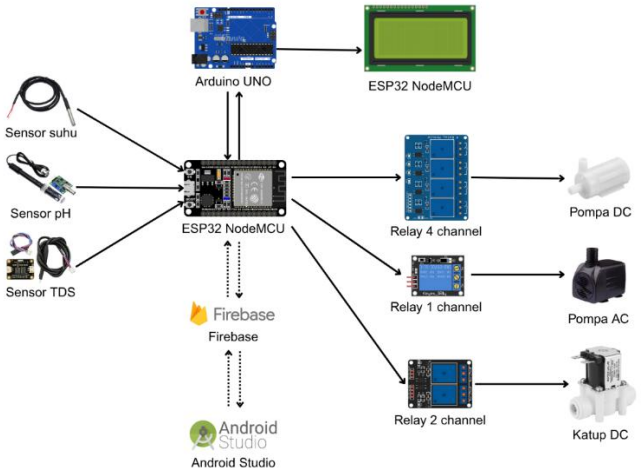
$$Jitter\ rata - rata = \frac{Total\ Jitter}{2} \quad (3)$$

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung nilai *delay*, persamaan (2) digunakan untuk menghitung *jitter*, sedangkan persamaan (3) digunakan untuk menghitung total variasi dari *delay* [8], [9].

3. Metode

Perancangan sistem *Smart Farming* IoT ini meliputi

3.1. Desain Sistem



Gambar 1. Desain Sistem IoT *Smart Farming*

Gambar 1 menunjukkan desain sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada sistem hidroponik. Sistem ini terdiri dari tiga jenis sensor utama, yaitu sensor suhu (DS18B20), sensor pH (4502C), dan sensor TDS (SEN0244), yang masing-masing berfungsi untuk mengukur suhu larutan, kadar keasaman, dan konsentrasi nutrisi larut (dalam satuan ppm). Ketiga sensor tersebut terhubung langsung ke mikrokontroler ESP32 NodeMCU, yang berperan sebagai pusat kendali sistem.

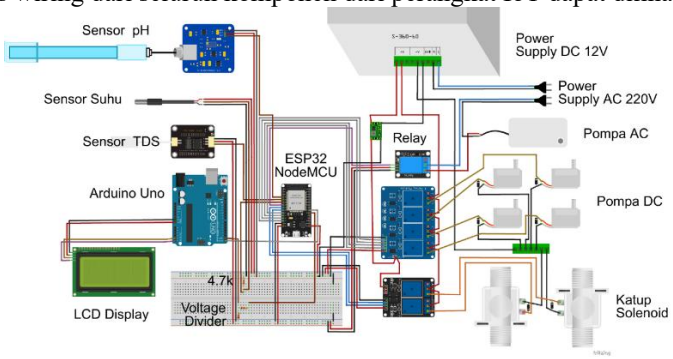
ESP32 berfungsi untuk mengumpulkan data dari berbagai sensor, lalu mengirimkan tersebut secara real-time ke Firebase Realtime Database. Firebase digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dan aplikasi mobile yang dibangun dengan Android Studio, sehingga memungkinkan komunikasi dua arah. Data sensor yang dikirim ke Firebase dapat ditampilkan pada aplikasi mobile, dan pengguna juga dapat mengirimkan perintah dari aplikasi ke Firebase, diterima oleh ESP32 untuk mengatur aktuator.

Untuk mengontrol perangkat yang digunakan, ESP32 terhubung dengan beberapa modul relay. Modul relay 4-channel mengontrol empat pompa DC, yaitu untuk pengaturan pH (pH up dan pH down) serta penambahan nutrisi (nutrisi A dan nutrisi B). Selain itu, terdapat relay 1-channel untuk

menghidupkan pompa AC sebagai sirkulasi utama untuk larutan nutrisi. ESP32 juga terhubung dengan relay 2-channel untuk mengatur dua katup solenoid DC, yaitu katup pengisian dan katup pembuangan.

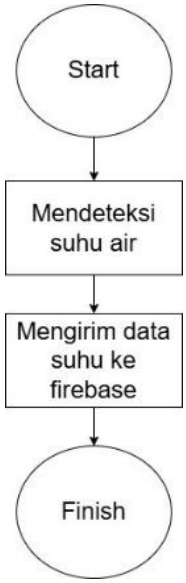
Agar data dan status sistem juga dapat ditampilkan secara lokal, ESP32 dihubungkan ke Arduino UNO melalui komunikasi serial. Arduino UNO berfungsi untuk menunjukkan data sensor dan status aktuator pada LCD 20x4 yang telah terpasang. Hal ini memungkinkan pemantauan dilakukan secara langsung dari lokasi tanpa bergantung pada aplikasi mobile.

Untuk proses wiring dari seluruh komponen dari perangkat IoT dapat dilihat pada Gambar 2.



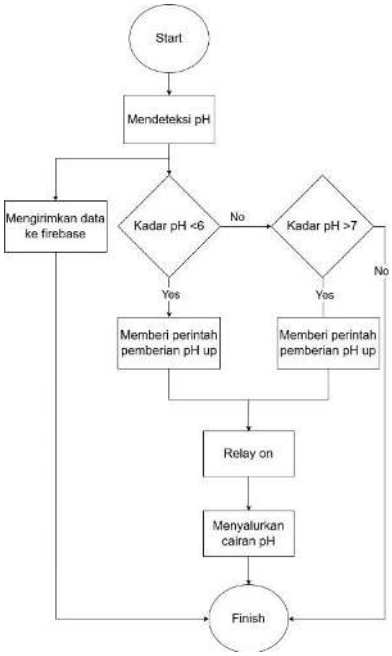
Gambar 2. *Wiring* Perangkat IoT

3.2. Cara Kerja Sistem



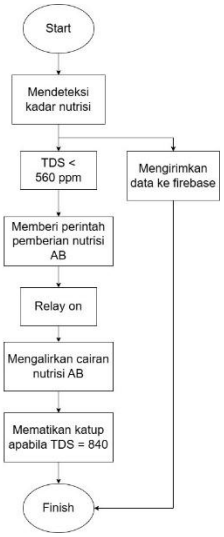
Gambar 3. *Flowchart* Sensor Suhu

Pada Gambar 3, diperlihatkan cara kerja sistem dalam membaca dan merespons suhu larutan nutrisi. Sensor suhu DS18B20 mendeteksi nilai temperatur secara real-time dan mengirimkan informasi tersebut ke mikrokontroler ESP32. Setelah menerima data suhu, ESP32 akan membandingkan nilai tersebut dengan batas ideal yang telah ditentukan, yaitu antara 25°C hingga 27°C. Apabila suhu berada dalam kisaran ini, sistem tidak mengambil Tindakan tambahan. Namun, jika suhu berada di atas atau di bawah batas ideal, data akan tetap dikirim ke Firebase untuk dicatat dan ditampilkan di aplikasi. Data suhu ini digunakan sebagai referensi untuk pemantauan dan pengambilan keputusan selanjutnya oleh pengguna melalui aplikasi *mobile*.



Gambar 4. *Flowchart* Sensor pH

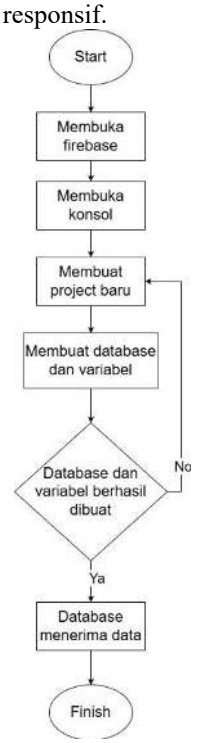
Pada Gambar 4, ditunjukkan proses kerja sistem yang mengatur tingkat keasaman larutan (pH). Sensor pH 4502C terhubung dengan ESP32 dan berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman larutan. Setelah pH terbaca, ESP32 akan menilai apakah pH berada dalam rentang yang ideal (6.0–7.0). Jika pH kurang dari 6.0, maka ESP32 akan mengaktifkan relay untuk menjalankan pompa cairan pH *up*. Sebaliknya, jika pH lebih dari 7.0, maka pompa pH *down* akan diaktifkan. Semua proses ini berlangsung secara otomatis berdasarkan logika pemrograman, sambil mengirimkan data pH ke Firebase untuk ditampilkan kepada pengguna melalui aplikasi Android dan direkam dalam sistem *cloud* secara langsung.



Gambar 5 *Flowchart* Sensor TDS

Pada Gambar 5 terlihat bagaimana sistem mengendalikan kadar nutrisi atau TDS (*Total Dissolved Solids*) dengan menggunakan sensor TDS SEN0244. Sensor mengukur tingkat konsentrasi nutrisi dalam solusi dan mengirimkan datanya ke ESP32. Apabila nilai TDS di bawah 560 ppm, ESP32 akan menyalakan kedua pompa DC secara bersamaan untuk menambahkan larutan nutrisi A dan B. Pompa-pompa tersebut akan secara otomatis dimatikan ketika nilai TDS mencapai ambang atas yang ditetapkan, yaitu 840 ppm. Proses ini berlangsung secara otomatis, dan data TDS

juga dikirimkan ke Firebase agar bisa dipantau pengguna melalui aplikasi mobile, memungkinkan pemantauan jarak jauh yang efisien dan responsif.



Gambar 6 *Flowchart Database* Firebase

Pada Gambar 6 diperlihatkan mekanisme kerja komunikasi sistem yang berbasiskan Firebase. Setelah ESP32 menerima dan memproses data dari sensor, sistem akan mengirimkan informasi mengenai suhu, pH, dan TDS ke Firebase Realtime Database. Firebase bertindak sebagai penghubung komunikasi antara sistem perangkat IoT dan aplikasi *mobile* yang dibangun menggunakan Android Studio. Pengguna dapat memantau nilai dari parameter lingkungan tanaman secara *real-time* melalui *dashboard* aplikasi. Selain itu, Firebase juga memberikan pengguna kemampuan untuk mengirim perintah kontrol, seperti menyalakan pompa atau katup secara manual, yang akan diterima oleh ESP32 dan dioperasikan sesuai perintah yang diberikan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem IoT dapat beroperasi secara efektif dan terintegrasi dengan baik, mulai dari pengambilan data oleh sensor, proses pengiriman data ke *cloud*, hingga reaksi sistem terhadap kondisi yang tidak sesuai ambang batas. Fokus utama pengujian ini adalah kemampuan perangkat ESP32 dalam mengukur parameter lingkungan, mengirimkan informasi ke Firebase Realtime Database, serta menjalankan logika kontrol otomatis melalui pengaktifan aktuator yang berbasis relay.

Pengujian pada sistem dimulai dengan menghubungkan seluruh sensor ke ESP32, yaitu sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502C, dan sensor TDS SEN0244. Masing-masing sensor diberikan percobaan berupa larutan dengan karakteristik berbeda untuk melihat bagaimana sistem membaca perubahan kondisi lingkungan. Nilai-nilai yang terbaca dari sensor dipantau melalui Serial Monitor, dan juga diamati di Firebase untuk memastikan bahwa data dikirim ke *cloud* secara *real-time* dan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Setelah itu, pengujian dilanjutkan dengan memastikan apakah komunikasi antara ESP32 dan Firebase tetap stabil. Sistem dikonfigurasi agar mengirimkan data secara berkala, dan setiap perubahan nilai sensor diamati secara langsung melalui Firebase Console. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa data muncul dengan konsisten tanpa adanya penundaan, yang membuktikan bahwa jalur komunikasi ke *cloud* berfungsi dengan baik.

Pada langkah selanjutnya, sistem diuji dalam kondisi kondisi tertentu untuk untuk mengaktifkan logika otomatisasi. Saat nilai pH menurun di bawah 6.0 atau meningkat di atas 7.0, ESP32 dapat mengaktifkan relay untuk menghidupkan pompa pH up atau pH down. Hal yang sama

terjadi ketika TDS berada di bawah 560 ppm, di mana pompa nutrisi A dan B beroperasi bersamaan hingga batas maksimum tercapai. Aktivasi dari aktuator ini dikonfirmasi melalui indikator pompa dan status relay yang beralih sesuai dengan skenario.

Pengujian terakhir melibatkan komunikasi ESP32 dan Arduino UNO. Setelah data diproses, ESP32 mengirimkan data sensor dan status aktuator ke Arduino melalui koneksi serial, dan Arduino menampilkan informasi tersebut secara bergantian di LCD 20x4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data pada LCD sesuai dengan data dari ESP32, yang menunjukkan bahwa integrasi antar perangkat berjalan dengan baik.

Melalui skenario pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa seluruh komponen sistem IoT telah berfungsi secara terintegrasi, mencakup proses akuisisi data, pengiriman ke cloud, dan respons otomatis melalui aktuator, sehingga sistem layak digunakan dalam pengendalian lingkungan pada budidaya tanaman hidroponik.

4.2. Hasil Pengujian dan Analisis

4.2.1. Pengujian Sistem IoT Dalam Mode Otomatis (Berbasis Sensor)

Pengujian sistem otomatis dilakukan untuk menilai respons aktuator terhadap kondisi larutan yang terdeteksi oleh sensor. Sebelum pengujian, sensor pH dan TDS telah dikalibrasi menggunakan larutan *buffer* standar untuk memastikan akurasi pembacaan. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa pH dan pompa nutrisi secara otomatis berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan, yaitu pH pada rentang 6.0 hingga 7.0 dan TDS pada rentang 560 hingga 840 ppm. Ketika nilai pH berada di luar rentang ideal, sistem akan mengaktifkan pompa pH up jika terlalu rendah, atau pompa pH down jika terlalu tinggi. Sementara itu, apabila nilai TDS terdeteksi berada di bawah batas minimum, sistem secara otomatis menyalakan pompa nutrisi A dan B secara bersamaan hingga nilai kembali ke rentang optimal. Parameter suhu hanya digunakan untuk memberikan notifikasi ke aplikasi tanpa memicu aktivasi aktuator.

Tabel 3 Pengujian Sistem Otomatis (Berbasis Sensor)

Parameter	Nilai Uji	Ambang Batas	Aksi Sistem Otomatis	Hasil
pH	5.2	< 6.0	Pompa pH Up menyala	Berhasil
pH	7.3	> 7.0	Pompa pH Down menyala	Berhasil
TDS	500 ppm	< 560 ppm	Nutrisi A & B menyala	Berhasil
TDS	920 ppm	> 840 ppm	Tidak ada aksi	Berhasil
Suhu	28.5°C	> 27°C	Notifikasi ke aplikasi	Berhasil

4.2.2. Pengujian Sistem IoT Dalam Mode Manual (Melalui Aplikasi)

Pengujian sistem manual dilakukan dengan mengakses tombol kontrol pada aplikasi GrowSmart. Setiap aksi pengguna akan memperbarui nilai pada Firebase dan diterjemahkan oleh mikrokontroler menjadi aksi fisik. Pompa dan katup yang tidak dikontrol sensor (seperti pompa AC dan katup air) dapat diaktifkan kapan pun. Sedangkan pompa pH dan nutrisi hanya bisa dikontrol manual saat mode manual aktif.

Tabel 4 Pengujian Sistem Manual (Melalui Aplikasi)

Komponen Aktuator	Mode Uji	Aksi Pengguna	Respon Sistem	Hasil
Pompa Air Utama	Otomatis/Manual	Tombol Pompa ON	Pompa menyala	Berhasil
Katup Air Masuk	Otomatis/Manual	Tombol Katup ON	Katup terbuka	Berhasil
Katup Air Buang	Otomatis/Manual	Tombol Katup ON	Katup terbuka	Berhasil
Pompa pH Up	Hanya Manual	Tombol PH UP ON	Pompa pH Up menyala	Berhasil
Pompa pH Down	Hanya Manual	Tombol PH DOWN ON	Pompa pH Down menyala	Berhasil
Pompa Nutrisi A & B	Hanya Manual	Tombol Nutrisi ON	Pompa A & B menyala	Berhasil

Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis berbasis sensor berfungsi efektif, dengan waktu respon aktual dalam hitungan detik, tanpa delay signifikan.

4.2.3. Stabilitas Komunikasi Firebase

1. Tabel 5 Hasil Pengujian Komunikasi Firebase

Aspek yang Diuji	Hasil Pengujian
Pengiriman data sensor ke Firebase	Data suhu, pH, dan TDS berhasil dikirim setiap ±3 detik secara rutin
Pembaruan nilai sensor di aplikasi	Nilai berubah secara *real-time* tanpa perlu refresh manual
Pengambilan perintah dari Firebase	Perintah ON/OFF pompa dan katup terbaca dalam < 1 detik di ESP32
Respons terhadap perubahan mode operasi	Mode manual/otomatis berhasil diterapkan dalam waktu respons < 1 detik
Konsistensi dan kehilangan data	Tidak ditemukan data yang hilang maupun delay selama pengujian berlangsung
Stabilitas koneksi Firebase	Stabil selama pengujian, tidak terjadi disconnect maupun crash

Menurut Tabel 5, Firebase berhasil menjalankan fungsinya sebagai jembatan komunikasi antara perangkat IoT dan aplikasi *mobile*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengiriman data sensor ke Firebase berlangsung secara konsisten dengan *interval* sekitar tiga detik, tanpa terjadi kehilangan data, *crash*, maupun keterlambatan yang berarti. Perubahan nilai data yang masuk ke Firebase secara otomatis muncul di aplikasi *mobile* tanpa memerlukan pembaruan manual, menandakan sinkronisasi berjalan dengan baik. Selain itu, perintah kontrol seperti ON/OFF dari aplikasi dapat dibaca oleh ESP32 dalam waktu kurang dari satu detik, termasuk untuk perubahan mode sistem. Struktur Firebase yang dirancang dengan rapi, seperti pada path /sensor, /log, /status/manual, /kontrol_manual, dan /perintah, juga sangat mendukung kemudahan integrasi serta pemrosesan data di kedua sisi sistem. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa komunikasi dua arah melalui Firebase berjalan stabil, *real-time*, dan efisien.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *smart farming* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan dan pengendalian otomatis tanaman hidroponik di lingkungan urban. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor suhu, pH, dan TDS, serta dilengkapi dengan aktuator berupa pompa dan katup yang dikontrol melalui logika otomatis maupun perintah manual. Seluruh data dikirim secara *real-time* ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui LCD serta aplikasi *mobile*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca data sensor secara akurat dan konsisten, mengirimkan data ke *cloud* tanpa keterlambatan signifikan, serta merespons kondisi lingkungan di luar ambang batas dengan mengaktifkan aktuator secara otomatis. Firebase juga terbukti stabil dalam mendukung komunikasi dua arah antara perangkat dan pengguna. Dengan waktu respons sistem berkisar antara 1–5 detik dan tidak adanya kehilangan data selama proses transmisi, sistem ini layak diterapkan sebagai solusi monitoring dan kontrol pertanian modern yang efisien, responsif, dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka:

[1] G. H. Sandi and Y. Fatma, “PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) PADA BIDANG PERTANIAN,” 2023.

[2] I. Putu, G. Elang, E. Kurnia Sudaryana, A. Agung, and G. Ekayana, “Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Tanaman Hidroponik Kangkung Berbasis Thingspeak dan Firebase.” [Online]. Available: https://ejournal.catuspata.com/index.php/jkdn/index

[3] B. Khoerun *et al.*, “KONTROL SISTEM PENDINGIN TEMPERATUR AIR DAN LARUTAN NUTRISI HIDROPONIK SELADA,” vol. 02, no. 02, 2023.

[4] D. R. Wati and W. Sholihah, “Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino,” *MULTINETICS*, vol. 7, no. 1, pp. 12–20, Mar. 2021, doi: 10.32722/multinetics.v7i1.3504.

[5] E. Mufida *et al.*, “Perancangan Alat Pengontrol pH Air Untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno.” [Online]. Available: http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/insantek

[6] H. R. Faikar, E. Kurniawan, dan W. Priharti, “Sistem Monitoring Berbasis Internet of Things pada Bayam Merah Hidroponik,” *e-Proceeding of Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 395–403, Feb. 2024.

[7] F. Tri Atmaja and M. Fachrie, “Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Tanaman Hidroponik Kangkung Berbasis Thingspeak dan Firebase Mobile Application for Hydroponic Plant Monitoring of Kale Based on Thingspeak and Firebase.” [Online]. Available: http://journal.ipb.ac.id/index.php/jika

[8] M. Nawawi Jurusan Sistem Komputer, U. Sriwijaya Jl Masjid Al Ghazali, B. Lama, K. I. Ilir Barat, K. Palembang, and S. Selatan, “Sistem Monitoring Jaringan Internet Pada PT.PLN (Persero) UNIT PEMBANGKIT SUMBAGSEL Berdasarkan QoS Menggunakan Protokol SNMP.”

[9] M. Alfarabi, A. Fauziah, and P. Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, “ANALISIS QUALITY OF SERVICE (QOS) ALAT MONITORING SUHU RUANGAN MENGGUNAKAN XBEE DAN ESP32.”