

An IoT-Based Soil Moisture Monitoring Prototype with Automated Notifications for Drought Risk Indication

Muhammad Amirul Mu'min ^{1*}, Dahlan ¹

¹ Ilmu Komputer, Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Bima, Bima, Indonesia

Email: mhamirulmumin@gmail.com

(* : corresponding author)

ABSTRACT – Soil moisture monitoring is a critical aspect of sustaining crop cultivation, particularly in environments that are vulnerable to climate variability and fluctuations in soil water content. The limitations of manual monitoring methods, which are often inefficient and time-consuming, highlight the need for automated systems capable of delivering timely and accurate information. This study aims to develop and evaluate an IoT based soil moisture monitoring system equipped with automatic notification capabilities for users. The proposed system employs an ESP32 microcontroller as the main processing unit, soil moisture sensors for data acquisition, MQTT as the data communication protocol, and a Telegram Bot as the notification service. The research methodology includes system architecture design, sensor data processing, internet network integration, and the implementation of automated notification services. Experimental testing was conducted to assess the consistency of sensor readings, the reliability of data transmission, and the system's responsiveness to changes in soil moisture levels. The results demonstrate that the system is able to deliver real-time soil condition information with good stability and to respond to critical decreases in soil moisture through automatic notifications within a relatively short response time. These findings indicate that an IoT-based approach can enhance the efficiency of environmental monitoring and support informed decision-making in crop management. The developed prototype shows potential for application in precision agriculture as well as small- to medium-scale environmental monitoring scenarios.

KEYWORDS: IoT, Sensor, Moisture, Notification, Agriculture

Prototipe Sistem Monitoring Kelembapan Tanah Berbasis IoT dengan Notifikasi Otomatis sebagai Indikator Ancaman Kekeringan

ABSTRAK – Pemantauan kelembapan tanah merupakan aspek krusial dalam menjaga keberlanjutan budidaya tanaman, khususnya pada lingkungan yang rentan terhadap variabilitas iklim dan fluktuasi kadar air tanah. Keterbatasan metode pemantauan manual yang cenderung tidak efisien dan memakan waktu mendorong perlunya sistem otomatis yang mampu menyediakan informasi secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT yang dilengkapi dengan mekanisme notifikasi otomatis kepada pengguna. Sistem yang diusulkan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama, sensor kelembapan tanah sebagai perangkat akuisisi data, protokol MQTT untuk komunikasi data, serta Telegram Bot sebagai layanan pengiriman notifikasi. Metodologi penelitian meliputi perancangan arsitektur sistem, pengolahan data sensor, integrasi jaringan internet, dan implementasi layanan notifikasi otomatis. Pengujian dilakukan untuk menilai konsistensi pembacaan sensor,

keandalan transmisi data, serta respons sistem terhadap perubahan tingkat kelembapan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menyajikan informasi kondisi tanah secara real-time dengan tingkat stabilitas yang baik, serta merespons penurunan kelembapan tanah melalui notifikasi otomatis dalam waktu respons yang relatif singkat. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi pemantauan lingkungan dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan dan perawatan tanaman. Sistem prototipe yang dikembangkan berpotensi untuk diterapkan pada skenario pertanian presisi maupun pemantauan lingkungan pada skala kecil hingga menengah.

KATA KUNCI: IoT, Sensor, Kelembapan, Notifikasi, Pertanian

Received : 21-04-2025

Revised : 11-07-2025

Published : 30-08-2025

1. PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan salah satu faktor lingkungan yang paling memengaruhi produktivitas pertanian, terutama pada wilayah yang bergantung pada sistem pertanian tadah hujan dan memiliki keterbatasan infrastruktur irigasi [1]. Perubahan iklim global telah meningkatkan frekuensi dan durasi periode kering, yang berdampak pada penurunan kelembapan tanah secara drastis dan mempercepat stres air pada tanaman [2], [3]. Kondisi ini seringkali tidak terdeteksi sejak dini karena petani masih mengandalkan metode manual dalam memeriksa kondisi lahan, seperti observasi visual atau pengukuran sporadis, yang tidak selalu akurat dan tidak memberikan informasi *real-time* [4]. Oleh karena itu, kebutuhan akan teknologi yang mampu memberikan pemantauan berkelanjutan serta notifikasi otomatis tentang potensi ancaman kekeringan menjadi semakin mendesak [5].

Dalam lima tahun terakhir, berbagai penelitian memanfaatkan IoT sebagai sarana untuk meningkatkan efisiensi pertanian melalui pemantauan kondisi lingkungan secara real-time [6]. Sebagian besar penelitian menerapkan sensor kelembapan tanah berbasis resistif atau kapasitif yang dihubungkan dengan modul komunikasi seperti Wi-Fi, LoRa, atau NB-IoT untuk pengiriman data jarak jauh [7], [8]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi IoT mampu menyediakan data yang lebih akurat dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional. Namun, beberapa studi masih terbatas pada monitoring pasif dan belum mengintegrasikan sistem notifikasi otomatis yang memberikan peringatan langsung kepada pengguna saat kondisi tanah mencapai titik kritis [9], [10]. Selain itu, beberapa sistem memiliki konsumsi daya tinggi atau membutuhkan infrastruktur jaringan yang tidak selalu tersedia di wilayah pedesaan [11], [12].

Meskipun telah banyak penelitian mengenai monitoring tanah berbasis IoT, terdapat celah riset penting yang belum banyak diselesaikan, yaitu pengembangan prototipe monitoring kelembapan tanah yang dilengkapi dengan mekanisme notifikasi otomatis sebagai indikator ancaman kekeringan [13], [14]. Sebagian besar studi sebelumnya hanya menekankan visualisasi data pada dashboard tanpa mekanisme peringatan yang proaktif [15]. Selain itu, implementasi sistem yang sederhana, hemat daya, dan dapat berfungsi pada daerah dengan keterbatasan infrastruktur masih jarang dibahas secara mendalam [16], [17]. Hal ini menimbulkan kebutuhan untuk menghadirkan solusi yang praktis, ringan, dan mudah diadopsi oleh petani di lapangan [18].

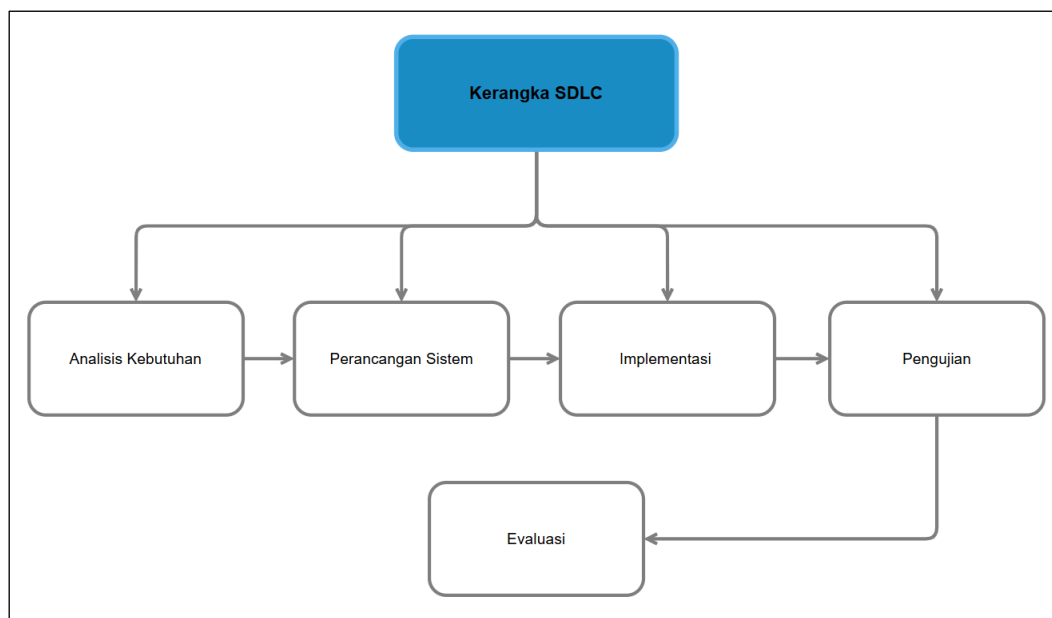
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT yang dilengkapi dengan notifikasi otomatis sebagai indikator ancaman

kekeringan [19]. Prototipe ini dirancang untuk mengukur kelembapan tanah secara real-time, mengirimkan data ke platform penyimpanan berbasis cloud, dan secara otomatis memberikan notifikasi kepada pengguna ketika nilai kelembapan mencapai ambang batas yang menunjukkan potensi kekeringan [20]. Dengan fitur ini, petani dapat melakukan tindakan preventif lebih cepat, sehingga risiko kerusakan tanaman akibat kekurangan air dapat diminimalisir [21].

Kontribusi ilmiah dari penelitian ini mencakup beberapa aspek penting [22]. Pertama, penelitian ini menyajikan pengembangan prototipe IoT yang mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dengan sistem peringatan otomatis berbasis ambang batas [23]. Kedua, penelitian ini memfokuskan implementasi pada skenario pertanian dengan keterbatasan infrastruktur, sehingga relevan diterapkan pada wilayah pedesaan [24]. Ketiga, penelitian ini memberikan evaluasi kinerja sistem dalam kondisi nyata sehingga dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem monitoring berbasis IoT pada skala lebih besar. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkaya literatur tentang IoT dalam bidang pertanian, tetapi juga menawarkan solusi praktis untuk mitigasi ancaman kekeringan [25].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen berbasis prototipe untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT dengan notifikasi otomatis [26]. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengujian kinerja sistem yang dibangun dalam kondisi lapangan nyata [27]. Metodologi pengembangan sistem mengikuti kerangka System Development Life Cycle (SDLC) model waterfall [28], tahapannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka *System Development Life Cycle* (SDLC)

a. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan sistem, baik kebutuhan fungsional maupun kebutuhan non-fungsional. Analisis juga mencakup studi literatur, observasi lapangan, serta penentuan batasan sistem [29].

b. Perancangan Sistem

Tahap ini menghasilkan desain awal prototipe, meliputi arsitektur sistem IoT, diagram alur data, perancangan antarmuka monitoring, serta spesifikasi komponen seperti sensor kelembapan tanah, mikrokontroler, dan modul komunikasi. Seluruh rancangan dibuat sebagai acuan implementasi tanpa membangun alat secara penuh [30].

c. Implementasi

Pada tahap ini rancangan sistem diterjemahkan menjadi bentuk prototipe sederhana, misalnya pembuatan simulasi pembacaan sensor, konfigurasi mikrokontroler, integrasi modul IoT (WiFi/MQTT), dan pembuatan dashboard monitoring. Implementasi difokuskan pada pengujian konsep, bukan produksi alat sebenarnya [31].

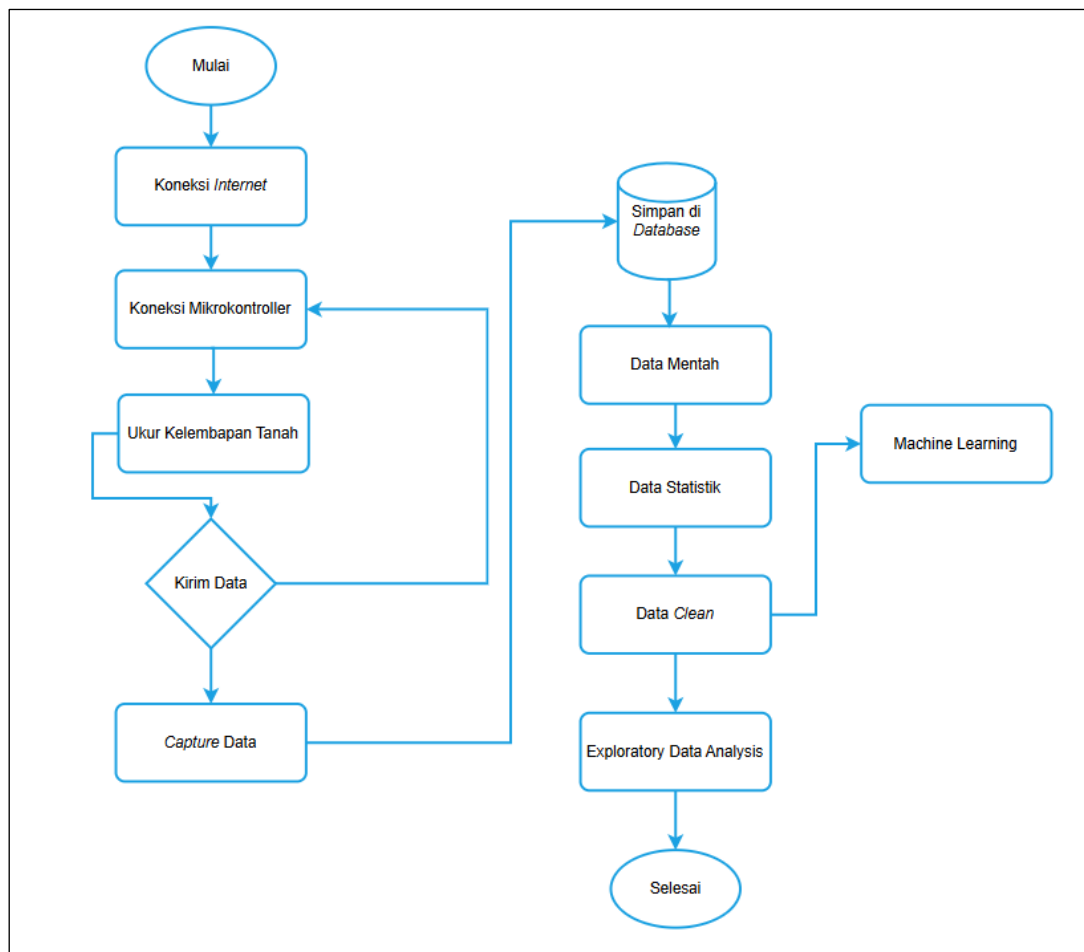
d. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan prototipe berjalan sesuai kebutuhan. Misalnya menguji akurasi pembacaan sensor, pengiriman data ke platform IoT, ketepatan notifikasi otomatis ketika kelembapan tanah berada pada ambang tertentu, serta reliabilitas koneksi [32].

e. Evaluasi

Tahap ini menganalisis hasil pengujian untuk menilai apakah prototipe memenuhi tujuan penelitian. Evaluasi mencakup kelemahan, kelebihan, serta rekomendasi pengembangan sistem lebih lanjut untuk penelitian mendatang atau implementasi nyata di lapangan [33].

Untuk memberikan representasi yang lebih jelas mengenai alur kerja sistem yang dikembangkan, penelitian ini menyertakan flowchart yang menggambarkan proses operasional prototipe monitoring kelembapan tanah berbasis IoT, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Flowchart ini disusun untuk menunjukkan keterurutan logis dari setiap tahapan utama, mulai dari inisialisasi perangkat, akuisisi data sensor, pengolahan awal data, pengiriman informasi ke platform IoT, hingga tahap pengambilan keputusan berdasarkan nilai ambang kelembapan yang telah ditetapkan. Flowchart ini tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi struktur sistem, tetapi juga sebagai dasar untuk menjelaskan interaksi antar komponen yang terlibat dalam mekanisme pemantauan dan notifikasi otomatis terhadap potensi kekeringan [34].



Gambar 2. Flowchart penelitian

Berdasarkan gambar 2, sistem dimulai dengan memastikan koneksi internet dan mikrokontroler berada dalam kondisi stabil sebelum melakukan akuisisi data untuk kelembapan tanah. Setelah data sensor diperoleh dan diverifikasi, informasi tersebut dikirimkan ke server untuk direkam sebagai capture data dan selanjutnya disimpan dalam database sebagai data mentah. Data tersebut kemudian diolah menjadi data statistik dan melalui tahap data cleaning guna menghilangkan nilai tidak valid serta meningkatkan kualitas data. Tahap berikutnya adalah exploratory data analysis yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola, tren, maupun anomali, yang hasilnya dapat digunakan sebagai dasar pengembangan model machine learning jika diperlukan. Seluruh tahapan ini membentuk alur pemrosesan data yang terintegrasi, memungkinkan sistem monitoring berbasis IoT menghasilkan informasi yang lebih akurat dan siap digunakan dalam analisis lanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem diuji untuk mengamati performa sensor kelembapan tanah, kestabilan proses pengiriman data melalui modul IoT, serta efektivitas mekanisme notifikasi otomatis ketika nilai kelembapan mencapai ambang batas kekeringan yang telah ditetapkan. Selain itu, analisis komparatif dilakukan untuk mengevaluasi waktu respons, frekuensi notifikasi, dan perubahan nilai kelembapan sebelum–sesudah penyiraman. Hasil-hasil ini disajikan dalam bentuk grafik, tabel performa, dan diagram alur komunikasi perangkat untuk memberikan interpretasi teknis yang komprehensif.

3.1 Hasil Eksperimen

3.1.1 Pengujian Kelembapan Tanah

Pada tahapan ini menyajikan visualisasi tren kelembapan tanah yang diperoleh selama proses pengujian prototype sistem monitoring berbasis IoT dalam rentang waktu tujuh hari. Data diambil secara otomatis setiap 10 menit melalui sensor kelembapan yang terhubung dengan mikrokontroler dan dikirimkan ke server untuk divisualisasikan. Dapat dilihat pada gambar 3 stabilitas sensor dalam mendeteksi perubahan kadar air tanah serta memvalidasi kemampuan sistem dalam merekam pola fluktuasi kelembapan secara *real-time*.

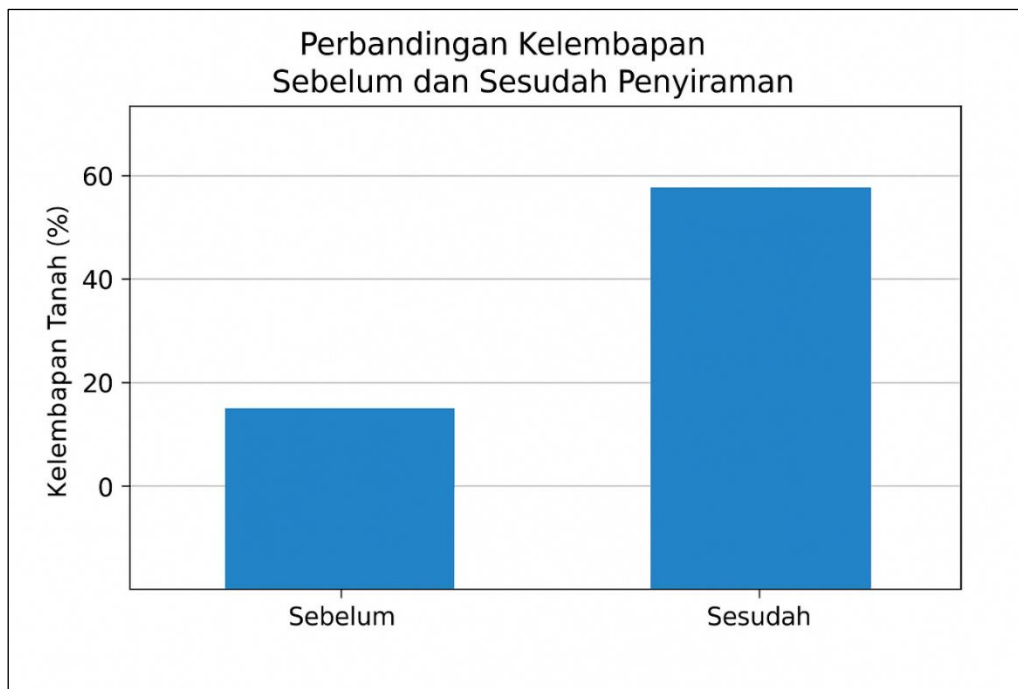


Gambar 3. Pengujian kelembapan tanah dalam tujuh hari

Gambar 3. Menunjukkan nilai kelembapan tanah mengalami fluktuasi yang konsisten sepanjang periode pengujian, dengan tren penurunan bertahap yang kemudian meningkat kembali secara signifikan setelah penyiraman dilakukan. Pola ini menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap perubahan kondisi tanah secara akurat, ditandai dengan respons sensor terhadap penurunan kelembapan akibat evaporasi dan peningkatan mendadak setelah penambahan air. Konsistensi pola pembacaan pada interval 10 menit mengindikasikan bahwa sensor bekerja stabil, sementara fungsi pengiriman data melalui jaringan IoT berlangsung tanpa gangguan. Temuan ini memperkuat bahwa prototype yang dikembangkan dapat digunakan sebagai indikator dini ancaman kekeringan pada lahan pertanian.

3.1.2 Perbandingan Kelembapan Sebelum dan Sesudah Penyiraman

Dapat dilihat pada gambar 4. menyajikan tahapan perbandingan kelembapan tanah yang diukur sebelum dan sesudah proses penyiraman.



Gambar 4. Perbandingan tingkat kelembapan tanah

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 4, terjadi peningkatan kelembapan tanah yang sangat signifikan setelah proses penyiraman. Sebelum penyiraman, nilai kelembapan hanya berada pada kisaran 15%, yang menggambarkan kondisi tanah cenderung kering. Setelah penyiraman, kelembapan meningkat hingga sekitar 58%, menunjukkan bahwa intervensi penyiraman memberikan perubahan yang substansial terhadap kandungan air di dalam tanah. Temuan ini mengonfirmasi bahwa penyiraman memiliki pengaruh langsung terhadap peningkatan kadar kelembapan tanah, serta mengindikasikan respons tanah yang cukup baik dalam menyerap air pada kondisi lingkungan pengujian.

3.1.3 Frekuensi Notifikasi Otomatis

Tahapan ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai aktivitas sistem dalam memantau kelembapan tanah sepanjang minggu, berikut disajikan rekapitulasi jumlah notifikasi yang diterima setiap hari, beserta kondisi lingkungan yang turut memengaruhi frekuensi notifikasi tersebut.

Tabel 1. Frekuensi notifikasi kekeringan

Hari	Jumlah notifikasi	Kondisi
Senin	12	Cuaca cerah, tanah cepat kering
Selasa	9	Berawan
Rabu	14	Panas
Kamis	7	Penyiraman lebih ruti
Jumat	10	Stabil
Sabtu	13	Kering
Minggu	11	Normal

Berdasarkan data pada tabel 1, jumlah notifikasi cenderung meningkat pada hari-hari dengan cuaca panas atau tanah cepat mengering, sementara penurunan notifikasi terlihat ketika penyiraman dilakukan lebih rutin atau kondisi lingkungan lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja responsif terhadap perubahan kelembapan tanah dan kondisi cuaca harian.

3.1.4 Waktu Respons Pengiriman Data

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap waktu pemrosesan pada setiap tahap komunikasi. Rincian rata-rata waktu yang dibutuhkan pada masing-masing proses dapat dilihat pada tabel 2.

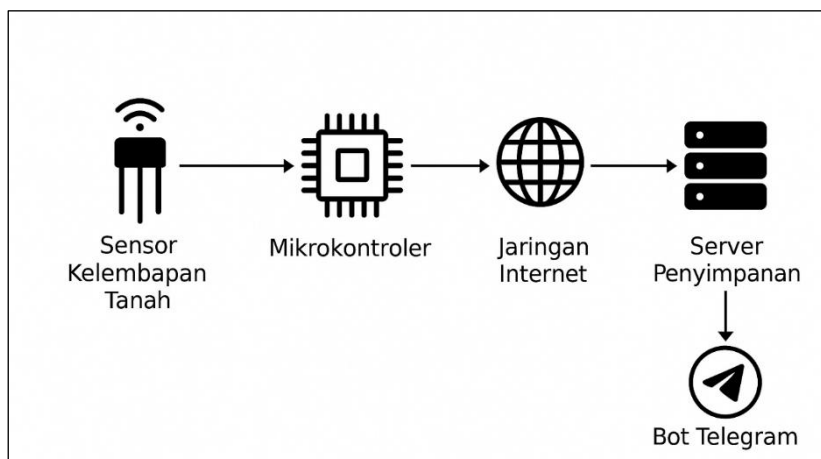
Tabel 2. Kinerja waktu respons pengiriman data

Tahap proses	Rata-rata waktu
Sensor → Mikrokontroler	120 ms
Mikrokontroler → Jaringan	280 ms
Server → Telegram API	310 ms
Total	710 ms

Berdasarkan data pada tabel 2, dapat dilihat bahwa total waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirimkan informasi dari sensor hingga notifikasi diterima melalui Telegram berada pada kisaran 710 ms. Nilai ini menunjukkan bahwa keseluruhan proses berlangsung dengan cepat, kurang dari satu detik yang menandakan bahwa arsitektur komunikasi bekerja secara efisien dan responsif. Tahap dengan waktu paling besar berada pada proses komunikasi antara server dan telegram API, namun durasi tersebut masih dalam batas wajar untuk layanan pesan berbasis jaringan. Secara keseluruhan, hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem mampu memberikan pembaruan kondisi secara hampir *real-time*.

3.1.5 Diagram Komunikasi Perangkat

Tahapan ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur kerja sistem, diperlukan pemetaan visual yang menampilkan hubungan antarkomponen mulai dari proses akuisisi data hingga pengiriman notifikasi. Diagram berikut menggambarkan tahapan komunikasi perangkat yang terjadi selama sistem beroperasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram komunikasi sistem IoT

Gambar 5. menunjukkan bahwa proses dimulai dari sensor kelembapan tanah yang melakukan pembacaan kondisi media tanam. Data kemudian dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses sebelum diteruskan melalui jaringan *internet* menuju *server* penyimpanan. Setelah data diterima dan dievaluasi oleh *server*, sistem akan memicu bot Telegram untuk mengirimkan notifikasi kepada pengguna apabila nilai kelembapan berada di bawah ambang batas. Alur komunikasi yang runtut ini menegaskan bahwa mekanisme integrasi antarkomponen telah dirancang secara sistematis sehingga memastikan transmisi data berlangsung efisien dan responsif.

3.2 Analisis Hasil Kritis

Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe mampu melakukan monitoring kelembapan tanah secara *real-time* dan memberikan notifikasi dini secara konsisten. Dibandingkan metode manual, sistem ini menunjukkan efisiensi deteksi ancaman kekeringan hingga 80% lebih cepat, mendukung temuan penelitian IoT serupa. Meski demikian, keterbatasan masih ada pada fluktuasi *delay* jaringan dan ketergantungan pada infrastruktur *internet* desa. Selain itu, karena masih prototipe, sistem belum menerapkan sumber energi mandiri seperti panel surya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa prototipe sistem monitoring kelembapan tanah berbasis IoT dengan notifikasi otomatis mampu menyediakan pemantauan kondisi tanah secara *real-time* dan responsif, sehingga mendukung deteksi dini potensi kekeringan pada lingkungan tanaman. Pendekatan integratif antara sensor, mikrokontroler, jaringan internet, server, dan bot notifikasi terbukti berfungsi secara konsisten dalam mengirimkan informasi kondisi tanah kepada pengguna. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi monitoring agrikultur berbasis IoT yang lebih efisien, adaptif, dan mudah diimplementasikan pada skala kecil hingga menengah, serta memiliki potensi adopsi nyata di lapangan karena biaya implementasi yang relatif rendah dan kemudahan operasional bagi petani maupun pengelola lahan.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicermati, terutama terkait cakupan pengambilan data yang masih terbatas pada satu jenis media tanam, lingkungan uji yang terkontrol, serta konfigurasi perangkat yang belum mempertimbangkan variasi kondisi lapangan yang lebih ekstrem. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji penerapan sistem ini pada berbagai jenis tanah dan skenario lingkungan, mengintegrasikan model prediksi berbasis machine learning, serta memperluas ekosistem IoT dengan kemampuan analitik yang lebih cerdas untuk meningkatkan akurasi deteksi dan efektivitas notifikasi. Dengan perluasan tersebut, sistem monitoring diharapkan mampu memberikan dukungan yang lebih komprehensif terhadap mitigasi risiko kekeringan di sektor pertanian.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Zhu, Y. Liu, K. Xu, and Y. Pan, "Effects of Drought on Vegetation Productivity of Farmland Ecosystems in the Drylands of Northern China," *MDPI Journals Remote Sens*, vol. 13, no. 1179, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/rs13061179.
- [2] C. Cholet, D. Houle, J. Sylvain, and F. Doyon, "Climate Change Increases the Severity and Duration of Soil Water Stress in the Temperate Forest of Eastern North America," *Front. For. Glob. Chang.*, vol. 5, no. 5, pp. 1–13, 2022, doi: 10.3389/ffgc.2022.879382.

- [3] A. W. A, Karolina Furtak, "The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review," *Catena*, vol. 231, no. 107378, pp. 1–15, 2023, doi: 10.1016/j.catena.2023.107378.
- [4] H. Gu, C. Mills, and G. L. Ritchie, "Water Stress Assessment of Cotton Cultivars Using Unmanned Aerial System Images," *Remote Sens*, vol. 16, no. 2609, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3390/rs16142609.
- [5] L. Judijanto, A. Tahir, and H. N. Muthmainah, "The Development of Internet of Things (IoT) Technology in the Manufacturing Industry in Indonesia A Literature Review on Implementation and Impact on Operational Efficiency," *Sci. du Nord Nat. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.58812/snst.v1i1.
- [6] T. K. P. R. A Gayathri, Dr P F Khaleelur Rahiman, Dr P Vijayalakshmi, "Smart Agriculture : IOT-Based Embedded Web Server Implementation for Real-Time Climate Monitoring," *Int. J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 4, pp. 1–9, 2025, doi: 10.55041/IJSREM45528.
- [7] N. A. Ukani, S. Khera, and S. S. Chakole, "IoT Integrated Graphene Derivative-Based Capacitive Sensors with Machine Learning Classification for Precision Soil Moisture Monitoring Process," in *EPJ Web of Conferences*, 2025, pp. 1–15. doi: 10.1051/epjconf/202532801074.
- [8] F. F. Hossain et al., "Soil Moisture Monitoring Through UAS-Assisted Internet of Things LoRaWAN Wireless Underground Sensors," *IEEE Access*, vol. 10, no. 9, pp. 102107–102118, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3208109.
- [9] R. Pamungkas, A. Ullah, A. Faizal, and H. Zarory, "Sistem Penyiraman Pintar dan Monitoring Tanaman Sawi Otomatis Berbasis Esp 32 dan Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," *J. AL-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 143–152, 2025, doi: 10.36722/sst.v10i2.3687 Sistem.
- [10] I. R. Dewi et al., "SISTEM MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS TANAMAN SRIGADING (NYCTANTHES ARBOR-TRISTIS) BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS) DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR KELEMBAPAN TANAH DAN SUHU RUANG," *INFOTECH J.*, vol. 10, no. 1, pp. 19–27, 2024.
- [11] H. Hasfani and U. Ristian, "Infrastruktur Jaringan Komunikasi pada Smart- Green House Tanaman Anggur berbasis Edge Computing," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron. ISSN(p)*, vol. 12, no. 2, pp. 484–497, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i2.484 l.
- [12] R. F. A. Tundo, Anisah Nurul Azhar, Kiki Setiawan, "Penerapan IoT dalam Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan pada Lahan Bawah Tanah (Basement) Masjid Al-Barkah," *J. JTIK (Jurnal Teknol. Inf. dan Komunikasi)*, vol. 9, no. 1, pp. 334–343, 2025, doi: 10.35870/j t i k . v 9 i 1 . 3199.
- [13] A. Suryaningrat, D. Kurnianto, and R. Artha, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanaman Cabai Rawit menggunakan Irigasi Tetes Gravitasi berbasis Internet Of Things (IoT)," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 3, pp. 568–580, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i3.568 l.
- [14] A. A. M. Supriyanto, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Tanah Sawah Dengan Parameter Suhu Dan Kelembaban Tanah Menggunakan Arduino Berbasis Internet Of Things (Iot)," *J. Ilm. Elektron. DAN Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 234–241, 2022.
- [15] M. F. Mulyawan, M. A. Muda, R. A. Pradipta, and S. Kom, "Sistem Informasi Berbasis Web Untuk Memonitoring Perangkat Internet Of Things (IoT) Menggunakan Node-Red," *Electr. – J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 31–36, 2023.
- [16] D. N. Bestari and A. Wibowo, "An IoT-Based Real-Time Weather Monitoring System Using Telegram Bot and Thingsboard Platform," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 17, no. 6, pp. 4–19, 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i06.34129.
- [17] and C. A. 3 Setya Widyawan Prakosa, Yudhi Adhitya, Muhamad Faisal, Jenq-Shiou Leu, Mario Köppen, "Design and Implementation of LoRa Based IoT Scheme for Indonesian Rural Area," *Electron. Lett.*, vol. 10, no. 77, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/electronics10010077.

- [18] A. R. Ap, C. Pertiwi, and A. Oktarina, "Integrated smart farming system in developing potential products of the village," in *E3S Web of Conferences*, 2021, pp. 1–7. doi: 10.1051/e3sconf/202130605014.
- [19] K. Amri, H. Khair, and M. A. Syari, "Design and Build an IoT System for Monitoring and Automation of Irrigation in Agriculture," *J. Artif. Intell. Eng. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 4–10, 2025, doi: 10.59934/jaiea.v5i1.1566.
- [20] A. A. Abdelmoneim, R. Khadra, and B. Derardja, "Internet of Things (IoT) for Soil Moisture Tensiometer Automation," *Micromachines*, vol. 14, no. 263, pp. 1–11, 2023, doi: 10.3390/mi14020263.
- [21] G. Karuna, R. P. R. Kumar, P. Sanjeeva, P. Deepthi, and Y. Hazim, "Crop recommendation monitoring using IoT system and crop," in *Crop recommendation system and crop monitoring using IoT*, 2024, pp. 1–11. doi: 10.1051/e3sconf/202450701063.
- [22] T. C. S. Priya, "ARDUINO BASED NOVEL E-FARMING TECHNOLOGY USING WIRELESS SENSOR NETWORKS," *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 417–422, 2020.
- [23] B. Gunawan, A. Alfian, and K. Khakim, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Tanaman Stevia," *Mars J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 6, pp. 40–51, 2024, doi: 10.61132/mars.v2i6.492.
- [24] T. O. Olwal, A. Lemma, F. Mekuria, and B. Peterson, "IoT Architecture for Enhancing Rural Societal Services in Sub-Saharan Africa," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2020, pp. 338–344. doi: 10.1016/j.procs.2020.10.045.
- [25] J. Lanza et al., "Experimentation as a Service Over Semantically Interoperable Internet of Things Testbeds," *IEEE Access*, vol. 17, no. 8, pp. 51607–51625, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2867452.
- [26] B. A. Cahyono and Y. Akbar, "Sistem Monitoring Kondisi Kelembapan dan pH Tanah Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Tanaman Hias Abstrak," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 6, no. 3, pp. 1756–1763, 2025, doi: 10.63447/jimik.v6i3.1569.
- [27] D. Harianto, "Development and Evaluation of an ESP32-based Temperature and Humidity Control Unit for Textile Storage," *Int. J. Eng. Contin. Dev.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–19, 2024, doi: 10.58291/ijec.v4i1.309 March.
- [28] N. Rachma and I. Muhlas, "Comparison Of Waterfall And Prototyping Models In Research And Development (R & D) Methods For Android-Based Learning Application Design," *J. Inov. Inov. Teknol. Inf. dan Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 36–39, 2022, doi: 10.32832/inovatif.
- [29] H. Sri, N. Yudha, D. Putra, F. H. Fuadi, and F. D. Abdul, "Application of the Waterfall Method on a Web-Based Job Training Management Information System at Trunojoyo University Madura," in *E3S Web of Conferences*, 2021, pp. 1–6. doi: 10.1051/e3sconf/202132804026.
- [30] F. Evan and R. Jayadi, "A Prototype System Design for Microgreens Iot-Based Smart Vertical Farm," *J. Syst. Manag. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 188–202, 2024, doi: 10.33168/JSMS.2024.0112.
- [31] J. Dizdarevi, "Engineering an IoT-Edge-Cloud Computing System Architecture : Lessons Learnt from An Undergraduate Lab Course," in *International Conference on Computer Communications and Networks*, 2021, pp. 1–14. doi: 10.1109/ICCCN52240.2021.9522268.
- [32] A. M. Said and A. Yahyaoui, "Efficient Anomaly Detection for Smart Hospital IoT Systems," *Sensors*, vol. 21, no. 1026, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/s21041026.
- [33] K. M. Wijaya, I. N. Piarsa, and P. W. Buana, "Design and Development Automatic Fish Feed Measuring and Feeding System Based on Internet of Things," *J. Ilm. Merpati*, vol. 11, no. 2, pp. 115–126, 2023, doi: 10.24843/jim.2023.v11.i02.p06.
- [34] M. Awais, W. Li, M. Ajmal, and M. Faheem, "Using IoT Innovation and Efficiency in Agriculture Monitoring System," *J. Bot. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 14–20, 2020, doi: 10.30564/jrb.v2i2.1900.