

Implementasi Sistem Kontrol Nutrisi Otomatis Berbasis Mikrokontroler pada Rumah Hidroponik Kelompok Tani Hortikultura Latuppa

Aulia Azani Umair¹, Sintia², Siti Nurfadila Jahrir³, Baso Ali⁴

¹²³⁴ Program Studi Informatika, Fakultas Teknik Komputer, Universitas Cokroaminoto Palopo, Indonesia

¹auliaazani780@gmail.com,

²tia48357@gmail.com,

³sitinurfadilajahrir@gmail.com,

⁴basoali@uncp.ac.id

Article Info

Kata Kunci:

*Hidroponik,
Mikrokontroler,
Internet of Things,
Nutrisi Otomatis,
Kelompok Tani*

Copyright © 2026

The Author(s)



Lisensi: cc-by-sa

Abstrak

Program pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan menerapkan sistem kontrol nutrisi otomatis berbasis mikrokontroler pada rumah hidroponik Kelompok Tani Hortikultura Latuppa di Kelurahan Murante, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo. Kondisi awal menunjukkan kepekatan larutan nutrisi sekitar 150-250 ppm, pH 4-5, serta proses pemantauan yang masih dilakukan secara manual. Kegiatan dilaksanakan dengan pendekatan partisipatori dan kolaboratif melalui observasi dan wawancara, FGD, perancangan dan pemrograman sistem, perakitan, pemasangan teknologi, pelatihan pengoperasian, pendampingan, serta monitoring dan evaluasi. Sistem memanfaatkan mikrokontroler dan sensor untuk membaca kondisi larutan serta menyediakan pengendalian melalui antarmuka Telegram dalam mode otomatis dan manual. Hasil program menunjukkan peningkatan tanaman yang bertahan sampai panen dari sekitar 500-600 menjadi 1.168 dari 1.200 bibit atau 97,3%. Bobot rata-rata tanaman meningkat dari sekitar 175 gram menjadi 275 gram per tanaman, harga jual meningkat dari Rp3.500 menjadi Rp5.000 per tanaman, dan omzet per siklus meningkat dari Rp1,75-2,10 juta menjadi sekitar Rp5,84 juta. Penerapan teknologi yang disertai pelatihan dan buku pedoman membantu mitra mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual serta memperkuat pengelolaan budidaya hidroponik yang lebih terukur, efisien, dan produktif.

Pendahuluan

Hidroponik merupakan salah satu teknik budidaya tanpa tanah yang memungkinkan produksi sayuran pada lahan terbatas dengan pengelolaan air dan hara yang lebih terukur. Keberhasilan budidaya hidroponik sangat dipengaruhi oleh kestabilan larutan nutrisi, khususnya kepekatan unsur hara dan pH, karena kedua parameter tersebut menentukan ketersediaan unsur bagi tanaman. Pada budidaya selada dan sayuran daun, pengendalian pH pada kisaran yang sesuai serta pengaturan konsentrasi nutrisi menurut fase pertumbuhan menjadi bagian penting dalam menjaga pertumbuhan dan kualitas hasil (Hosseini dkk., 2021; Susanti dkk., 2023). Pemantauan yang hanya mengandalkan pemeriksaan manual berisiko menimbulkan keterlambatan respons ketika kondisi larutan berubah, terutama pada unit produksi yang harus dipantau setiap hari.

Perkembangan mikrokontroler, sensor, dan Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengubah pemantauan hidroponik dari proses manual menjadi sistem yang mampu membaca parameter secara real-time dan mengaktifkan aktuator secara otomatis. Kajian Farooq dkk. (2020) menunjukkan bahwa IoT banyak digunakan pada pertanian untuk fungsi monitoring, kontrol, dan pengambilan keputusan berbasis sensor. Pada sistem hidroponik, Herman dkk. (2019) mengembangkan pengendalian nutrisi berbasis IoT melalui pembacaan pH, TDS, dan suhu larutan, sedangkan Sneineh dan Shabaneh (2023) menunjukkan penggunaan ESP32 untuk memantau pH, level air, suhu, serta kadar nutrisi sekaligus mengendalikan pompa melalui aplikasi. Pengembangan sejenis juga memperlihatkan bahwa pengendalian otomatis dan akses melalui telepon pintar dapat meningkatkan konsistensi monitoring dan mempermudah operator (Untoro & Hidayah, 2022; Prasetyoaji & Anifah, 2025).

Kelompok Tani Hortikultura Latuppa yang berlokasi di Kelurahan Murante, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo, mengelola greenhouse berukuran sekitar 8 x 8 m atau 64 m² dengan kapasitas sekitar 1.200-1.600 lubang tanam per siklus. Hasil observasi dan wawancara awal menemukan empat masalah utama, yaitu banyaknya bibit yang layu atau tidak tumbuh, kepekatan larutan nutrisi yang hanya sekitar 150-250 ppm, pH larutan sekitar 4-5, serta belum tersedianya sistem monitoring dan kontrol otomatis. Pemeriksaan kadar nutrisi, kondisi air, daun, dan pertumbuhan tanaman dilakukan secara langsung sehingga sangat bergantung pada kehadiran petani. Kondisi ini berdampak pada rendahnya tanaman yang bertahan sampai panen dan belum optimalnya hasil produksi.

Pemanfaatan teknologi berbasis mikrokontroler telah relevan untuk menjawab persoalan tersebut. Ali dkk. (2022) menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat diintegrasikan dengan sensor untuk membangun perangkat pemantauan parameter lingkungan budidaya. Pada konteks pemberdayaan masyarakat, penerapan IoT pada greenhouse juga akan lebih efektif ketika diikuti penguatan kapasitas mitra melalui sosialisasi, pelatihan, pendampingan, dan evaluasi. Pendekatan tersebut telah diterapkan pada program pertanian presisi berbasis IoT untuk pengendalian

irigasi dan sirkulasi udara (Kasma dkk., 2026) maupun sistem fertigasi otomatis pada kelompok tani hortikultura (Tangelangi dkk., 2025). Oleh karena itu, program ini tidak hanya berorientasi pada pemasangan alat, tetapi juga pada transfer pengetahuan agar teknologi dapat digunakan dan dirawat secara mandiri.

Kegiatan ini bertujuan mengimplementasikan sistem kontrol nutrisi otomatis berbasis mikrokontroler pada rumah hidroponik Kelompok Tani Hortikultura Latuppa serta mengevaluasi dampaknya terhadap keberhasilan tanaman sampai panen, bobot tanaman, nilai jual, dan omzet mitra. Keunikan penerapan terletak pada integrasi kontrol otomatis dengan antarmuka Telegram yang menyediakan pembacaan kondisi sistem, notifikasi nutrisi, serta pilihan mode otomatis dan manual. Dengan rancangan tersebut, teknologi diharapkan berfungsi sebagai solusi operasional sekaligus media pembelajaran teknologi bagi mitra.

Metode

Program dilaksanakan pada tahun 2026 di greenhouse Kelompok Tani Hortikultura Latuppa, Kelurahan Murante, Kecamatan Mungkajang, Kota Palopo. Pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatori dan kolaboratif yang menempatkan tim mahasiswa, dosen pendamping, dan mitra sebagai pelaku bersama dalam proses identifikasi masalah, perancangan solusi, penerapan teknologi, pelatihan, dan evaluasi. Pendekatan partisipatif dipilih agar teknologi tidak berhenti pada penyerahan perangkat, tetapi disertai pemahaman mengenai fungsi, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem. Pola ini sejalan dengan praktik penerapan teknologi pertanian presisi yang menekankan integrasi inovasi teknis dengan peningkatan kapasitas pengguna (Kasma dkk., 2026; Tangelangi dkk., 2025).

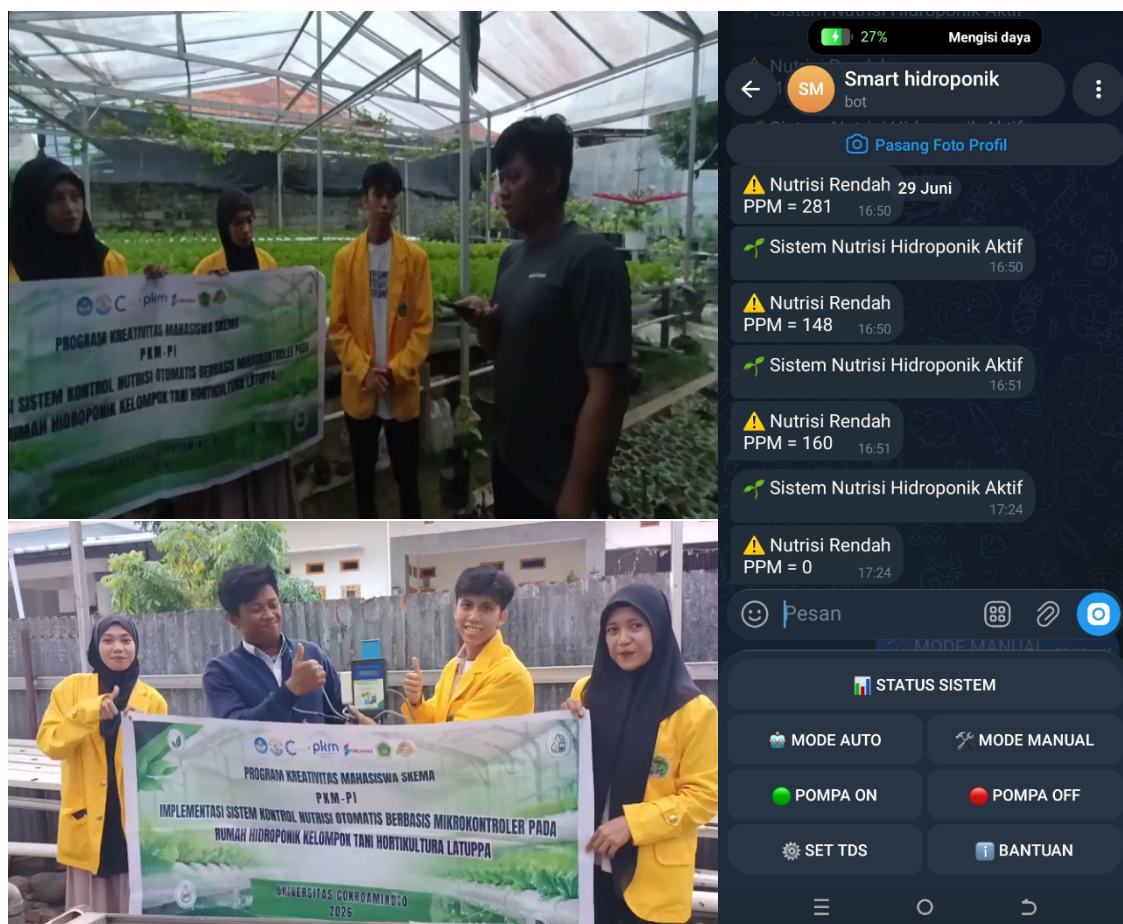
Tahap pertama adalah identifikasi kebutuhan melalui observasi langsung dan wawancara dengan ketua serta anggota kelompok tani. Data awal yang dicatat meliputi kondisi greenhouse, jumlah bibit, cara monitoring, kepekatan nutrisi, pH larutan, dan capaian panen sebelum program. Tahap kedua berupa FGD untuk menyepakati prioritas masalah, jadwal, kebutuhan komponen, serta pembagian peran. Tahap ketiga mencakup penyiapan alat dan bahan, pembuatan program, dan perakitan sistem. Komponen yang digunakan mencakup unit mikrokontroler ESP32/Arduino, sensor pH, sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor ketinggian air, perangkat pembacaan kepekatan nutrisi dalam satuan ppm, relay, pompa, panel listrik, tandon, serta jaringan pipa pendukung. Pemilihan sensor dan unit kendali mengacu pada kebutuhan pemantauan parameter yang lazim digunakan pada sistem hidroponik otomatis (Herman dkk., 2019; Sneineh & Shabaneh, 2023; Parenreng dkk., 2024).

Tahap keempat adalah instalasi teknologi pada greenhouse dan integrasi antarmuka Telegram. Antarmuka tersebut digunakan untuk menampilkan status sistem, notifikasi ketika nutrisi rendah, pilihan mode otomatis atau manual, pengendalian pompa, serta menu pengaturan. Tahap kelima adalah pelatihan dan pendampingan yang mencakup pengenalan fungsi setiap komponen, cara

menjalankan sistem, perpindahan mode otomatis-manual, respons terhadap notifikasi, dan pemeliharaan dasar. Tim juga menyerahkan buku pedoman sebagai acuan operasional. Seluruh rangkaian diakhiri dengan monitoring dan evaluasi berkala untuk memeriksa fungsi sistem, kondisi tanaman, dokumentasi hasil, dan pemanfaatan teknologi oleh mitra.



Gambar 1. Tahap perakitan dan pemasangan sistem pada greenhouse mitra



Gambar 2. Penyerahan alat pada mitra dan tampilan antarmuka Telegram untuk monitoring dan kontrol mode otomatis/manual.

Evaluasi dampak dilakukan menggunakan pendekatan sebelum-sesudah dengan membandingkan kondisi awal mitra dan hasil setelah penerapan teknologi. Pada siklus pengamatan, 1.200 bibit digunakan sebagai basis perhitungan. Indikator

utama meliputi tanaman yang bertahan sampai panen, tingkat mortalitas, bobot rata-rata tanaman, harga jual per tanaman, dan omzet per siklus. Persentase tanaman bertahan dihitung dari jumlah tanaman panen dibagi jumlah bibit dikalikan 100%, sedangkan peningkatan indikator dihitung dari selisih nilai setelah dan sebelum program dibagi nilai sebelum program dikalikan 100%. Data diperoleh dari catatan jumlah bibit dan panen, hasil penimbangan, catatan harga penjualan mitra, observasi lapangan, serta dokumentasi sistem.

Tabel 1. Indikator evaluasi dampak penerapan teknologi

Indikator	Kondisi awal	Sumber evaluasi	Kriteria interpretasi
Tanaman bertahan sampai panen	500-600 dari 1.200 bibit	Catatan jumlah bibit dan tanaman panen	Semakin tinggi menunjukkan produktivitas lebih baik
Bobot per tanaman	Sekitar 175 gram	Hasil penimbangan tanaman	Kenaikan menunjukkan peningkatan kualitas/ukuran hasil
Harga jual	Sekitar Rp3.500/tanaman	Catatan penjualan mitra	Kenaikan menunjukkan peningkatan nilai jual
Omzet per siklus	Sekitar Rp1,75-2,10 juta	Jumlah panen dan harga jual	Kenaikan menunjukkan dampak ekonomi program

Hasil

Implementasi sistem dan transfer teknologi

Sistem kontrol nutrisi otomatis berhasil dirakit, dipasang, dan digunakan pada greenhouse mitra. Perangkat menggabungkan pembacaan kondisi larutan dan lingkungan dengan aktuator pompa sehingga proses monitoring tidak lagi sepenuhnya bergantung pada pemeriksaan manual. Antarmuka Telegram menampilkan status sistem dan nilai ppm, memberikan notifikasi ketika nutrisi berada pada kondisi rendah, serta menyediakan mode AUTO dan MANUAL. Pada mode otomatis, keputusan pengaktifan aktuator mengikuti logika program yang ditetapkan, sedangkan mode manual memungkinkan operator menjalankan atau menghentikan pompa melalui perintah pada antarmuka. Pola kontrol dua mode ini

penting karena tetap menyediakan kendali pengguna ketika diperlukan, sebagaimana juga dilaporkan pada sistem hidroponik IoT yang menggabungkan otomatisasi dan kontrol manual melalui aplikasi (Sneineh & Shabaneh, 2023; Prasetyoaji & Anifah, 2025).

Penerapan teknologi disertai penjelasan fungsi komponen, praktik pengoperasian, pendampingan penggunaan, dan pelatihan pemeliharaan. Kegiatan ini menghasilkan dua bentuk penguatan sekaligus, yaitu peningkatan sarana produksi melalui alat kontrol otomatis dan peningkatan kapasitas mitra melalui transfer pengetahuan. Buku pedoman disusun agar prosedur operasional, instalasi, pemeliharaan, kalibrasi, dan troubleshooting dapat dipelajari kembali setelah kegiatan lapangan selesai. Pendekatan tersebut memperkuat peluang keberlanjutan karena adopsi teknologi pertanian bukan hanya ditentukan oleh keberadaan alat, tetapi juga oleh kemudahan penggunaan dan kesiapan pengguna dalam mengoperasikannya (Farooq dkk., 2020; Kasma dkk., 2026).

Perubahan produktivitas, kualitas, dan ekonomi

Hasil evaluasi menunjukkan perubahan yang kuat pada indikator produksi. Sebelum program, hanya sekitar 500-600 dari 1.200 bibit yang bertahan sampai panen atau sekitar 41,7-50,0%. Setelah sistem diterapkan, sebanyak 1.168 tanaman berhasil bertahan sampai panen atau 97,3%, sehingga mortalitas tinggal sekitar 2,7%. Jika dibandingkan dengan jumlah panen sebelum program, peningkatan tanaman yang bertahan berada pada kisaran 94,7-133,6%. Perubahan ini menunjukkan bahwa perbaikan pengelolaan nutrisi dan monitoring memberikan kontribusi nyata terhadap keberhasilan tanaman selama satu siklus budidaya.

Peningkatan juga terlihat pada bobot rata-rata tanaman. Bobot sebelum penerapan sekitar 175 gram per tanaman, sedangkan setelah penerapan meningkat menjadi sekitar 275 gram per tanaman atau naik 57,1%. Nilai jual yang sebelumnya sekitar Rp3.500 per tanaman meningkat menjadi sekitar Rp5.000 per tanaman atau naik 42,9%. Kombinasi peningkatan jumlah tanaman panen dan nilai jual mendorong omzet per siklus dari sekitar Rp1,75-2,10 juta menjadi sekitar Rp5,84 juta. Dengan demikian, kenaikan omzet berada pada kisaran 178,1-233,7% dibanding kondisi awal.

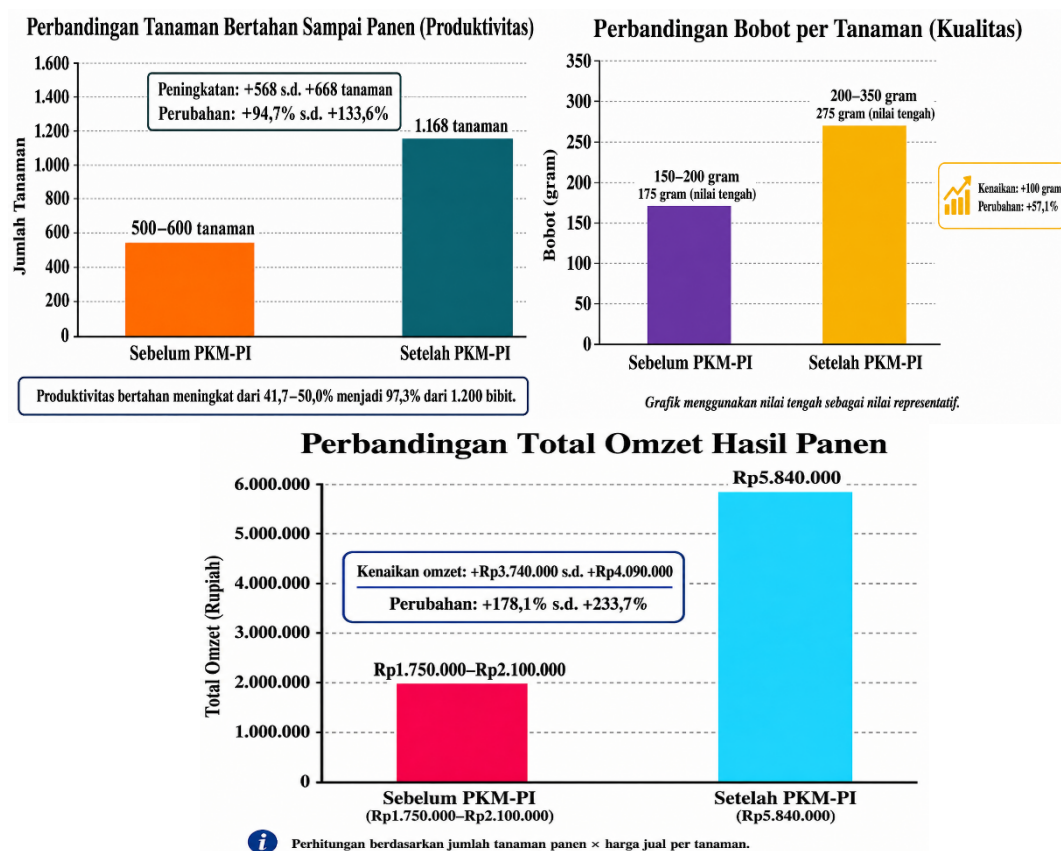
Tabel 2. Perbandingan kondisi mitra sebelum dan setelah penerapan sistem

Indikator	Sebelum program	Setelah program	Perubahan	Interpretasi
Tanaman bertahan	500-600/1.200 (41,7-50,0%)	1.168/1.200 (97,3%)	Naik 94,7-133,6%	Mortalitas turun menjadi sekitar 2,7%
Bobot rata-rata	175 g/tanaman	275 g/tanaman	Naik 57,1%	Ukuran/berat hasil meningkat

Indikator	Sebelum program	Setelah program	Perubahan	Interpretasi
Harga jual	Rp3.500/tanaman	Rp5.000/tanaman	Naik 42,9%	Nilai jual meningkat
Omzet/siklus	Rp1,75-2,10 juta	Rp5,84 juta	Naik 178,1-233,7%	Dampak ekonomi sangat nyata



Gambar 3. Kondisi tanaman sebelum dan setelah penerapan program



Gambar 4. Perbandingan produktivitas, bobot tanaman, dan omzet sebelum-sesudah program

Peningkatan capaian panen pada mitra memperkuat temuan bahwa otomatisasi pada sistem hidroponik dapat membantu menjaga keputusan pengelolaan menjadi lebih konsisten. Sistem yang membaca kondisi nutrisi secara berkala dan memberikan respons melalui aktuator mengurangi jeda antara perubahan kondisi larutan dan tindakan koreksi. Herman dkk. (2019) menunjukkan bahwa pengendalian nutrisi hidroponik berbasis IoT memungkinkan pH, TDS, dan suhu menjadi dasar aktivasi aktuator, sedangkan Adidrana dkk. (2022) menekankan pentingnya kontrol nutrisi secara simultan agar parameter dapat dijaga pada setpoint yang ditentukan. Pada program ini, manfaat teknis tersebut diterjemahkan ke tingkat pengguna melalui antarmuka Telegram yang sederhana dan mudah diakses dari telepon pintar.

Kenaikan bobot rata-rata tanaman dari 175 menjadi 275gram juga konsisten dengan prinsip bahwa ketersediaan nutrisi yang lebih sesuai mendukung pembentukan biomassa. Hosseini dkk. (2021) menunjukkan bahwa pengaturan EC berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan selada pada budidaya hidroponik, sehingga konsistensi larutan nutrisi menjadi faktor penting untuk mencegah kondisi kekurangan atau kelebihan unsur. Susanti dkk. (2023) juga menegaskan bahwa sistem otomatis yang memantau nutrisi, pH, dan level air membantu mempertahankan karakteristik lingkungan yang dibutuhkan selada. Walaupun program ini tidak menggunakan desain eksperimen laboratorium, perbandingan sebelum-sesudah di lokasi mitra memberikan bukti praktis bahwa stabilisasi pengelolaan nutrisi berkaitan dengan peningkatan jumlah tanaman panen dan bobot hasil.

Dari sisi ekonomi, peningkatan omzet tidak hanya berasal dari bertambahnya jumlah tanaman yang dipanen, tetapi juga dari kenaikan bobot dan harga jual per tanaman. Kondisi ini menunjukkan bahwa intervensi teknologi memberikan dampak pada kuantitas dan kualitas secara bersamaan. Temuan tersebut penting dalam konteks pengabdian karena keberhasilan teknologi tepat guna seharusnya diukur tidak hanya dari apakah alat dapat berfungsi, tetapi juga dari manfaat yang dapat dirasakan mitra. Program pertanian presisi di kelompok tani lain memperlihatkan pola serupa, yaitu teknologi menjadi lebih bermakna ketika mempermudah pengelolaan budidaya, meningkatkan kontrol, dan diperkuat oleh pelatihan serta pendampingan pengguna (Tangkelangi dkk., 2025; Kasma dkk., 2026).

Integrasi Telegram memberikan keunggulan pada aspek aksesibilitas. Petani dapat melihat status sistem dan melakukan intervensi tanpa harus selalu berada di titik panel kontrol. Konsep pemantauan jarak jauh ini sejalan dengan pengembangan platform IoT dan WSN pada greenhouse yang memanfaatkan antarmuka digital untuk monitoring dan kontrol lingkungan secara real-time (Benyezza dkk., 2023). Di Sulawesi Selatan, Parenreng dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa sensor pH, TDS, suhu, dan kelembapan dapat diintegrasikan dalam sistem otomatis untuk mendukung budidaya hidroponik. Perbedaan program ini terletak pada orientasinya sebagai kegiatan pengabdian: teknologi dirancang bukan hanya untuk menunjukkan

kelayakan teknis, tetapi untuk menyelesaikan masalah operasional mitra serta meningkatkan kapasitas kelompok tani dalam menggunakan teknologi digital.

Keberlanjutan program diperkuat melalui buku pedoman, pendampingan perawatan, serta dokumentasi penggunaan teknologi. Akun media sosial program juga digunakan untuk mendiseminasikan proses dan hasil kegiatan. Dengan tersedianya alat, panduan, dan pengalaman praktik langsung, mitra memiliki dasar untuk mempertahankan penggunaan sistem pada siklus berikutnya dan melakukan perawatan dasar ketika terjadi gangguan. Replikasi pada unit hidroponik lain tetap memerlukan penyesuaian setpoint nutrisi terhadap jenis tanaman, umur tanaman, volume larutan, dan karakter instalasi. Karena itu, pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada pencatatan data sensor yang lebih terstruktur, kalibrasi otomatis, histori berbasis cloud, dan analisis tren untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih presisi.

Simpulan

Implementasi sistem kontrol nutrisi otomatis berbasis mikrokontroler pada rumah hidroponik Kelompok Tani Hortikultura Latuppa telah diselesaikan melalui rangkaian identifikasi masalah, perancangan dan perakitan, pemasangan teknologi, integrasi kontrol Telegram, pelatihan, pendampingan, serta monitoring dan evaluasi. Teknologi membantu mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual dan menyediakan pilihan kontrol otomatis maupun manual. Dampak program terlihat pada peningkatan tanaman yang bertahan sampai panen menjadi 1.168 dari 1.200 bibit atau 97,3%, kenaikan bobot rata-rata dari 175 menjadi 275 gram per tanaman, kenaikan harga jual dari Rp3.500 menjadi Rp5.000 per tanaman, serta peningkatan omzet dari Rp1,75-2,10 juta menjadi sekitar Rp5,84 juta per siklus. Penerapan teknologi yang disertai transfer pengetahuan, buku pedoman, dan pendampingan menunjukkan bahwa otomatisasi nutrisi dapat menjadi solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan nilai ekonomi budidaya hidroponik mitra.

Daftar Pustaka

- Adidrana, D., Iskandar, A. R., Nurhayati, A., Suyatno, Ramdhani, M., Adam, K. B., Ardianto, R., & Ekaputri, C. (2022). Simultaneous Hydroponic Nutrient Control Automation System Based on Internet of Things. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 6(1), 124-129. <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1.865>
- Ali, B., Karsa, I. P. K., & Rosman N., A. (2022). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Suhu Air Pada Lahan Rumput Laut Berbasis Atmega 328. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 8(1), 95-103. <https://doi.org/10.26858/ijfs.v8i1.33573>
- Benyezza, H., Bouhedda, M., Kara, R., & Rebouh, S. (2023). Smart Platform Based on IoT and WSN for Monitoring and Control of a Greenhouse in the Context of Precision Agriculture. *Internet of Things*, 23, 100830. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100830>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., & Zikria, Y. B. (2020). Role of IoT

- Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review. *Electronics*, 9(2), 319. <https://doi.org/10.3390/electronics9020319>
- Herman, H., Adidrana, D., Surantha, N., & Suharjito. (2019). Hydroponic Nutrient Control System Based on Internet of Things. *CommIT (Communication and Information Technology) Journal*, 13(2), 105-111. <https://doi.org/10.21512/commit.v13i2.6016>
- Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H. R., Shirani, H., van de Vlasakker, P. C. H., & Farhangi, M. (2021). Nutrient Use in Vertical Farming: Optimal Electrical Conductivity of Nutrient Solution for Growth of Lettuce and Basil in Hydroponic Cultivation. *Horticulturae*, 7(9), 283. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090283>
- Kasma, S., Naim, M., Ali, B., & Rosmiati, R. (2026). Implementasi Internet of Things untuk Sistem Irigasi Pintar dan Sirkulasi Udara Otomatis pada Pertanian Presisi Kelompok Tani Bukit Lumbu. *Abdimas Singkerru*, 6(2), 197-208. <https://doi.org/10.59563/singkerru.v6i2.391>
- Parenreng, J. M., Andani, A. F. A. T., Yahya, M., & Adiba, F. (2024). Internet-based Design of Hydroponic Plants Monitoring and Automation Control Systems. *Internet of Things and Artificial Intelligence Journal*, 4(2), 339-353. <https://doi.org/10.31763/iota.v4i2.744>
- Prasetyoaji, M. R. E., & Anifah, L. (2025). Design of Smart Hydroponics Based on Internet of Things (IoT) Using Rule-Based System on Hydroponic Wick System. *Journal FORTEI-JEERI*, 6(1), 51-62. <https://doi.org/10.46962/forteijeeri.v6i1.34>
- Sneineh, A. A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a Smart Hydroponics Monitoring System Using an ESP32 Microcontroller and the Internet of Things. *MethodsX*, 11, 102401. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>
- Susanti, H., Zaenurrohman, & Purwanto, R. (2023). Development of a Hydroponic System using an Atmega 2560 Microcontroller with Automatic Nutrition and pH Settings for Lettuce Cultivation. *Jurnal E-Komtek*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v7i1.1170>
- Tangkelangi, N. I., Rosmiati, R., Sukmawati, S., & Ali, B. (2025). Penerapan Teknologi Tani Presisi Sistem Kontrol Fertigasi dan Sirkulasi Udara Otomatis pada Kelompok Tani Batu Tikumbak Berbasis IoT. *Abdimas Langkanae*, 5(2), 240-247. <https://doi.org/10.53769/jpm.v5i2.503>
- Untoro, M. C., & Hidayah, F. R. (2022). IoT-Based Hydroponic Plant Monitoring and Control System to Maintain Plant Fertility. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 9(1), 33-41. <https://doi.org/10.31963/intek.v9i1.3407>