



Penerapan Teknologi IoT dan PLTS untuk Optimalisasi Nutrisi dan Kontrol Kebun Hidroponik Desa Bawang

¹⁾ Subiyanto, ²⁾ Mario Norman Syah, ³⁾ Abdurrakhman Hamid Al-Azhari, ⁴⁾ Rizky Ajie Aprilianto, ⁵⁾ Faiq Mananul Faqih, ⁶⁾ Aisya Fathimah, ⁷⁾ Ade Yusuf, ⁸⁾ I Gede Bagus Jayendra, ⁹⁾ Wildatul Afiah, ¹⁰⁾ Aura Rizqia Zahra, ¹¹⁾ Nektar Cahayasabda, ¹²⁾ Apriansyah Wibowo
^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)} Universitas Negeri Semarang
Email: ²⁾ marionormansyah@mail.unnes.ac.id



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Abstract

Nutrient Optimization, Renewable Energy, Smart farming, Smart hydroponic

Energy efficiency and precise nutrient delivery are crucial aspects of modern hydroponic farming practices. Reliance on manual monitoring and conventional energy supply often leads to resource wastage and reduced productivity. In line with the advancement of precision agriculture technologies, this study aims to develop an automated nutrient monitoring and control system based on the Internet of Things (IoT), supported by renewable energy, to promote energy conservation. The system is designed using an ESP32-S3 microcontroller, TDS, temperature, and humidity sensors, as well as peristaltic pumps that operate automatically according to threshold values and plant growth phases. The IoT subsystem is powered by four solar panels with a total capacity of 80 Wp. Implementation was carried out at Atish Hidrofarm Hydroponic Garden, Bawang Village, and evaluated through the monitoring of nutrient, temperature, and humidity parameters. The results showed that the system was able to maintain nutrient stability within the optimal concentration range while reducing energy requirements for monitoring compared to conventional methods. The application of solar PV as a backup power source demonstrates strong potential as an integrated technological model that not only supports resource conservation but can also be replicated across various scales of hydroponic farming in regions with low electricity supply reliability.

Kata kunci:

Smart farming, Smart hydroponic, Optimalisasi nutrisi, energi terbarukan

Abstrak

Efisiensi energi dan ketepatan pemberian nutrisi menjadi aspek krusial dalam praktik pertanian hidroponik modern. Ketergantungan pada pemantauan manual dan suplai energi konvensional kerap menyebabkan pemborosan sumber daya serta penurunan produktivitas. Sejalan dengan perkembangan teknologi pertanian presisi, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring dan kontrol nutrisi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang didukung energi terbarukan untuk mendukung konservasi energi. Sistem dirancang

menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor TDS, suhu, dan kelembapan, serta aktuator pompa peristaltik yang bekerja secara otomatis berdasarkan ambang batas dan fase pertumbuhan tanaman. Subsistem IoT disuplai oleh empat panel surya berkapasitas total 80 WP. Implementasi dilakukan di Kebun hidroponik Atish Hidrofarm, Desa Bawang, dan dievaluasi melalui pemantauan parameter nutrisi, suhu dan kelembapan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kestabilan nutrisi dalam rentang konsentrasi optimal, sekaligus menekan kebutuhan energi untuk proses pemantauan dibandingkan metode konvensional. Penerapan PLTS sebagai sumber daya cadangan memiliki potensi besar sebagai model teknologi terintegrasi yang tidak hanya mendukung konservasi sumber daya, tetapi juga dapat direplikasi pada berbagai skala budidaya hidroponik di wilayah dengan reliabilitas pasokan listrik rendah.

PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan global menghadapi tantangan kompleks yang memerlukan inovasi teknologi tepat guna, khususnya di wilayah dengan keterbatasan lahan produktif (Jararweh et al., 2023; Pandey & Pandey, 2023). Dalam konteks ini, sistem hidroponik telah berkembang menjadi salah satu pilar strategis pertanian modern melalui efisiensi penggunaan lahan dan optimalisasi sumber daya air (Lakhiar et al., 2025; Pomoni et al., 2023). Namun, adopsi teknologi hidroponik pada skala usaha kecil dan menengah di negara berkembang seperti Indonesia masih menghadapi kendala fundamental berupa ketergantungan pada suplai energi listrik yang stabil dan presisi manajemen nutrisi yang memadai (Gong et al., 2022; Hikmah et al., 2023)

Permasalahan ini semakin kritis di daerah pedesaan dengan reliabilitas pasokan listrik yang rendah. Data PT. PLN (2023) mengungkapkan bahwa wilayah Desa Bawang, Kabupaten Batang mengalami rata-rata 12 kali pemadaman listrik bulanan dengan durasi yang bervariasi. Kondisi ini berimplikasi langsung pada terganggunya sistem otomatisasi pertanian. Temuan (Abhirama, 2023) ketika menganalisis resiko produksi tanaman hidroponik memperkuat analisis ini dengan menunjukkan bahwa 68% kegagalan panen pada sistem hidroponik komersial skala UKM disebabkan oleh ketidakstabilan nutrisi yang dipicu oleh gangguan pasokan listrik.

Evaluasi mendalam di Kebun Atish Hidrofarm mengidentifikasi dua masalah utama: pertama, deviasi konsentrasi nutrisi (TDS) mencapai ± 187 ppm akibat ketidakaturan operasi pompa injeksi, jauh melampaui ambang toleransi optimal ± 50 ppm; kedua, kerentanan sistem monitoring yang bergantung penuh pada grid dengan konsumsi daya 1,24 kWh/hari dan risiko *downtime* total selama pemadaman. Kondisi ini meningkatkan risiko gagal panen hingga 40% berdasarkan analisis data historis kebun.

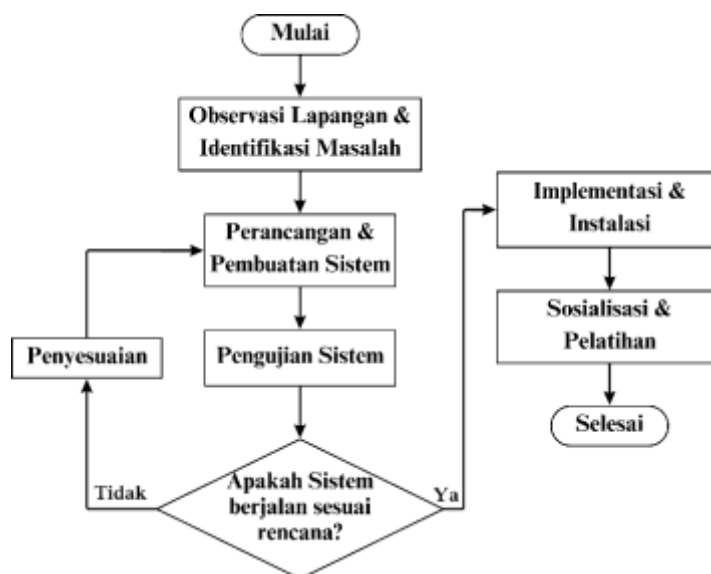
Tinjauan komprehensif terhadap solusi yang sudah ada menunjukkan beberapa keterbatasan mendasar. Sistem kontrol nutrisi presisi berbasis IoT (Bayih et al., 2022) masih bergantung pada suplai listrik utama, sementara solusi backup baterai (Shrivastav et al., 2025) hanya mampu mendukung operasi selama 2 jam. Di sisi lain, implementasi PLTS off-grid (Asad Kutsuro & Faiz Husnayain, 2025) memerlukan investasi tinggi yang tidak terjangkau UKM. Berangkat dari identifikasi gap penelitian ini, yaitu belum adanya integrasi antara sistem kontrol nutrisi presisi dengan mekanisme *backup* energi yang berkelanjutan, serta kurangnya strategi *fail-safe* yang menjamin kontinuitas data *monitoring* (Subiyanto, Prajanti, et al., 2025).

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem otomasi hidroponik integratif yang memadukan kontrol nutrisi berbasis ESP32-S3 dengan strategi backup energi surya minimalist berbiaya rendah. Kontribusi utama penelitian mencakup: pertama, arsitektur *backup* minimalis menggunakan PLTS 80 Wp yang secara eksklusif mensuplai subsistem monitoring dan kontrol selama pemadaman dengan *automatic switch* < 2 detik; kedua, strategi hybrid dimana pompa peristaltik tetap memanfaatkan grid dalam kondisi normal, sementara modul backup hanya aktif pada kondisi darurat; ketiga, protokol kontinuitas data yang menjamin integritas dataset monitoring.

Implementasi solusi ini berhasil menekan investasi awal hingga Rp 3,2 juta (45% lebih rendah dari solusi *full off-grid*) sekaligus menjaga reliabilitas sistem. Melalui evaluasi komprehensif, penelitian ini mengukur efektivitas sistem dalam menstabilkan nutrisi, mengurangi *downtime*, dan mengoptimalkan biaya operasional, sehingga menawarkan model yang dapat direplikasi untuk mendukung ketahanan pangan dan energi di wilayah terpencil.

METODE

Metode pelaksanaan program "Penerapan Teknologi *Smart Farming* Berbasis IoT dan PLTS" di Kebun Atish Hidrofarm, Desa Bawang, dirancang dengan pendekatan partisipatif yang melibatkan kelompok tani milenial secara aktif dalam seluruh tahapan program. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa teknologi yang diterapkan tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga dapat dipahami, dioperasikan, dan dikelola secara mandiri oleh mitra setelah program berakhir. Seluruh tahapan pelaksanaan disusun secara sistematis seperti ditunjukkan pada Gambar 1, memastikan alur kegiatan yang terstruktur dan dapat direplikasi di lokasi lain.



Gambar 1. Diagram alir pengabdian

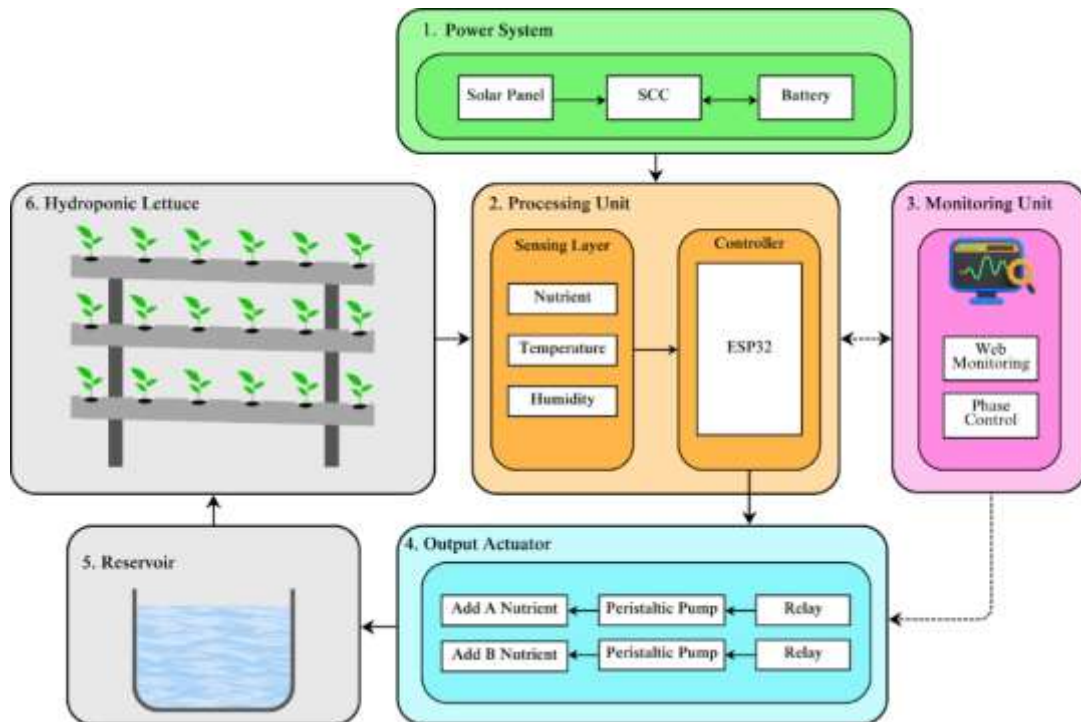
1. Observasi Lapangan dan Identifikasi Masalah

Tahap awal dimulai dengan observasi lapangan dan dialog mendalam dengan kelompok tani Atish Hidrofarm. Kegiatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi, yaitu ketidakstabilan nutrisi hidroponik, ketergantungan pada listrik PLN, dan keterbatasan waktu pemantauan akibat mayoritas petani memiliki pekerjaan utama di luar sektor pertanian.

2. Perancangan & Pembuatan Sistem

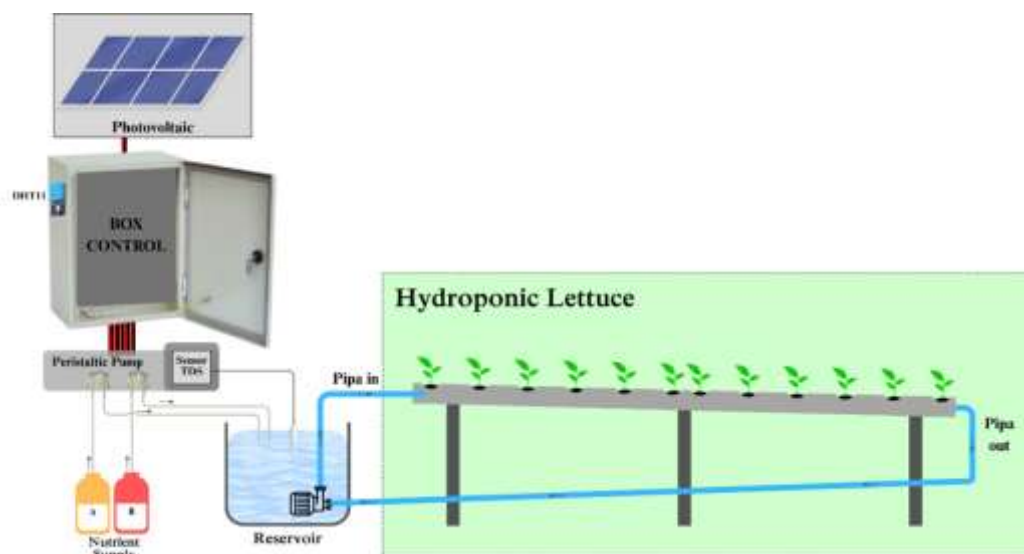
Berdasarkan hasil observasi, tim merancang sistem *smart farming* terintegrasi yang terdiri dari tiga subsistem utama: (1) sistem monitoring nutrisi berbasis IoT, (2) sistem kontrol nutrisi

otomatis menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC), dan (3) sistem energi terbarukan dengan panel surya.



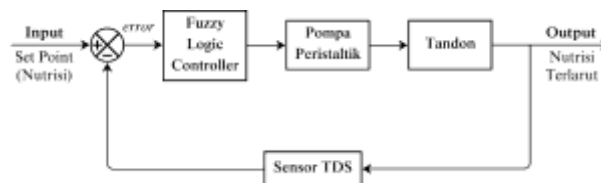
Gambar 2. *Framework Smart Farming System*

Framework sistem *smart hydroponic* dirancang dengan integrasi enam blok utama: *Power System*, *Processing Unit*, *Monitoring Unit*, *Output Actuator*, *Reservoir*, dan Tanaman hidroponik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan desain 2d seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem ini menggunakan panel surya 80 WP sebagai sumber energi utama yang terhubung dengan *Solar Charge Controller* (SCC) dan baterai 12V 7Ah. Blok *processing unit* terdiri dari *sensing layer* (sensor TDS, suhu, kelembapan) dan *controller* ESP32 yang mengirim data ke *web monitoring* secara *real-time*.



Gambar 3. *Desain 2d Smart Hydroponic System*

Diagram kontrol pada Gambar 4 menggambarkan alur kerja sistem kontrol otomatis berbasis *closed-loop* untuk menjaga kestabilan konsentrasi nutrisi hidroponik (Sangeetha & Periyathambi, 2024). Proses dimulai dari input set point sesuai fase pertumbuhan tanaman, kemudian sensor TDS membaca nilai aktual dan menghitung error sebagai selisih dengan target. Error ini diproses oleh FLC yang, melalui aturan fuzzy, menentukan durasi kerja pompa peristaltik untuk menambahkan larutan nutrisi ke tandon. Proses berulang hingga konsentrasi nutrisi sesuai dengan *set point*.



Gambar 4. Diagram kontrol nutrisi

Sistem kontrol menggunakan FLC dengan input error nilai nutrisi dan output durasi kerja pompa. Implementasi *membership functions* (NB, N, Z, P, PB) untuk input *error* dan *membership functions* (Normal, Short, Medium, Long) untuk output durasi pompa berhasil mempertahankan kestabilan nutrisi. Aturan fuzzy yang diterapkan menunjukkan bahwa pada *error* P (50, 300) pompa bekerja dengan durasi *Short*, dan pada *error* PB (200, 400) pompa bekerja dengan durasi *Long*.

Tabel 1. Output *membership function* pompa peristaltik

MF	Durasi aktif pompa (detik)
Normal	0
Short	1.75 - 10.5
Medium	7 - 17.5
Long	14 - 21

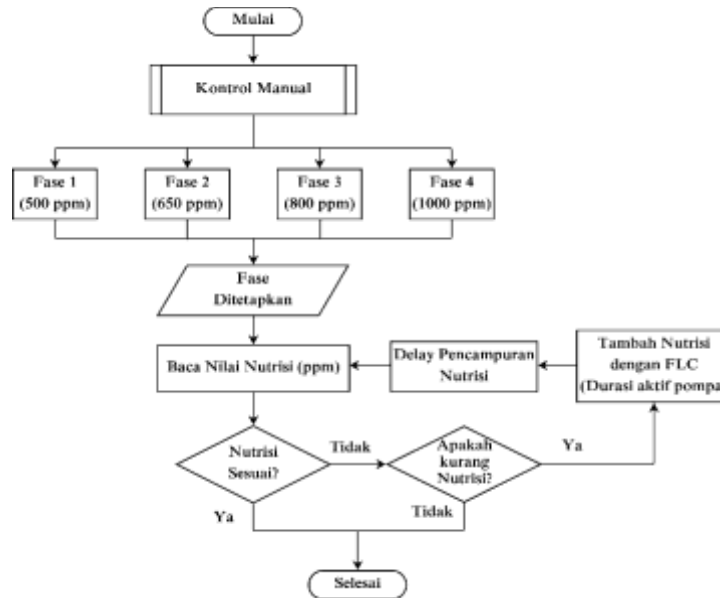
Pada tabel 2 dipaparkan durasi aktif pompa nutrisi berdasarkan nilai error (e) sistem. Aturannya sederhana: semakin tinggi error, semakin lama durasi pompa diaktifkan. Berikut adalah rincian lengkapnya.

Tabel 2. *Fuzzy rule table*

Rule	Input (e)	Parameter	Output (Durasi aktif pompa peristaltik)	
			Pompa Nutrisi A	Pompa Nutrisi B
1	NB	-400, -200	Normal	Normal
2	N	-300, -50	Normal	Normal
3	Z	-60, 60	Normal	Normal
4	P	50, 300	<i>Short</i>	<i>Short</i>
5	PB	200, 400	<i>Long</i>	<i>Long</i>

Flowchart pada Gambar 5 menggambarkan alur kerja sistem kontrol nutrisi dalam mode manual untuk mengatur konsentrasi larutan sesuai fase pertumbuhan tanaman. Pengguna memilih mode manual, menentukan fase pertumbuhan (Fase 1: 500 ppm, Fase 2: 650 ppm, Fase 3: 800 ppm, Fase 4: 1000 ppm), lalu sistem membaca nilai aktual nutrisi melalui sensor TDS dan membandingkannya dengan set point. Jika sesuai, proses selesai; jika kurang, data *error* diproses oleh *Fuzzy Logic*

Controller (FLC) untuk menentukan durasi kerja pompa peristaltik, diikuti jeda pencampuran sebelum dilakukan pengecekan ulang. Proses ini berulang hingga konsentrasi sesuai target, sedangkan jika nilai awal melebihi target, sistem langsung menghentikan penambahan nutrisi.



Gambar 5. *Flowchart* kontrol nutrisi

Sistem daya terdiri dari panel surya 80 WP sebagai sumber energi utama yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Daya ini diatur oleh SCC 12V 20A untuk mengalirkan listrik secara stabil ke baterai 12V 7Ah dan beban. Untuk perlindungan sistem, digunakan MCB 6A pada sisi panel dan MCB 3A pada sisi baterai serta beban (Subiyanto et al., 2024). Spesifikasi sistem daya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi sistem daya

Komponen	Spesifikasi
Panel Surya	80 WP
SCC	12V 20A
Baterai	12V 7Ah
MCB	6A, 3A

3. Pengujian Sistem

Sistem yang telah dibuat diuji coba secara intensif di laboratorium dan lapangan. Pengujian meliputi: kalibrasi sensor, uji akurasi kontrol nutrisi dengan berbagai skenario fase pertumbuhan tanaman, dan uji integrasi antara *hardware* dan *software*.

4. Implementasi & Instalasi

Setelah sistem teruji, dilakukan instalasi lengkap di kebun hidroponik mitra. Proses instalasi meliputi: pemasangan panel surya di atap. kebun dengan orientasi optimal, penempatan panel kontrol di lokasi yang mudah diakses, instalasi sensor

dan aktuator di sistem hidroponik, serta konfigurasi jaringan IoT dan web *monitoring*. Seluruh proses instalasi melibatkan partisipasi aktif kelompok tani.

5. Sosialisasi & Pelatihan

Dilakukan pelatihan komprehensif kepada kelompok tani yang meliputi: pelatihan teknis pengoperasian sistem, pemahaman dashboard *monitoring*, kalibrasi sensor sederhana, *troubleshooting* dasar, dan perawatan sistem. Pelatihan menggunakan pendekatan *learning by doing* dan disertai dengan modul pelatihan yang dapat dijadikan referensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan melalui tahapan observasi hingga implementasi sistem *smart farming* berbasis IoT dan PLTS. Observasi lapangan mengidentifikasi tiga masalah utama yaitu keterbatasan waktu *monitoring* akibat mayoritas petani memiliki pekerjaan lain. Terdapat beberapa hasil dari kegiatan pengabdian ini, sebagai berikut.

1. Implementasi *Hardware*

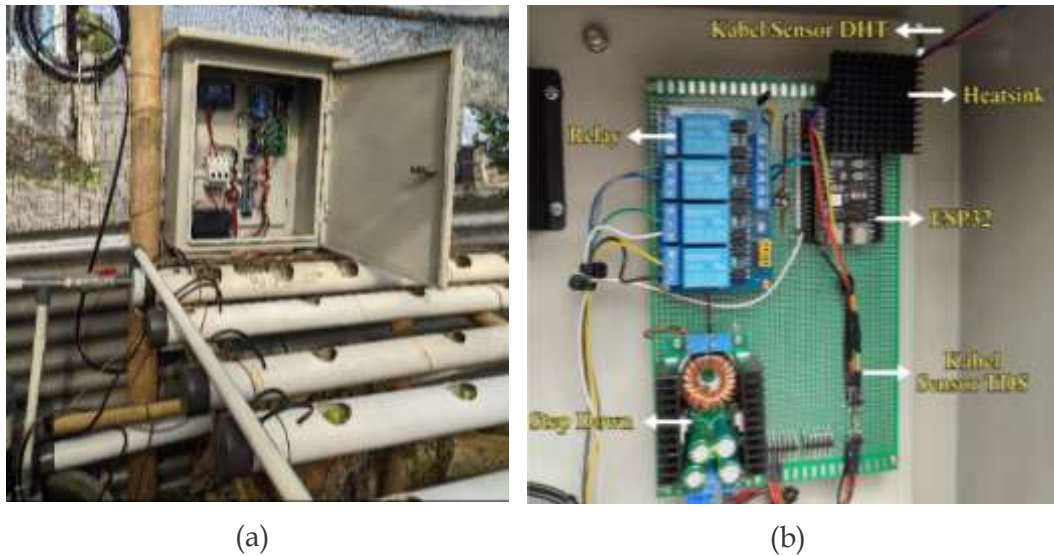
Panel surya dipasang di bagian atap area kebun, sejajar dengan posisi panel box dan reservoir, namun dengan ketinggian dan orientasi yang disesuaikan untuk mengoptimalkan penangkapan cahaya matahari tanpa menimbulkan bayangan langsung ke tanaman selada seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Posisi ini ditentukan melalui pengamatan arah datangnya cahaya matahari dan sudut kemiringan yang optimal agar produksi daya tetap maksimal tanpa mengganggu proses fotosintesis tanaman (Abidin et al., 2023; Hudelson & Lieth, 2021).



Gambar 6. Penempatan panel surya

Wiring dari panel surya menuju ke SCC dan panel box dirancang dengan metode pengabelan yang mengarah ke bawah dan diberi jalur tetesan (*drip loop*) untuk mencegah aliran air hujan masuk ke dalam box melalui kabel (Bohne, 2023). Sistem proteksi tambahan juga telah diterapkan melalui penggunaan MCB dan konektor MC4 pada sambungan panel surya.

Gambar 7a menunjukkan komponen IoT yang telah dirakit, terdapat beberapa komponen seperti Relay, Step Down, ESP32 dilengkapi dengan *heatsink*, kabel sensor DHT dan kabel sensor TDS. Komponen tersebut dirakit dalam satu lapisan PCB *dot matrix* ditambah dengan beberapa *header pin* untuk menghubungkan antar komponen yang tertera pada gambar 7b.



Gambar 7. (a) Penempatan box control (b) Perakitan komponen IoT

2. Web Monitoring dan Kontrol

Antarmuka *web monitoring* berhasil dikembangkan dengan tiga fitur utama: visualisasi data sensor *real-time* (suhu, kelembapan, PPM), kontrol operasional (mode otomatis dan manual), dan status perangkat. Sistem mampu menampilkan fase pertumbuhan tanaman aktif dan memberikan fleksibilitas pengaturan nilai nutrisi secara remote melalui pilihan preset 500, 650, 800, dan 1000 PPM.



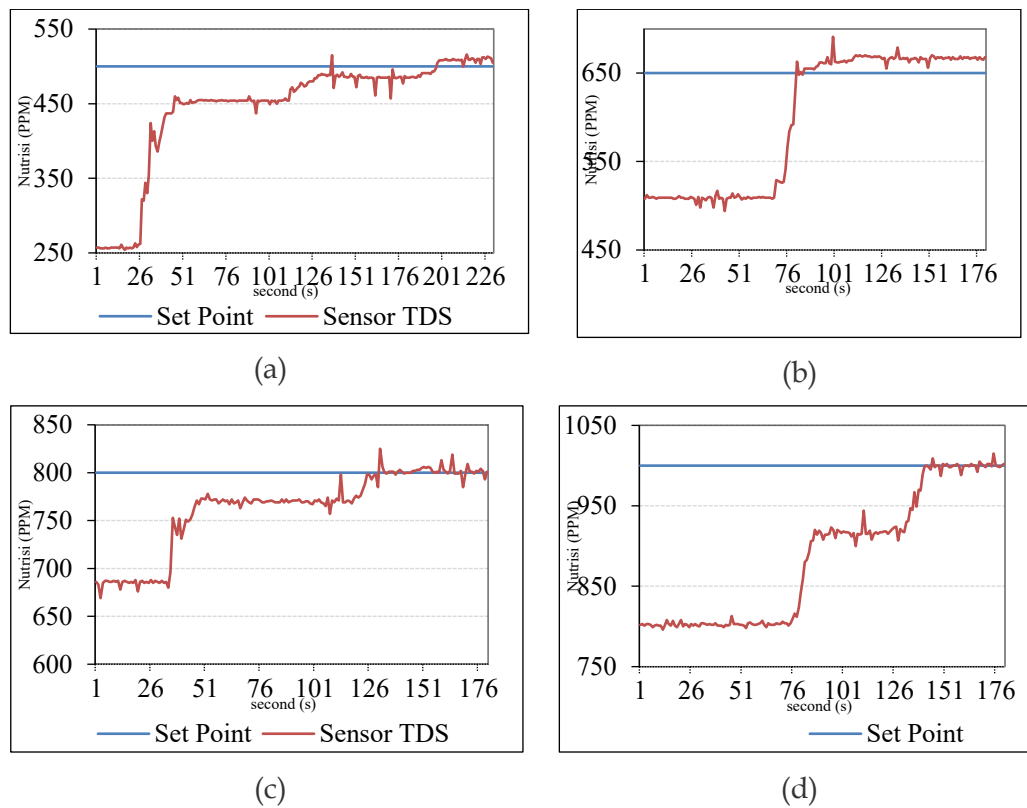
Gambar 8. Web monitoring dan kontrol hidroponik

3. Hasil Kinerja Sistem

Berdasarkan data visual yang ditampilkan pada Gambar 9, terlihat respons sistem kontrol TDS terhadap empat variasi set point, yaitu 550 ppm, 650 ppm, 800 ppm, dan 1000 ppm. Secara umum, pada setiap set point, sensor TDS menunjukkan

adanya transisi dari kondisi awal menuju nilai yang mendekati set point. Pada set point 550 ppm, sensor TDS awalnya berada di bawah nilai target, kemudian mengalami kenaikan yang cukup signifikan sebelum akhirnya beresilasi di sekitar nilai set point dengan sedikit overshoot. Pola serupa juga terlihat pada set point 650 ppm, 800 ppm, dan 1000 ppm, di mana terjadi peningkatan nilai TDS yang diikuti dengan stabilisasi di sekitar nilai target.

Namun, perlu dicermati bahwa pada beberapa set point, seperti 800 ppm dan 1000 ppm, terdapat indikasi adanya steady-state error, di mana nilai sensor TDS cenderung stabil pada nilai yang sedikit berbeda dari set point yang ditetapkan. Selain itu, karakteristik respons transien, seperti waktu naik (rise time) dan besarnya overshoot, tampak bervariasi antar set point.



Gambar 9. Respon sistem kontrol nutrisi

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kontrol nutrisi mampu merespons perubahan set point dengan kecenderungan mendekati nilai target, meskipun masih terdapat variasi pada respons transien dan indikasi *steady-state error*.

4. Kegiatan Pelatihan dan Sosialisasi

Kegiatan pengabdian masyarakat di Kelompok Tani Milenial Desa Bawang berjalan sesuai agenda. Acara dibuka dengan sambutan dari tim dan mitra, dilanjutkan dengan penyampaian materi mengenai teknologi IoT dan penerapannya dalam *smart farming* untuk meningkatkan efisiensi pertanian hidroponik. Gambar 10a menunjukkan kegiatan pengenalan materi Pengabdian, Pada sesi ini, peserta diperkenalkan dengan konsep dasar IoT, komponen-

komponen pendukungnya, serta bagaimana teknologi tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pada sistem pertanian modern, khususnya metode hidroponik.

Sesi kedua berfokus pada penjelasan mengenai website IoT yang dikembangkan sebagai sistem monitoring dan kontrol seperti yang ditampilkan pada Gambar 10b. Peserta diperlihatkan fitur-fitur utama, mulai dari tampilan data sensor secara *real-time*, pengaturan parameter nutrisi, hingga mekanisme kendali jarak jauh. Demonstrasi langsung dilakukan untuk menunjukkan keterhubungan antara perangkat IoT di lapangan dengan sistem berbasis web.



(a)

(b)

Gambar 10. Pelatihan dan sosialisasi smart farming di Atish Hidrofarm, (a) Penyampaian materi teknologi, (b) Demonstrasi website

Dilanjutkan dengan penyerahan alat *smart hydroponic* kepada pihak mitra sebagai bentuk implementasi nyata dari program pengabdian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Penyerahan ini dimaksudkan agar mitra dapat secara langsung memanfaatkan teknologi yang telah dirancang untuk mendukung kegiatan budidaya hidroponik mereka.



Gambar 11. Penyerahan sertifikat kepada pihak mitra

Dengan demikian, melalui kegiatan pelatihan dan sosialisasi yang telah dilaksanakan, pengetahuan petani mengenai teknologi IoT yang diterapkan pada smart farming semakin meningkat. Hal ini diharapkan dapat mendorong pemanfaatan teknologi secara lebih optimal dalam praktik pertanian, sehingga mampu meningkatkan efisiensi, produktivitas, serta mendukung transformasi menuju pertanian modern yang berkelanjutan.

SIMPULAN

Kegiatan ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem *smart farming* berbasis IoT dan PLTS untuk mengoptimalkan pemberian nutrisi dan efisiensi energi pada kebun hidroponik Atish Hidrofarm di Desa Bawang. Sistem ini dirancang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor TDS, suhu, dan kelembapan, serta pompa peristaltik yang dikendalikan secara otomatis melalui algoritma FLC. Dukungan energi dari panel surya 80 WP memastikan kelangsungan operasional sistem bahkan saat terjadi pemadaman listrik. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kestabilan konsentrasi nutrisi (TDS) dalam rentang optimal. Selain itu, pendekatan partisipatif dalam pelatihan dan sosialisasi berhasil meningkatkan pemahaman dan keterampilan petani dalam mengoperasikan dan memelihara sistem (Subiyanto, Syah, et al., 2025). Sistem ini tidak hanya mendukung konservasi energi dan sumber daya, tetapi juga dapat direplikasi di berbagai lokasi dengan keterbatasan pasokan listrik, sehingga memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian hidroponik skala kecil dan menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini didukung oleh UNNES *Electrical Engineering Students Research Group* (UEESRG), Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang. Studi ini didanai oleh DPA LPPM Universitas Negeri Semarang melalui DPA Nomor 139.032.693449/2025.01, berdasarkan Surat Perjanjian Penugasan Pengabdian kepada Masyarakat Dana DPA LPPM UNNES Tahun 2025, Nomor 553.14.3/UN37/PPK.11/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhirama, M. M. (2023). *Analisis Risiko Produksi Tanaman Selada Hidroponik di Cv Spirit Wira Utama*. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/73485>
- Abidin, M. A. Z., Mahyuddin, M. N., & Zainuri, M. A. A. M. (2023). Optimal Efficient Energy Production by PV Module Tilt-Orientation Prediction Without Compromising Crop-Light Demands in Agrivoltaic Systems. *IEEE Access*, 11, 71557–71572. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3293850>
- Asad Kutsuro, I., & Faiz Husnayain. (2025). Enhancing Power Distribution Efficiency in Central Kalimantan through Renewable Energy Integration and Grid Optimization. *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, 8(2), 142–158. <https://doi.org/10.31258/IJEEPSE.8.2.142-158>
- Bayih, A. Z., Morales, J., Assabie, Y., & de By, R. A. (2022). Utilization of Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Sustainable Smallholder Agriculture. *Sensors* 2022, Vol. 22, Page 3273, 22(9), 3273. <https://doi.org/10.3390/S22093273>
- Bohne, D. (2023). Waste Water and Water Technology. *Building Services and Energy Efficient Buildings*, 71–180. https://doi.org/10.1007/978-3-658-41273-9_3
- Gong, L., Luo, L., Gao, J., Xiong, Y., Chen, C., Gan, H., Song, H., Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Dolores Oscar Barceinas-Sanchez, J., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 646, 12(5), 646. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12050646>

- Hikmah, N., Susanti, A., Muhammadiyah Makassar, U., Sultan Alauddin No, J., Sari, G., Rappocini, K., Makassar, K., & Selatan, S. (2023). Analysis Of Economic Opportunities For Farming With Hydroponic Systems In Makassar City. *Jurnal Manajemen Bisnis*, 10(2), 392–405. <https://doi.org/10.33096/JMB.V10I2.553>
- Hudelson, T., & Lieth, J. H. (2021). Crop production in partial shade of solar photovoltaic panels on trackers. *AIP Conference Proceedings*, 2361(1). <https://doi.org/10.1063/5.0055174/718148>
- Jararweh, Y., Fatima, S., Jarrah, M., & AlZu'bi, S. (2023). Smart and sustainable agriculture: Fundamentals, enabling technologies, and future directions. *Computers and Electrical Engineering*, 110, 108799. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2023.108799>
- Lakhari, I. A., Yan, H., Syed, T. N., Zhang, C., Shaikh, S. A., Rakibuzzaman, M., & Vistro, R. B. (2025). Soilless Agricultural Systems: Opportunities, Challenges, and Applications for Enhancing Horticultural Resilience to Climate Change and Urbanization. *Horticulturae* 2025, Vol. 11, Page 568, 11(6), 568. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11060568>
- Pandey, P. C., & Pandey, M. (2023). Highlighting the role of agriculture and geospatial technology in food security and sustainable development goals. *Sustainable Development*, 31(5), 3175–3195. <https://doi.org/10.1002/SD.2600>
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies* 2023, Vol. 16, Page 1690, 16(4), 1690. <https://doi.org/10.3390/EN16041690>
- Sangeetha, T., & Periyathambi, E. (2024). Automatic nutrient estimator: distributing nutrient solution in hydroponic plants based on plant growth. *PeerJ Computer Science*, 10, e1871. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1871/SUPP-8>
- Shrivastav, A. K., Dash, D. K., Dhara, S., & Ghosh, P. (2025). Techno-economic design and reliability assessment of a solar PV-battery-based green data center. *Franklin Open*, 11, 100290. <https://doi.org/10.1016/J.FRAOPE.2025.100290>
- Subiyanto, S., Prajanti, S. D. W., Salim, N. A., Prabowo, S. B. A., Sutrisno, D., Anantyo, A., & Anggriani, D. (2025). Android-based smart digital marketplace application on agricultural commodities using a new variant recommendation system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 15(2), 1968–1977. <https://doi.org/10.11591/ijece.v15i2.pp1968-1977>
- Subiyanto, S., Syah, M., Al-Azhari, A., Aprilianto, R., Faqih, F., Fathimah, A., Afiah, W., Jayendra, I., & Cahayasabda, N. (2025). PENERAPAN TEKNOLOGI SMART FARMING UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS DAN KUALITAS HASIL KEBUN HIDROPONIK PADA KELOMPOK TANI MILENIAL DESA BAWANG.
- Subiyanto, Sunarko, B., & Ridloah, S. (2024). *Sistem Monitoring dan Rekomendasi pada Pertanian Berbasis IoT dengan Suplai Energi Baru Terbarukan*. https://drive.google.com/file/d/18hyCtC4mF5t8O5bSPWeUfXd_zUp4s8JN/view?usp=drive_link