

Penerapan IoT untuk Pemantauan Parameter Penting Pertumbuhan Selada Hidroponik Indoor

Al Syahandi¹, Rikki Vitria^{2#}, Ratna Dewi³, Ramiati⁴, Silfia Rifka⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang
Kampus Politeknik Negeri Padang Limau Manis Padang, Indonesia
#rikkivitria@pnp.ac.id

Abstrak

Pertanian hidroponik dalam ruangan merupakan salah satu solusi modern untuk mengatasi keterbatasan lahan dan perubahan iklim yang tidak menentu. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan selada hidroponik, meliputi suhu, kelembapan, pH, nutrisi, dan intensitas cahaya. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22, PH4502C, SEN0244, dan BH1750. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD serta dikirim secara real-time ke Google Sheets dan aplikasi Telegram, yang juga berfungsi sebagai media notifikasi dan kontrol jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu ruangan berkisar 18–28°C, kelembapan 65–91% dengan rata-rata 79%, nilai pH 3,96–11,85 dengan rata-rata 7,6, serta TDS 413–934 ppm dengan rata-rata 644 ppm. Intensitas cahaya dari LED grow light terjaga stabil pada 7307–7474 Lux selama periode pencahayaan harian. Sistem notifikasi melalui Telegram mampu merespons kurang dari satu menit ketika parameter berada di luar rentang ideal. Secara keseluruhan, sistem pemantauan berbasis IoT ini efektif dalam mengawasi kondisi lingkungan hidroponik indoor sehingga mendukung terciptanya pertumbuhan selada yang optimal.

Kata kunci: Selada Hidroponik, Internet of Things, Mikrokontroler ESP32, Pemantauan Real-time

Abstract

Indoor hydroponic farming is a modern solution to overcome land scarcity and unpredictable climate change. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based monitoring system to observe environmental parameters that affect the growth of hydroponic lettuce, including temperature, humidity, pH, nutrient levels, and light intensity. The system utilizes an ESP32 microcontroller connected to DHT22, PH4502C, SEN0244, and BH1750 sensors. Measurement data are displayed on an LCD and transmitted in real-time to Google Sheets and the Telegram application, which also functions as a notification and remote-control platform. Experimental results show that indoor temperature ranged between 18–28°C, humidity levels between 65–91% with an average of 79%, pH values between 3.96–11.85 with an average of 7.6, and TDS values between 413–934 ppm with an average of 644 ppm. Light intensity from the LED grow light was maintained at a stable level between 7307–7474 Lux during a 12-hour daily lighting period. The notification system via Telegram provided a fast response of less than one minute when parameters exceeded the ideal range. Overall, the IoT-based monitoring system effectively observed indoor hydroponic conditions and supported optimal lettuce growth.

Keywords: Hydroponic Lettuce, Internet of Things, ESP32 Microcontroller, Real-time Monitoring

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah membawa dampak yang signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu yang memiliki pengaruh besar adalah IoT. Teknologi ini merupakan sebuah konsep dimana berbagai perangkat elektronik seperti sensor dan aktuator saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Dengan adanya IoT, pengguna bisa mengontrol dan mendapatkan data dari alat meskipun dari jarak yang jauh [1]. Saat ini,

IoT telah dikembangkan dan diimplementasikan pada berbagai sektor kehidupan, seperti smart home, smart farming, pemantauan kesehatan jarak jauh, transportasi tanpa driver, hingga sistem pengawasan kota pintar berbasis internet. Salah satu implementasi dari IoT yang banyak dikembangkan adalah di sektor pertanian, yang disebut dengan smart farming [2].

Pertanian merupakan sektor utama dalam kebutuhan manusia. Sebagian besar bahan makanan manusia berasal dari pertanian, seperti biji-bijian, umbi-umbian, buah-buahan, hingga sayur-sayuran.

Namun untuk saat ini pertanian konvensional sering menghadapi berbagai tantangan dalam pelaksanaannya. Salah satu tantangannya adalah kurangnya lahan pertanian akibat alih fungsi lahan pertanian menjadi perumahan. Hal ini sering terjadi di wilayah perkotaan dengan penduduk yang semakin banyak [3]. Selain itu, kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan dan intensitas cahaya sangat sulit dikendalikan secara manual karena sangat bergantung pada alam. Tantangan lain yang cukup serius adalah serangan hama yang mengharuskan petani untuk selalu menggunakan pestisida [4]. Hal ini tentu akan mengurangi kualitas hasil pertanian akibat kontaminasi bahan kimia.

Sebagai solusi atas masalah tersebut, mulai banyak dikembangkan pertanian modern seperti hidroponik dalam ruangan. Namun, lingkungan dalam sistem hidroponik dalam ruangan sangat tergantung pada peralatan yang digunakan sehingga diperlukan pemantauan dan pengaturan parameter lingkungan secara konsisten, seperti suhu, kelembapan, pH, hingga nutrisi tanaman untuk mengoptimalkan hasil pertanian [5]. Disinilah teknologi IoT mengambil peran. Dengan adanya IoT semua parameter lingkungan bisa dipantau dan dikontrol secara real-time. Integrasi dengan internet juga memungkinkan pengguna untuk melakukan itu dari jarak jauh. Pada penelitian yang dilakukan oleh Silfia Rifka dan kawan-kawan sebelumnya telah membuktikan bahwa integrasi sensor dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan efisiensi pemantauan [6], namun masih mengandalkan pencahayaan alami dari matahari.

Aspek lain yang perlu diperhatikan dalam sistem hidroponik dalam ruangan adalah pencahayaan. Karena tanaman tidak mendapatkan cahaya langsung dari matahari sehingga dibutuhkan pencahayaan buatan sebagai sumber energi untuk melakukan fotosintesis. Berbagai studi telah dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan lampu LED untuk menggantikan cahaya alami. Seperti yang dilakukan oleh Asep Rizaludin dalam penelitiannya yang menunjukkan bahwa lampu light emitting diode (LED) dengan spektrum tertentu dapat membantu proses fotosintesis pada tanaman menggantikan cahaya alami dari matahari [7]. Novianto dan Setiawan juga membuktikan bahwa LED grow light 300W dengan spektrum merah-biru lebih efektif daripada LED putih, dalam membantu proses fotosintesis pada tanaman selada. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah efisiensi energi [8]. Jaeger menyoroti bahwa meskipun LED ungu (red-blue) meningkatkan fotosintesis, namun konsumsi energi tetap tinggi [9]. Dikarenakan hal itu dibutuhkan sebuah sistem yang mampu mengatur

intensitas dan durasi pencahayaan sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Tanaman selada memiliki siklus hidup yang tergolong singkat dan sangat responsif terhadap kondisi lingkungan. Selain itu tanaman selada juga sudah banyak dibudidayakan pada sistem pertanian hidroponik [10]. Selada juga memiliki kebutuhan nutrisi dan intensitas cahaya yang cukup spesifik sehingga cocok untuk dijadikan objek yang dipantau jarak jauh untuk memastikan lingkungan sesuai untuk tanaman hidroponik, dengan memanfaatkan berbagai sensor serta kontrol otomatis, diharapkan sistem ini mampu menghasilkan tanaman selada yang tumbuh dengan optimal [11] [12]. Dalam konteks pembangunan pertanian berkelanjutan, praktik pertanian modern dituntut tidak hanya mampu meningkatkan produktivitas, tetapi juga meminimalkan dampak lingkungan dan menjaga efisiensi pemanfaatan sumber daya. Gamage et al. menekankan bahwa praktik pertanian konvensional dengan ketergantungan tinggi pada input kimia berkontribusi terhadap degradasi lingkungan, ketidakseimbangan siklus nutrisi, serta peningkatan emisi gas rumah kaca, sehingga diperlukan pendekatan pertanian yang lebih berkelanjutan dan adaptif terhadap keterbatasan sumber daya [13]. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah integrasi sistem budidaya ramah lingkungan dengan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi dan pengendalian proses produksi pertanian.

Pertanian hidroponik, khususnya dalam lingkungan tertutup (indoor farming), memiliki potensi besar dalam mendukung prinsip keberlanjutan karena mampu mengurangi penggunaan lahan, air, serta pestisida, sekaligus memungkinkan pengendalian lingkungan tumbuh tanaman secara lebih presisi. Namun, sistem hidroponik indoor sangat bergantung pada stabilitas parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, pH, nutrisi, dan pencahayaan buatan. Tanpa pemantauan yang akurat dan berkelanjutan, fluktuasi parameter tersebut dapat menurunkan efisiensi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan konsumsi energi serta sumber daya.

Sejalan dengan pandangan Gamage et al. yang menekankan pentingnya kombinasi praktik pertanian berkelanjutan dengan teknologi digital untuk mengatasi keterbatasan sistem pertanian modern, penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem hidroponik indoor menjadi solusi yang relevan. IoT memungkinkan pemantauan multi-parameter secara real-time, pencatatan data historis, serta respon cepat terhadap kondisi lingkungan yang tidak ideal. Dengan demikian, integrasi IoT dalam hidroponik indoor tidak hanya berperan dalam meningkatkan

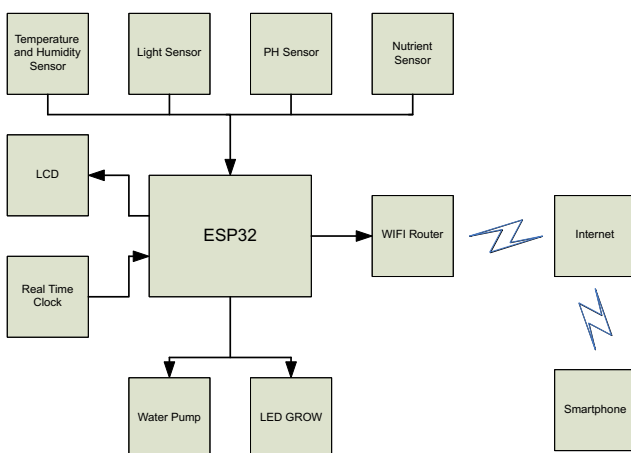
produktivitas tanaman, tetapi juga mendukung efisiensi sumber daya dan prinsip pertanian berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem pemantauan berbasis IoT untuk hidroponik selada dalam ruangan dengan pencahayaan buatan penuh. Sistem ini diharapkan dapat menjadi model teknologi pertanian skala kecil yang aplikatif, mendukung praktik pertanian berkelanjutan, serta menjawab tantangan keterbatasan lahan dan ketergantungan terhadap kondisi lingkungan alami.

Berbeda dengan penelitian IoT hidroponik sebelumnya yang umumnya berfokus pada satu atau dua parameter lingkungan, penelitian ini menekankan integrasi multi-parameter (suhu, kelembapan, pH, TDS, dan intensitas cahaya) dalam sistem hidroponik indoor yang sepenuhnya bergantung pada pencahayaan buatan. Selain itu, sistem dikembangkan dengan notifikasi berbasis Telegram yang memiliki waktu respons yang cepat, serta pencatatan data historis otomatis menggunakan Google Sheets tanpa server lokal tambahan. Kombinasi pemantauan real-time, notifikasi cepat, dan kemudahan implementasi menjadikan sistem ini lebih mudah diterapkan untuk skala rumah tangga dan urban farming, terutama di wilayah dengan keterbatasan lahan dan cahaya alami.

II. METODE PENELITIAN

Sistem pemantauan yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk mengawasi faktor-faktor yang menentukan keberhasilan pertumbuhan selada hidroponik dalam ruangan. Solusi ini memanfaatkan IoT untuk memungkinkan pemantauan dan pengelolaan secara real-time dari mana saja dengan mengintegrasikan Google Sheets dan aplikasi Telegram. Gambar 1 menunjukkan diagram blok dari sistem tersebut.



Berikut adalah penjelasan mengenai diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 1:

- Mikrokontroler ESP32: Berfungsi sebagai pengendali utama sistem, bertugas membaca data dari sensor, memprosesnya, dan mengirimkannya ke internet.
- Sensor pH (Modul PH-4502C): Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan hidroponik.
- Sensor Nutrisi (Analog TDS Sensor Module SEN0244): Berfungsi untuk mengukur konsentrasi nutrisi dalam larutan hidroponik.
- Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22): Mengukur suhu udara dan kelembapan di sekitar tanaman hidroponik.
- Sensor Cahaya (BH1750): Mengukur luminansi cahaya yang diterima tanaman untuk memastikan pencahayaan cukup selama proses fotosintesis.
- LCD 40 x 4: Menampilkan data real-time dari sensor yang terhubung.
- RTC (Real-Time Clock): Menyediakan referensi waktu yang akurat untuk mengendalikan lampu LED grow light.
- Pompa Air: Memompakan larutan nutrisi dalam sistem hidroponik NFT (Nutrient Film Technique).
- Lampu LED grow light: Berfungsi sebagai sumber cahaya utama untuk fotosintesis tanaman selada, menggantikan sinar matahari di lingkungan dalam ruangan.

Sistem hidroponik yang digunakan adalah NFT (Nutrient Film Technique), di mana larutan nutrisi terus menerus disirkulasikan dalam lapisan tipis di atas akar tanaman menggunakan pompa air [14]. Sistem ini bergantung pada pengaturan parameter lingkungan seperti suhu, nutrisi, pH, dan pencahayaan, yang semuanya dipantau oleh sistem berbasis IoT. Sistem pemantauan ini secara berkala mengirimkan data sensor ke Google Sheets dan aplikasi Telegram.

Google Sheets digunakan untuk menyimpan data sensor, sehingga memudahkan pencatatan historis, pemantauan tren, dan analisis pertumbuhan selada.

Bot Telegram digunakan untuk memberikan informasi tentang parameter yang diamati, mengirim notifikasi jika ada parameter yang berada di luar batas yang telah ditentukan, serta memungkinkan pengendalian jarak jauh terhadap pompa air dan lampu LED grow light.

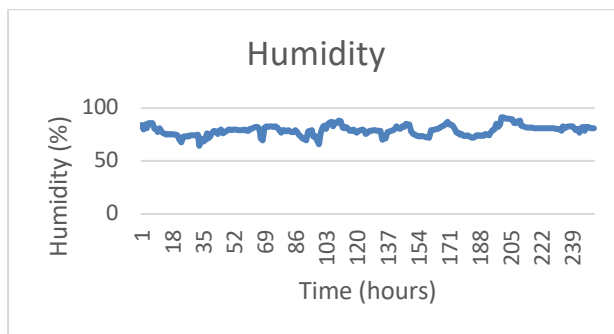
Setiap sensor yang digunakan telah dikalibrasi dan divalidasi untuk memastikan hasil pembacaan yang akurat. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur konvensional, sebagai berikut:

Data sensor pH dibandingkan dengan pembacaan dari pH meter digital. Data sensor TDS divalidasi menggunakan TDS meter digital untuk membandingkan nilai konsentrasi nutrisi (dalam ppm). Sensor BH1750 (lux) dibandingkan dengan lux meter untuk memverifikasi tingkat intensitas cahaya yang terukur. Sensor DHT22 diuji menggunakan alat ukur digital untuk memastikan hasil suhu dan kelembapan sesuai dengan kondisi sebenarnya.

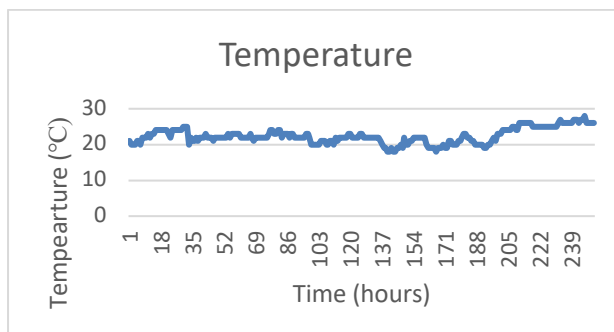
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

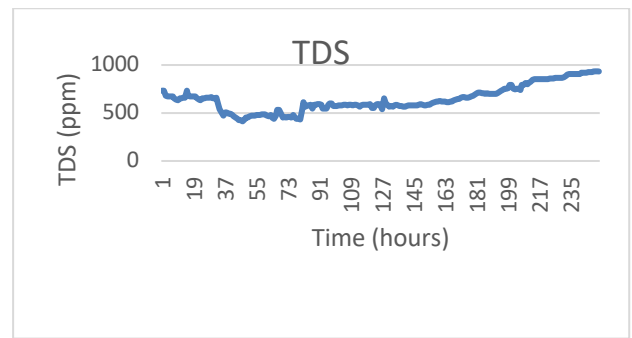
Sistem pemantauan berbasis IoT berhasil merekam dan menampilkan parameter lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan selada hidroponik dalam ruangan. Data sensor ditampilkan pada LCD dan secara berkala dikirimkan ke Google Sheets serta aplikasi Telegram. Selama periode pengamatan, nilai dari setiap sensor ditunjukkan pada Gambar 2.



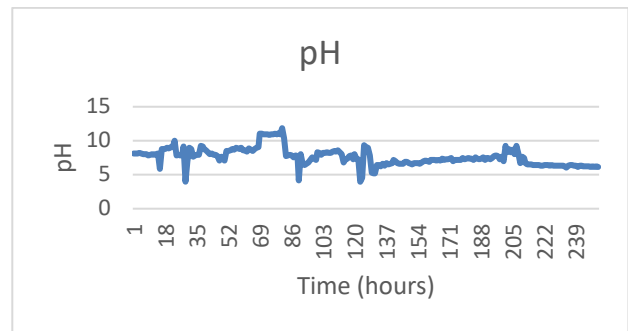
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Hasil pengamatan data sensor selama satu minggu (a) Kelembapan, (b) Suhu, (c) TDS, (d) pH

Gambar 2(a) menunjukkan suhu udara dalam ruangan selama periode pemantauan sekitar 7 hari, dengan data direkam setiap jam. Suhu berkisar antara 18°C hingga 28°C, yang umumnya sesuai untuk tanaman hidroponik dalam ruangan, khususnya selada. Selada tumbuh optimal pada suhu sekitar 20°C hingga 27°C, yang mendukung perkembangan daun, pembentukan akar, serta penyerapan nutrisi yang efisien. Namun, peningkatan suhu pada akhir periode menunjukkan perlunya pendinginan tambahan untuk mencegah terjadinya overheating di ruang tanam.

Grafik pada Gambar 2(b) menunjukkan tingkat kelembapan udara dalam ruangan yang dipantau selama 7 hari, dengan data diterima dari sensor setiap jam melalui Google Sheets. Rentang kelembapan optimal untuk tanaman selada hidroponik biasanya antara 60% hingga 80%. Kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman kehilangan air terlalu cepat melalui transpirasi, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko penyakit jamur [15]. Nilai kelembapan yang terekam berkisar antara 65% hingga 91%, dengan rata-rata 79% selama periode pengamatan. Secara umum, grafik menunjukkan tingkat kelembapan yang relatif tinggi tetapi stabil, dengan fluktuasi kecil. Beberapa momen penurunan kelembapan terlihat, namun masih berada dalam batas toleransi tanaman selada.

Tanaman selada (*Lactuca sativa*) dalam sistem hidroponik umumnya membutuhkan rentang pH antara 6,0 hingga 7,0. pH yang terlalu rendah ($<5,5$) dapat menyebabkan toksisitas unsur mikro, sedangkan pH yang terlalu tinggi ($>7,5$) dapat menghambat penyerapan nutrisi seperti zat besi, fosfor, dan mangan. Rentang pH yang terukur menggunakan sensor dan disimpan pada Google Sheets adalah antara 3,96 hingga 11,85, dengan rata-rata 7,6 seperti ditunjukkan pada Gambar 2(c). Nilai ini sedikit berada di atas rentang yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan penambahan larutan penurun atau penaik pH untuk memastikan tanaman selada dapat tumbuh dengan baik dan tetap sehat.

Rentang TDS ideal untuk tanaman selada hidroponik adalah antara 560 hingga 840 ppm. TDS (Total Dissolved Solids) menunjukkan jumlah zat terlarut dalam larutan nutrisi, yang berhubungan langsung dengan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Nilai yang ditunjukkan pada Gambar 2(d) berkisar antara 413 ppm hingga 934 ppm, dengan nilai rata-rata 644 ppm. Penurunan TDS dapat disebabkan oleh penyerapan nutrisi yang cepat oleh tanaman, sementara peningkatan TDS kemungkinan diakibatkan oleh penguapan air sehingga larutan menjadi lebih pekat. Nilai TDS di bawah 500 ppm dapat menyebabkan defisiensi nutrisi dan pertumbuhan tanaman yang lambat, sedangkan nilai TDS di atas 900 ppm berisiko menimbulkan akumulasi garam yang dapat mengganggu penyerapan air oleh akar serta menyebabkan stres pada tanaman. Meskipun demikian, nilai rata-rata TDS masih berada dalam rentang ideal.

Untuk mengatasi nilai parameter lingkungan yang berada di luar rentang ideal, notifikasi dikirim melalui aplikasi Telegram sehingga permasalahan dapat segera ditangani. Antarmuka notifikasi Telegram ditunjukkan pada Gambar 3(a) dan 3(b).



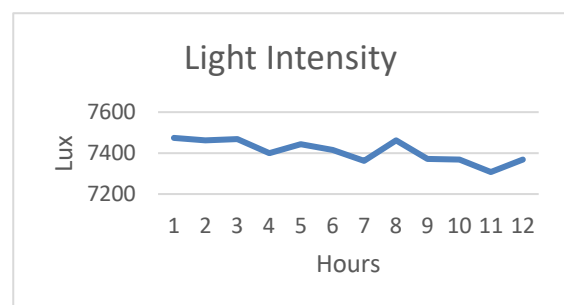
(a)



(b)

Gambar 3. Tampilan notifikasi nilai parameter di luar batas yang diperbolehkan (a) Nilai pH (b) Nilai TDS

Grafik luminansi cahaya yang ditunjukkan pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa LED grow light memberikan pencahayaan yang relatif stabil, berkisar antara 7307 hingga 7474 Lux selama periode pencahayaan harian 12 jam dari pukul 07.00 hingga 18.00. Nilai ini berada dalam rentang ideal untuk mendukung proses fotosintesis tanaman selada, yang umumnya membutuhkan luminansi cahaya antara 7000 hingga 10.000 Lux. Secara keseluruhan luminansi cahaya yang diberikan sudah cukup untuk pertumbuhan selada hidroponik.



Gambar 4. Luminansi cahaya rata-rata diterima tanaman selada hidroponik dari LED Grow

Jika dibandingkan dengan penelitian Silfia Rifka et al. yang mengembangkan sistem pemantauan hidroponik berbasis IoT dengan pencahayaan alami, sistem pada penelitian ini menunjukkan keunggulan dalam stabilitas intensitas cahaya karena sepenuhnya menggunakan LED grow light. Intensitas cahaya pada penelitian ini relatif stabil pada rentang 7307–7474 Lux, sedangkan pencahayaan alami pada penelitian sebelumnya sangat dipengaruhi kondisi cuaca dan waktu.

Dibandingkan dengan penelitian Muriyatmoko yang hanya berfokus pada pemantauan pH, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini mampu memberikan gambaran kondisi lingkungan yang lebih komprehensif melalui pemantauan multi-

parameter secara simultan. Hal ini memungkinkan deteksi dini terhadap potensi stres tanaman yang tidak hanya disebabkan oleh pH, tetapi juga oleh suhu, kelembapan, dan konsentrasi nutrisi.

Penelitian Novinanto dan Setiawan serta Jaeger menyoroti efektivitas LED grow light terhadap fotosintesis tanaman, namun belum mengintegrasikan sistem pemantauan intensitas cahaya secara real-time. Penelitian ini melengkapi celah tersebut dengan pengukuran luminansi berbasis sensor BH1750, sehingga pencahayaan tidak hanya diatur berdasarkan waktu, tetapi juga dapat dievaluasi berdasarkan data aktual yang diterima tanaman.

IV. KESIMPULAN

Sistem pemantauan berbasis IoT yang dikembangkan pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang baik dalam memantau parameter lingkungan hidroponik indoor. Sistem mampu merekam suhu (18–28°C), kelembapan (65–91%), pH (3,96–11,85), TDS (413–934 ppm), serta intensitas cahaya (7307–7474 Lux) secara real-time, dengan waktu respons notifikasi Telegram kurang dari satu menit ketika parameter berada di luar batas optimal.

Meskipun sistem telah berfungsi dengan baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain belum diterapkannya kontrol otomatis pH dan nutrisi, serta belum dilakukan analisis efisiensi energi LED grow light secara kuantitatif. Selain itu, pengujian masih dilakukan pada skala laboratorium dengan satu jenis tanaman.

Kedepan, sistem ini dapat dikembangkan dengan penambahan aktuator otomatis berbasis kontrol tertutup, integrasi analisis konsumsi energi, serta pengujian pada berbagai jenis tanaman hortikultura untuk meningkatkan generalisasi sistem.

REFERENSI

- [1] A. Selay *et al.*, “Internet of Things,” *Karimah Tauhid*, vol. 1, pp. 860–868, 2022.
- [2] A. Dutta, I. Nag, S. Basu, D. Seal, and R. K. Gayen, “IoT based Indoor Hydroponics System,” 2021, doi: 10.1109/IEMENTech53263.2021.9614730.
- [3] B. Jun *et al.*, “Strategi Pengembangan Pertanian Perkotaan (Urban Farming) Studi Kasus Pada Usaha Petanian Perkotaan ‘Queen Farm’ Di Kota Pontianak,” pp. 441–453, 2025.
- [4] F. L. Maita, F. Nurdiansyah, and D. Rystiadi, “Intensitas Budidaya Tanaman Terhadap Komunitas dan Fungsi Ekologi Arthropoda,” vol. 3, no. 1, pp. 39–52, 2020.
- [5] P. Nirbita, K. Y. Chan, G. S. H. Thien, and C. L. Lee, “Smart Hydroponic Farming System Integrated with LED Grow Lights,” *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 2, 2024, doi: 10.47836/pjst.32.2.11.
- [6] S. Rifka, R. Dewi, U. Khair, H. Setiawan, and A. Haq, “Embedded Smart Farming System for Soil and Hydroponic Planting Media Based on IoT,” *Sink. J. dan Penelit. Tek. Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 188–196, 2025.
- [7] A. Rizaludin, M. Melina, and V. A. Kusumaningtyas, “Pengaruh Penyinaran Lampu LED Terhadap Proses Fotosintesis Menggunakan Percobaan Ingenhousz The Effect of LED Light Radiation on Photosynthesis Process Using Ingenhousz Experiment,” *J. Kartika Kim.*, vol. 6, no. November, pp. 77–80, 2020.
- [8] A. Novinanto and A. W. Setiawan, “Pengaruh Variasi Sumber Cahaya Led Terhadap Pertumbuhan Budidaya Hidroponik Rakit Apung Effect Of Led Light Source Variation Toward Curly Lettuce (*Lactuca Sativa* Var . *Crispa* L) Growth And Yield In Hydroponic Raft System,” *AGRIC J. Ilmu Pertan.*, vol. 378, no. mm, 2019.
- [9] S. R. Jaeger, “Vertical farming (plant factory with artificial lighting) and its produce: consumer insights,” *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 56, no. April 2024, p. 101145, 2024, doi: 10.1016/j.cofs.2024.101145.
- [10] A. Wijaya, “Pertumbuhan Dan Hasil Selada (*Lactuca sativa* L .) Pada Metode Hidroponik Sistem Sumbu Dengan Kerapatan Naungan Dan Konsentrasi Nutrisi Yang Berbeda Growth and Yield Of Lettuce (*Lactuca sativa* L .) in Hydroponic Wick System Method On Different Shade Dens,” *J. Produksi Tanam.*, vol. 10, no. 10, pp. 541–548, 2022.
- [11] D. Muriyatmoko, R. Kurnia, S. N. Utama, and A. Musthafa, “Sistem Monitoring Jarak Jauh Kontrol pH Tanaman Selada Dengan Media Hidroponik,” *J. Teknol. Terpadu*, vol. 11, no. 1, 2023.
- [12] Marisa, Carudin, and Ramdani, “Otomatisasi Sistem Pengendalian Dan Pemantauan Kadar Nutrisi Air Menggunakan Teknologi NodeMcu ESP8266 Pada Tanaman Hidroponik,” *J. Teknol. Terpadu*, vol. 7, no. 2, pp. 127–134, 2021.
- [13] A. Gamage *et al.*, “Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture,” *Farming System*, vol. 1, no. 1. 2023, doi: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
- [14] W. Lennard and J. Ward, “A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System,” *horticulturae*, 2019.
- [15] K. B., P. K., and L. M., “Hydroponic Cultivation: Factors Affecting Its Success and Efficacy,” *Int. J. Environ. Clim. Chang.*, vol. 13, no. 10, 2023, doi: 10.9734/ijecc/2023/v13i102905.