

Application of pH and TDS Sensors to the Growth of Red Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) in a Hydroponic System

Amelia Dwi Putri¹, Resti Fevria^{1,2*}, Azwir Anhar¹, Abdul Razak¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

Article History

Received : December 05th, 2025

Revised : December 20th, 2025

Accepted : December 30th, 2025

*Corresponding Author: **Resti Fevria**, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;
Email:

restifevria@fmipa.unp.ac.id

Abstract: Red lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) cultivated using hydroponic systems requires precise nutrient management to optimize growth. Internet of Things (IoT)-based sensors, particularly pH and Total Dissolved Solids (TDS) sensors, enable real-time automatic regulation of nutrient solutions. This study aimed to evaluate the effect of IoT-based nutrient automation using pH and TDS sensors combined with a 50% AB Mix and 50% nano gamal leaf POC formulation on the growth of red lettuce. Data were analyzed using an independent t-test at the 5% significance level. The results showed that all growth parameters in the sensor-based system were significantly higher than those in the manual system ($p < 0.05$). The automated system improved nutrient balance, increased nutrient absorption efficiency, and maintained stable pH and TDS values throughout the growth period. This study demonstrates that IoT-based nutrient automation effectively enhances hydroponic red lettuce productivity and supports sustainable agricultural practices through efficient resource management. Statistical analysis confirmed significant differences between treatments, indicating that IoT technology improves the efficiency and productivity of hydroponic systems by providing real-time nutrient supply. This research strengthens the potential application of IoT technology in sustainable agriculture and contributes to improved production efficiency and resource savings.

Keywords: Hydroponics, IoT, pH sensor, TDS sensor, nano POC, red lettuce.

Pendahuluan

Selada merah merupakan sayuran daun yang memiliki bentuk menarik, berwarna merah, bertekstur renyah, dan tumbuh bergerombol. Karakteristik tersebut menjadikan selada merah memiliki nilai ekonomi dan prospek usaha yang tinggi. Saat ini, selada merah telah mendapatkan popularitas yang signifikan di kalangan masyarakat karena profil nutrisinya yang sangat baik. Selada mengandung antosianin, flavonoid, saponin, tanin, fenolik, steroid, triterpenoid, dan alkaloid, serta kaya akan serat. Karena itu, selada sering disajikan sebagai pelengkap burger, sandwich, dan salad (Mila *et al.*, 2021). Selain berfungsi sumber makanan, komponen aktif dalam selada merah juga berfungsi sebagai

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

antioksidan alami yang dapat melawan radikal bebas, memperkuat sistem imun, dan mendukung kesehatan pencernaan.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik produksi tanaman selada di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 727.467 ton. Jumlah ini meningkat pada tahun 2022 menjadi 760.608 ton, namun kembali menurun cukup tajam pada tahun 2023 menjadi 686.867 ton (BPS, 2024). Fluktuasi tersebut menunjukkan produksi selada di Indonesia masih belum stabil, sehingga diperlukan upaya peningkatan melalui perbaikan teknik budidaya, terutama pada selada merah (Srinadila, 2024). Sistem hidroponik berfungsi sebagai alternatif efektif untuk pertanian berbasis tanah tradisional dengan menggunakan metode penanaman tanpa tanah, sehingga meningkatkan

© 2025 The Author(s). This article is open access

hasil tanaman, terutama di daerah dengan ruang terbatas (Manalu, 2020). Terdapat beberapa jenis sistem hidroponik yang dapat digunakan, seperti Nutrient Film Technique (NFT), Deep Flow Technique (DFT), aeroponik, dan sistem sumbu (Supriyadi, 2017). Penelitian ini berfokus pada penggunaan pendekatan NFT, di mana larutan nutrisi terus menerus disirkulasikan di sekitar akar tanaman, memastikan pasokan air, nutrisi, dan oksigen yang konsisten untuk mendorong pertumbuhan tanaman yang kuat (Roidah, 2014).

Setiap jenis media tanam dalam sistem hidroponik membutuhkan larutan AB Mix dengan kadar tertentu untuk memastikan perkembangan tanaman yang optimal. Kekurangan nutrisi dapat menyebabkan hasil panen yang lebih rendah, sementara kelebihan nutrisi dapat memperlambat pertumbuhan dan meningkatkan biaya produksi (Fahmi *et al.*, 2022). Meskipun demikian, AB Mix adalah larutan nutrisi yang paling umum digunakan dalam hidroponik karena beragam nutrisinya. Namun, campuran ini terbuat dari bahan kimia buatan dan harganya cukup mahal, sehingga menyoroti kebutuhan akan alternatif nutrisi yang lebih murah untuk membantu pertumbuhan tanaman. Salah satu solusi yang mungkin adalah menggunakan zat organik, seperti pupuk organik daun gamal (POC), yang dapat menyediakan nutrisi sekaligus mengurangi ketergantungan pada AB Mix (Hambali *et al.*, 2018).

Daun gamal merupakan sumber daya yang menjanjikan untuk pembuatan pupuk organik (POC) karena struktur daunnya mengandung nutrisi penting seperti N, P, K, Ca, dan Mg (Lontoh *et al.*, 2024). Untuk meningkatkan kinerjanya, POC daun gamal dapat ditingkatkan melalui nanoteknologi. Metode ini memungkinkan untuk mengubah dan mengamati material dan sistem pada skala nano (Razak *et al.*, 2025), yang memudahkan tanaman untuk menyerap nutrisi.

Sebuah studi oleh Tazri *et al.*, (2025) menunjukkan bahwa penggunaan POC daun gamal meningkatkan pertumbuhan pakcoy ketika dicampur dalam perbandingan yang sama, yaitu 50% AB Mix dan 50% nano POC, yang tercermin dari tanaman yang lebih tinggi, luas daun yang lebih besar, dan peningkatan berat segar dan kering. Rasio spesifik ini dianggap optimal karena menggabungkan nutrisi anorganik yang cepat tersedia dari AB Mix

dengan nutrisi organik yang bekerja secara bertahap tetapi lebih berkelanjutan dari POC. Sampuran 50% AB Mix dan 50% nano POC diakui sebagai campuran paling efektif untuk mendorong pertumbuhan tanaman yang ideal dan berkelanjutan dalam sistem hidroponik.

Penerapan teknologi IoT dalam sistem hidroponik memberikan berbagai kemudahan. Sistem ini mampu melakukan perawatan secara mandiri, dan memungkinkan pemantauan serta pengendalian dari mana saja. Sebuah smartphone dapat difungsikan sebagai perangkat pemantau dan pengendali, dengan syarat terinstal aplikasi berbasis Android yang terhubung ke jaringan internet (Setiawan *et al.*, 2018). IoT menghadirkan solusi praktis untuk membangun sistem yang mudah dikontrol dan diakses dari jarak jauh, kapanpun dibutuhkan. Sistem irigasi tanaman otomatis adalah contoh penerapannya yang memberikan kemudahan dan efisiensi (Gupta & Johari, 2019).

Penerapan teknologi otomatisasi menggunakan sensor pH dan TDS telah dilaporkan efektif dalam menjaga stabilitas konsentrasi nutrisi pada berbagai tanaman daun. Fevria dan Anhar (2020) menjelaskan bahwa fluktuasi pH dan TDS merupakan faktor utama penyebab rendahnya penyerapan hara pada tanaman hidroponik. Ketidakstabilan pH dapat menyebabkan pengendapan unsur hara, sedangkan ketidaksesuaian TDS mengganggu keseimbangan larutan nutrisi sehingga menghambat proses metabolisme tanaman. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian penerapan POC teknologi nano dengan sensor pH dan TDS dalam sistem hidroponik untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman selada merah (*Lactuca sativa* var. *crispa*). Sistem ini secara otomatis mengalirkan nutrisi apabila konsentrasi larutan nutrisi tidak sesuai dengan titik pengaturan yang telah ditetapkan.

Bahan dan Metode

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen untuk mengetahui pengaruh sensor pH dan TDS terhadap pertumbuhan Selada Merah (*Lactuca sativa* var. *Crispa*)

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlangsung di bulan Juli sampai Desember 2025 di Blasta Hidroponik dan Laboratorium Penelitian Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Alat dan Bahan

Peralatan menggunakan sistem hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*), net pot, lidi, baki, TDS meter, PH meter, penggaris, oven, gunting, kamera, alat tulis, kertas label, timbangan digital, kertas HVS, kertas koran. Bahan penelitian yaitu nutrisi hidroponik AB mix, benih tanaman Selada Merah, rockwool, dan air.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan 2 rata-rata perlakuan, masing-masing perlakuan terdiri dari 9 ulangan tanaman Selada Merah .

P1 : AB Mix 50% + POC nano 50% dengan sensor

P2 : AB Mix 50% + POC nano 50% tanpa sensor

Penggunaan larutan nutrisi pada kedua perlakuan berdasarkan konsentrasi nutrisi (ppm), bukan pada konsentrasi volume yang digunakan. Larutan AB Mix disiapkan pada kadar 400 ppm, begitu juga POC disetarakan pada 400 ppm, dengan volume masing-masing 120 mL untuk AB Mix dan 900 mL untuk POC. Perbedaan utama antara kedua perlakuan terletak pada penggunaan sensor dan tanpa menggunakan sensor.

Parameter pengukuran

Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman diukur menggunakan penggaris dari pangkal batang hingga puncak daun tertinggi. Tinggi tanaman dicatat pada akhir percobaan, yaitu 4 minggu setelah penanaman.

Luas daun (cm²)

Dimensi daun dicatat 4 minggu setelah penanaman melalui teknik penimbangan, menggunakan rumus untuk semua daun, dengan mengecualikan dua daun pertama yang dihasilkan selama perkecambahan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Irwan pada tahun 2017, perhitungan luas daun menggunakan

pendekatan gravimetrik, yang menerapkan rumus yang dirinci dalam persamaan 1.

$$Luas\ daun = \frac{Berat\ Daun \times Luas\ Kertas}{Berat\ Kertas} \quad (1)$$

Berat basah (g)

Berat basah diukur dengan menimbang berbagai bagian tanaman, seperti akar, batang, dan daun, pada 4 minggu setelah penanaman.

Berat Kering (g)

Berat kering diperoleh dengan mengukur semua bagian tanaman, termasuk akar, batang, dan daun. Pengukuran ini dilakukan pada 4 minggu setelah penanaman, menggunakan oven yang diatur pada suhu 60°C selama 48 jam hingga mencapai berat yang stabil.

Analisis data

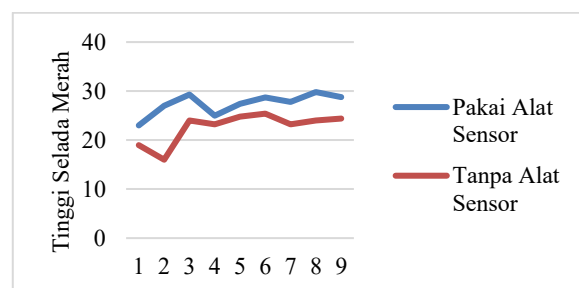
Data hasil pengamatan didapatkan melalui analisis uji-t tidak berpasangan (*Independent t-test*) pada aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) dengan taraf nyata 5%.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian terkait budidaya tanaman selada merah (*Lactuca sativa* var. *crispa*) secara hidroponik menggunakan alat sensor pH dan TDS berbasis IoT dan tanpa menggunakan alat sensor pH dan TDS atau secara manual (konvensional) :

Tinggi Tanaman (cm)

Perbedaan rata-rata tinggi tanaman selada merah yang dibudidayakan dari kedua perlakuan bisa dilihat pada gambar 1.

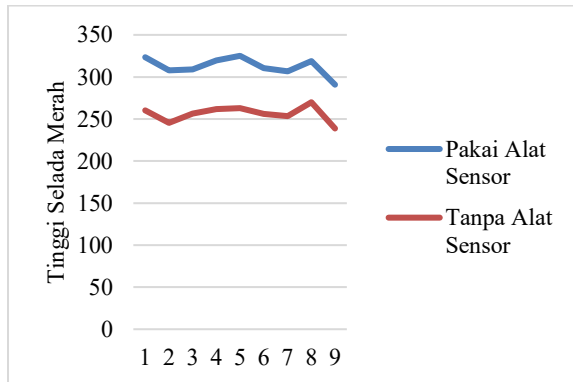


Gambar 1. Perbedaan Tinggi Selada Merah

Luas daun (cm²)

Perbedaan rata-rata luas tanaman selada merah yang dibudidayakan dari kedua perlakuan

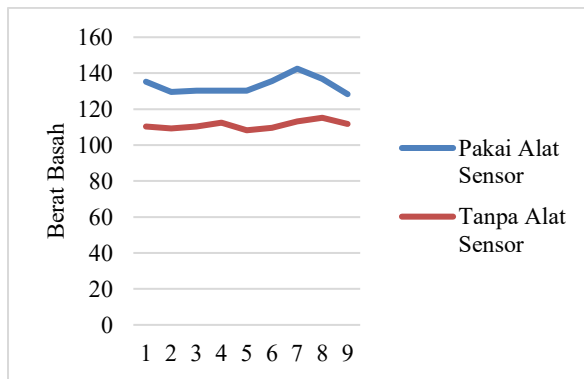
menggunakan metode gravimetri bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Luas Daun Selada Merah

Berat basah (g)

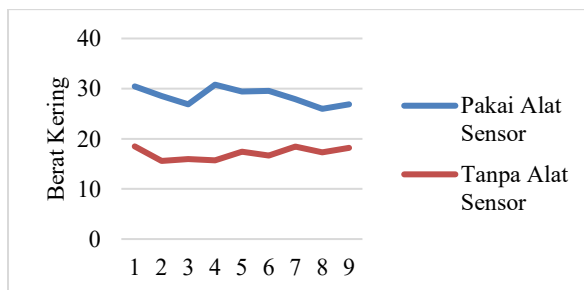
Perbedaan rata-rata berat basah tanaman selada merah yang dibudidayakan dari kedua perlakuan bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Berat Basah Selada Merah

Berat kering (g)

Perbedaan rata-rata berat kering tanaman selada merah yang dibudidayakan dari kedua perlakuan bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Berat Kering Selada Merah

Pembahasan

Tinggi tanaman (cm)

Peningkatan tinggi tanaman yang diamati pada perlakuan dengan bantuan sensor merupakan hasil dari ketersediaan nutrisi yang konsisten selama seluruh fase pertumbuhan. Sensor pH dan TDS menjaga larutan nutrisi dalam kisaran ideal, memungkinkan penyerapan nutrisi yang lebih baik, terutama nitrogen. Nitrogen adalah makronutrien penting yang sangat penting untuk produksi klorofil dan pertumbuhan bagian vegetatif seperti batang dan daun (Sapto Nugroho, 2015).

Data yang dikumpulkan tentang tinggi tanaman selada merah, yang dievaluasi menggunakan uji t tidak berpasangan, menunjukkan nilai $T(3,755) > T(2,120)$ yang dihitung, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Akibatnya, pengujian selanjutnya dengan SPSS menghasilkan nilai p sebesar 0,002, yang kurang dari 0,05. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman selada merah.

Studi yang dilakukan oleh Suhardiyanto *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa pengelolaan nutrisi yang efektif dalam pertumbuhan selada dapat meningkatkan tinggi tanaman secara signifikan karena nutrisi yang tepat mengarah pada peningkatan fotosintesis dan metabolisme sel. Pasokan nutrisi yang tidak konsisten dapat menyebabkan stres fisiologis, yang menghambat pertumbuhan sel dan selanjutnya membatasi tinggi tanaman.

Tingkat nutrisi yang konsisten dapat meningkatkan fotosintesis, meningkatkan produksi produk sampingan fotosintesis yang langsung digunakan untuk mendorong pertumbuhan tanaman (Majid *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Anhar *et al.*, (2017) juga menunjukkan bahwa ketersediaan nutrisi yang optimal membantu tanaman menyerap nutrisi secara lebih efektif, sehingga mendorong pertumbuhan akar dan meningkatkan efisiensi fotosintesis.

Selain itu, pasokan nutrisi memengaruhi seberapa baik tanaman dapat menyerap air melalui osmoregulasi, yang penting untuk menjaga turgor sel, faktor utama dalam peregangan jaringan. Turgor sel yang lebih tinggi memungkinkan pemanjangan batang yang lebih

baik, sehingga mendorong perkembangan tanaman yang ideal. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas dan konsistensi nutrisi dalam sistem hidroponik sangat penting untuk membantu pertumbuhan ke atas selada merah. Akibatnya, variasi tinggi tanaman yang diamati dalam penelitian ini menunjukkan tingkat kecukupan nutrisi yang diberikan oleh setiap perlakuan dan efisiensinya dalam mendorong pertumbuhan vegetatif.

Luas daun (cm²)

Daun merupakan komponen utama fotosintesis, sehingga luas daun menunjukkan seberapa baik tanaman dapat menghasilkan energi untuk perkembangannya. Tanaman yang diberi perlakuan sensor menunjukkan luas daun yang lebih besar dibandingkan dengan tanaman tanpa sensor, karena pasokan makronutrien utama seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) optimal. Fosfor sangat penting untuk pergerakan energi dan pembelahan sel, sedangkan kalium berperan dalam mengatur stomata dan memproduksi karbohidrat (Fahmi *et al.*, 2022).

Hasil observasi luas daun selada merah dianalisis dengan uji-t tidak berpasangan dan memiliki $T_{hitung} (11,858) > T_{tabel} (2,120)$ sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Oleh karena itu dilakukan uji lanjut SPSS, Didapatkan $p = 0,00 < 0,05$. Hasil yang telah dilakukan menampilkan adanya perbedaan yang signifikan dalam luas daun antara kedua perlakuan pemberian nutrisi.

Perbedaan luas daun tersebut menunjukkan bahwa kecukupan nutrisi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses pembentukan jaringan daun. Ketersediaan unsur hara yang seimbang mampu mendukung pembelahan dan pembesaran sel, sehingga meningkatkan luas permukaan daun secara nyata. Hal ini sejalan dengan kajian fisiologi tanaman yang menyatakan bahwa perkembangan daun akan optimal apabila suplai nitrogen, kalium, dan unsur hara esensial lainnya terpenuhi (Resh, 2013). Dengan demikian, variasi komposisi nutrisi pada setiap perlakuan berperan langsung terhadap perkembangan morfologi daun selada merah.

Selain itu, peningkatan luas daun berkontribusi terhadap meningkatnya kapasitas fotosintesis. Daun dengan permukaan lebih luas

mampu menangkap cahaya secara lebih efisien, sehingga mendukung peningkatan laju fotosintesis dan mempercepat pertumbuhan tanaman. Mekanisme ini sejalan dengan Suhardiyanto *et al.*, (2020) yang melaporkan bahwa pengelolaan nutrisi yang tepat pada sistem hidroponik dapat meningkatkan aktivitas fotosintesis dan akumulasi biomassa. Oleh karena itu, perbedaan luas daun yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan nutrisi merupakan faktor kunci dalam mengoptimalkan pertumbuhan selada merah.

Berat basah (g)

Berat basah tanaman dipengaruhi kandungan air dan akumulasi biomassa. Tanaman pada perlakuan sensor menunjukkan berat basah yang lebih tinggi karena suplai nutrisi yang konsisten meningkatkan metabolisme dan aktivitas fisiologis tanaman. Ketersediaan air dan nutrisi yang stabil menyebabkan tekanan turgor pada sel-sel tanaman tetap optimal, sehingga jaringan tanaman menjadi lebih segar dan berair (Dwianjarhadi *et al.*, 2022). Hasil observasi berat basah selada merah dianalisis dengan uji-t tidak berpasangan dan memiliki $T_{hitung} (12,915) > T_{tabel} (2,120)$ sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Oleh karena itu dilakukan uji lanjut SPSS, Didapatkan $p = 0,00 < 0,05$. Hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada berat basah tanaman selada dalam pemberian nutrisi.

Menurut Syahputra dan Agustina (2021), pemberian nutrisi yang tepat dalam sistem hidroponik dapat meningkatkan penyerapan air dan ion hara secara efisien. Ketersediaan nutrisi yang stabil juga mendukung berbagai proses fisiologis penting, seperti fotosintesis sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Tingkat klorofil yang tinggi meningkatkan efisiensi fotosintesis, sedangkan tingkat klorofil yang rendah dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Fevria *et al.*, 2023). Selain itu, penelitian mengenai budidaya sayuran berdaun hijau dalam lingkungan terkontrol menunjukkan bahwa nutrisi penting seperti nitrogen, kalium, dan magnesium sangat penting untuk meningkatkan massa segar tanaman. Ketiga nutrisi ini memfasilitasi pertumbuhan daun yang lebih cepat, mendukung tekanan turgor, dan

meningkatkan kemampuan fotosintesis, sehingga menghasilkan berat tanaman yang lebih besar.

Berat kering (g)

Berat kering mencerminkan akumulasi biomassa tanpa pengaruh air, sehingga merupakan indikator pertumbuhan aktual. Perlakuan sensor menghasilkan berat kering lebih tinggi karena proses fotosintesis berlangsung pada tingkat optimal akibat kestabilan nutrisi. Hal ini meningkatkan akumulasi karbohidrat yang kemudian disimpan sebagai bahan kering (Fevria *et al.*, 2023). Variasi yang signifikan pada berat kering tanaman selada merah di berbagai perlakuan menunjukkan bahwa pengelolaan nutrisi yang lebih baik dapat menghasilkan produksi biomassa yang lebih besar. Berat kering berfungsi sebagai ukuran penting seberapa cepat tanaman tumbuh dan efektivitas metabolismenya, karena mewakili hasil akhir fotosintesis setelah air dikeluarkan dari jaringan tanaman.

Data pengamatan berat kering tanaman Selada merah dianalisis dengan uji-t tidak berpasangan dan memiliki Thitung (16,605) > Ttabel (2.120) sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Oleh karena itu dilakukan uji lanjut SPSS, didapatkan $p = 0,000 < 0,05$. Hasil uji-t menunjukkan bahwa terdapat perbedaan berat kering tanaman selada merah yang signifikan. Sebagaimana dinyatakan oleh Razak (2021), peningkatan berat kering tanaman sangat dipengaruhi oleh keseimbangan makro dan mikronutrien yang tepat, karena unsur-unsur ini penting untuk pengembangan jaringan struktural dan fungsi metabolisme dasar pada tanaman. Kondisi pertumbuhan yang sesuai akan mendorong perkembangan biomassa dan pertumbuhan daun yang lebih besar pada tanaman seperti selada merah.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis sensor pH dan TDS pada sistem hidroponik memberikan peningkatan yang signifikan terhadap pertumbuhan selada merah (*Lactuca sativa* var. *crispa*) dibandingkan metode manual. Peningkatan ini dilihat pada

parameter tinggi tanaman, luas daun, berat basah, dan berat kering tanaman yang lebih tinggi dari pada sistem otomatis. Teknologi IoT memungkinkan pemberian nutrisi secara real-time dan optimal, sehingga efisiensi dalam pertanian hidroponik dapat tercapai. Selain itu, otomatisasi ini mendukung keberlanjutan sektor pertanian dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar IoT untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian modern, terutama dalam sistem hidroponik yang berorientasi pada efisiensi dan produktivitas.

Sistem hidroponik dengan suplai nutrisi otomatis mampu mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Ketersediaan unsur hara yang teratur dan sesuai kebutuhan fisiologis tanaman mendukung proses pembelahan, pembesaran, serta pemanjangan sel berlangsung lebih efisien, sehingga perkembangan organ tanaman dapat berjalan secara optimal. Di sisi lain, praktik budidaya sayuran organik yang memanfaatkan sumber daya alam dan pupuk organik yang lebih berkelanjutan menjadikan sistem ini dinilai lebih ramah lingkungan (Fevria *et al.*, 2021).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Resti Fevria, S. TP., MP atas bimbingan dan arahan yang diberikan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini. Tak lupa, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh kontributor penelitian.

Referensi

- Anhar, A., Advinda, L., & Hariati, D. (2017). Peningkatan Hasil Cabai Merah (*Capsicum annum* L.) Dengan Penambahan Pupuk Organik Cair Tunica. *SEMIRATA 2017 Bidang Mipa*, 5(3), 2254–2560.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Jumlah Konsumsi dan Produksi Sawi. Bidang Pertanian Hortikultura*. Jakarta: BPS – Statistics Indonesia. Badan Pusat Statistik. bps.go.id
- Agustina, N., Rachmat, H. H., & Syahputra, R. (2021). Sistem Monitoring dan Kontrol IoT Berbasis Android untuk Budidaya

- Tanaman Hidroponik Menggunakan Metode NFT. *Jurnal Inovtek Polbeng - Seri Informatika*, 6(2), 78–86.
<https://doi.org/10.35314/isi.v6i2.1917>
- Dwianjarhadi, B., Yusran, F. H., Salamiah, S., & Akhmad, R. (2022). Penggunaan pupuk organik cair dari limbah sayuran pada budidaya tanaman caisim (*Brassica chinensis* var. *parachinensis*) dengan sistem hidroponik. *EnviroScienceteae*, 18(2), 168–176.
<https://doi.org/10.20527/es.v18i2.14254>
- Fahmi, K., Yusnizar, Y., & Sufardi, S. (2022). Pengaruh Konsentrasi Larutan Hara AB Mix Terhadap Pertumbuhan Sawi Hijau Pada Media Cocopeat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1), 677–686.
<http://10.17969/jimfp.v7i1.19009>
- Fevria, R., Vauzia, V., Farma, S. A., Kardiman, R., & Edwin, E. (2023). The Effect of Eco-Enzyme Spraying on Chlorophyll Content of Hydroponic Lettuce (*Lactuca sativa* L.). In M. Fadilah et al. (Eds.), *IcoBioSE 2021*, ABSR 32 (pp. 297–303).
http://dx.doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1_39
- Fevria, R., Alisiafarma, S., Vauzia, V., Edwin, E., & Purnamasari, D. (2021). Comparison of nutritional content of spinach (*Amaranthus gangeticus* L.) cultivated hydroponically and non-hydroponically. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA (E-ISSN: 2549-7464)*, 22(1), 46–53.
<https://doi.org/10.24036/eksakta/vol22-iss1/243>
- Fevria, R., Vauzia, V., Farma, S. A., & Edwin, E. (2023, May). The effect of EcoEnzyme spraying on chlorophyll content of hydroponic spinach (*Amaranthus* sp.). In *3rd International Conference on Biology, Science and Education (IcoBioSE 2021)* (pp. 127–132). Atlantis Press.
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1_19
- Irwan, A. W., & Wicaksono, F. Y. (2017). Perbandingan pengukuran luas daun kedelai dengan metode gravimetri, regresi dan scanner. *Jurnal kultivasi*, 16(3)
<http://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i3.14448>
- Gupta, A. K., & Johari, R. (2019). *IoT based Electrical Device Surveillance and Control System*. In *Proceedings of the 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)* (pp. 1–5). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2019.8777342>
- Hambali, P. F., W. E. Murdiono, dan Koesriharti. (2018). Pengaruh substitusi AB Mix dengan nutrisi organik kelinci pada pertumbuhan dan hasil tanaman selada merah (*Lactuca sativa* L.) dengan sistem rakit apung. *Jurnal produksi tanaman*. 6(12) : 3096–3105.
<https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/download/1059/1076>
- Lontoh, D. G., Paulus, J. M., Doodoh, B., Rogi, J. E. X., Sompatan, S., & Wanget, S. A. (2024). Pemberian Pupuk Organik Cair Daun Gamal (Poc) Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kailan (*Brassica oleracea* var. *Acephala*). *Eugenia*, 30 (1), 14–21.
<https://doi.org/10.35791/eug.v30i1.57940>
- Majid, M., Khan, J. N., Ahmad Shah, Q. M., Masoodi, K. Z., Afroza, B., & Parvaze, S. (2021). *Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of lettuce (Lactuca sativa L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation. Agricultural Water Management*, 245, Article 106572.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>
- Manalu, D. S. T., & Br Bangun, L. (2020). *Analisis kelayakan finansial selada keriting dengan sistem hidroponik (Studi Kasus PT Cifa Indonesia)*. *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, 1(2), 117–126.
<https://doi.org/10.46575/agrihumanis.v1i2.71>
- Mila Mil'atu Rohmah, Paul Benyamin Timotiwu, Tumiar Katarina B. Manik, Yohannes Cahya Ginting, (2021). Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Pertumbuhan dan Kualitas Selada Merah (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*. Jurusan Agrotek, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

- 9 (1) : 153-159.
<http://10.23960/jat.v9i1.4770>
- Nugroho, W. S. (2015). Penetapan Standar Warna Daun Sebagai Upaya Identifikasi Status Hara (N) Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Regosol. *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 3(1), 8–15. <http://DOI:10.18196/pt.2015.034.8-15>
- Razak, A., Revria, R., & Mutira, S. (2025). Penerapan Kontrol Poc Teknologi Nano Dengan Smartphone Berbasis IoT Di Andalas Hidroponik Farm. *Pelita Eksakta*, 8(01), 45-50.
<http://DOI:10.24036/pelitaeksakta/vol8-iss01/264>
- Razak, A. (2021). *Ekonanobioteknologi: konsep pendekatan pengembangan bidang kajian zoologidan ekologi hewan*. Padang: Universitas Negeri Padang Repository. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/9XJHT>
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th ed.). CRC Press.
- Roidah, I. S. (2014). Pemanfaatan Lahan dengan Menggunakan Sistem Hidroponik. *Jurnal Universitas Tulungagung Bonorowo*, 1(2): 43-49.
<https://doi.org/10.36563/bonorowo.v1i2.14>
- Setiawan, Y., Tanudjaja, H., & Octaviani, S. (2018). Penggunaan internet of things (iot) untuk pemantauan dan pengendalian sistem hidroponik. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 20(2), 175-182.
<http://DOI:10.24912/tesla.v20i2.2994>
- Supriyadi., Dede Martino., dan Elly Indraswari. (2017). *Pengaruh Naungan Terhadap Pertumbuhan Selada Merah (Lactuca sativa L.) Secara Hidroponik Sistem Wick*. *Jurnal Pertanian*. Vol 1(1):1-8.
<https://repository.unja.ac.id/2533/1/artikel%20supriyadi.pdf>
- Suhardiyanto, H., Saptomo, S. K., & Pratama, A. (2020). *Pengaruh variasi konsentrasi nutrisi terhadap pertumbuhan selada pada sistem hidroponik*. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 8(2), 45–52.
<https://doi.org/10.19028/jtep.08.2.45-52>
- Suhardiyanto, H., Purwanto, H., & Santoso, B. (2020). Pengaruh manajemen nutrisi terhadap pertumbuhan tanaman selada pada sistem hidroponik. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(3), 215–223.
<https://doi.org/10.18343/jipi.25.3.215>
- Tazri, M. I., Fevria, R., Vauziah, V., & Razak, A. (2025). Effect of Nanobubble Technology Gamal Leaf POC on Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Quality in Hydroponic. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1446-1451.
<http://doi.org./10.29303/jbt.v25i2.8829>