

# Application of pH and TDS Sensors to Optimize the Growth of Green Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a Hydroponic System

Quratul Aini<sup>1</sup>, Resti Fevria<sup>1,2\*</sup>, Reki Kardiman<sup>1</sup>, Irma Leilani Eka Putri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Biologi, Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

<sup>2</sup>Program Studi Agroteknologi Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia;

## Article History

Received : November 20<sup>th</sup>, 2025

Revised : November 28<sup>th</sup>, 2025

Accepted : December 01<sup>th</sup>, 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](mailto:restifevria@fmipa.unp.ac.id)

**Abstract:** Green lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the leafy vegetables that is widely cultivated because it has a relatively short harvest time and high nutritional value, especially as a source of fiber, vitamin A, and vitamin K. This study aims to improve the growth of green lettuce using a DFT (*Deep Flow Technique*) hydroponic system equipped with IoT-based pH and TDS sensors. This study used a completely randomized design (CRD) with two treatments, namely P1 (50% AB Mix + 50% POC) using pH and TDS sensors and P2 (50% AB Mix + 50% POC) without pH and TDS sensors, each with two replications and nine samples per replication. The results showed that the use of pH and TDS sensors significantly increased plant height (32.44 cm), number of leaves (23.66 strands), leaf area (422.8 cm<sup>2</sup>), wet weight (236.4 g) and dry weight (23.41 g) compared to the manual method. Data analysis using an unpaired t-test at a 5% significance level showed significant differences in most growth parameters. IoT technology has proven effective in increasing the efficiency and productivity of hydroponic systems by providing real-time nutrients according to plant needs. This research supports the development of IoT technology for sustainable agriculture, while also having a positive impact on production efficiency and resource savings.

**Keywords:** Hydroponics, Green Lettuce, pH and TDS sensors, IoT.

## Pendahuluan

Peningkatan pesat populasi global dan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya mengonsumsi sayuran segar telah mendorong kemajuan metode pertanian kontemporer, efektif, dan ramah lingkungan. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa populasi Indonesia diproyeksikan mencapai sekitar 278,696 juta jiwa pada tahun 2023, meningkat menjadi sekitar 281,603 juta jiwa pada tahun 2024 (BPS, 2024). Solusi yang dikenal luas adalah sistem budidaya hidroponik, atau tanpa tanah. Pendekatan ini juga lebih efektif dalam memanfaatkan air, nutrisi, dan ruang untuk tumbuh, sehingga ideal untuk digunakan di

kota-kota padat penduduk dan wilayah dengan ketersediaan lahan terbatas (Widodo *et al.*, 2021).

Hidroponik memberikan banyak manfaat, termasuk budidaya berkelanjutan, peningkatan kualitas produk, kebersihan tanaman terjamin, pemupukan yang lebih efektif, pertanian bebas pestisida, dan pengurangan kebutuhan tenaga kerja (Fevria, 2021). Pertanian hidroponik didefinisikan oleh pemanfaatan ruang terbatas, metodologi pertanian kontemporer atau intensif, ketersediaan wawasan pasar, dan peningkatan efisiensi produksi, lahan, dan ruang melalui bantuan teknologi (Fevria *et al.*, 2023). Hidroponik adalah teknik budidaya yang menggunakan air sebagai media pertumbuhan.

Hidroponik dapat diterapkan di lahan kecil dan menghasilkan hasil yang signifikan. Pertanian hidroponik harus diadopsi untuk menghasilkan pangan yang melimpah demi ketahanan pangan jangka panjang, terutama di wilayah perkotaan (Fevria *et al.*, 2023).

Metode hidroponik yang umum digunakan adalah Teknik Aliran Dalam (DFT). Metode ini menggunakan larutan nutrisi tanaman yang bersirkulasi dalam sistem tertutup. Pompa air menarik campuran nutrisi dari wadah penyimpanannya dan memindahkannya melalui jaringan pipa ke wadah tanaman, kemudian campuran nutrisi dari wadah tanaman dikembalikan ke wadah penyimpanan menggunakan pompa. Kedalaman air sekitar 4 hingga 6 cm. Pompa akan terus-menerus mengalirkan air, yang mengandung nutrisi penting bagi tanaman. Salah satu manfaat teknik aliran dalam adalah ketersediaan cairan kaya nutrisi yang konsisten, yang menjamin tanaman tetap terhidrasi bahkan ketika listrik padam berkat pasokan nutrisi yang tersimpan di dalam pompa. Salah satu kelemahan teknik aliran dalam adalah pemanfaatan nutrisi yang kurang efektif, dan berpotensi menjadi tempat berkembang biaknya nyamuk jika pemeriksaan rutin dan perawatan tabung diabaikan (Harsono, 2020).

Selada hijau (*Lactuca sativa*) adalah sayuran berdaun yang dibudidayakan secara luas karena masa panennya yang relatif singkat dan manfaat nutrisinya yang signifikan, terutama sebagai sumber serat, vitamin A, dan vitamin K. Sebagai tanaman hortikultura, selada hijau sangat cocok ditanam dengan sistem hidroponik; tanaman selada hijau (*Lactuca sativa*) termasuk komoditas hortikultura dengan siklus pertumbuhan yang relatif pendek namun memiliki nilai ekonomi yang cukup besar, karena cukup sensitif terhadap perubahan kecil dalam larutan nutrisi. pH ideal untuk menanam selada berkisar antara 5,5 dan 6,5, dan kadar TDS terbaik berkisar antara 800-1200 ppm, yang dapat bervariasi tergantung pada tahap pertumbuhan tanaman (Gunawan & Arifianto, 2022).

Pupuk sintetis, AB-mix, mudah didapatkan di pasaran dan dikenal efektif serta mampu memasok nutrisi makro dan mikro penting bagi tanaman. Namun, penggunaan AB-mix juga memiliki berbagai kekurangan. Selain

harganya yang agak mahal, ada kekhawatiran bahwa bahan-bahan kimia yang terkandung dalam makanan nabati ini dapat menimbulkan konsekuensi yang tidak menguntungkan bagi lingkungan ekologis dan kesejahteraan pribadi jika penggunaannya terus berlanjut dalam jangka waktu yang panjang. Alternatifnya adalah menggunakan pupuk organik sebagai pengganti pupuk sintetis, yang menawarkan pilihan nutrisi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pupuk organik cair (POC) merupakan jenis pupuk organik dengan potensi signifikan untuk diaplikasikan dalam sistem hidroponik. POC diproduksi melalui fermentasi bahan-bahan alami seperti kompos, sampah organik, dan air, menghasilkan cairan padat nutrisi yang secara alami dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman (Masluki *et al.*, 2015).

Penelitian ini menggunakan Pupuk Organik Cair (POC) yang bersumber dari daun gamal untuk menyediakan nutrisi. Komposisi nutrisi daun gamal sangat melimpah, dengan kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium yang substansial. Berkat kadar nitrogennya yang mencapai 3,09%, daun gamal sangat cocok untuk mendorong perkembangan daun pada tanaman seperti selada. Studi (Tazri *et al.*, 2025) menunjukkan bahwa pemanfaatan POC yang berasal dari daun gamal menguntungkan karena kandungan nitrogennya yang tinggi dan nutrisi penting lainnya yang diperlukan untuk perkembangan tanaman. Kandungan nutrisi POC daun gamal, baik makro maupun mikro, mudah diserap tanaman karena bentuknya yang terurai, terbukti lebih efisien daripada pupuk kimia sintetis (Sihotang *et al.*, 2013).

Salah satu teknologi yang dapat meningkatkan efektivitas larutan nutrisi adalah teknologi nanobubble. Teknologi nanobubble berfokus pada manipulasi zat, material, dan sistem pada dimensi nanometer, dengan tujuan mengembangkan kemampuan baru yang sebelumnya tidak dapat dicapai dalam skala yang lebih besar. Sebagai ilustrasi, satu nanometer berukuran  $1 \times 10^{-9}$  meter, mewakili sepersepjuta meter; sebagai perbandingan, nanometer kira-kira 50.000 kali lebih kecil daripada sehelai rambut manusia (Razak, 2021).

Teknologi nanobubble memanfaatkan gelembung-gelembung dengan diameter di bawah 200 nanometer, yang mempertahankan

tingkat oksigen terlarut yang konsisten dalam cairan, sehingga memungkinkan gelembung-gelembung tersebut bertahan dalam jangka waktu yang lama. Telah didokumentasikan bahwa gelembung-gelembung dengan ukuran lebih kecil dari 100 mikrometer dapat bertahan di lingkungan air selama berminggu-minggu (Azevedo *et al.*, 2016). Selain mempertahankan kadar oksigen terlarut, teknologi ini memberikan beberapa keuntungan tambahan, termasuk melindungi tanaman dari hama dan penyakit serta mendorong pertumbuhan tanaman yang ideal. Teknologi nanobubble membantu menghilangkan pengotor yang terdapat dalam tanah dan air, memperpanjang kesegaran sayuran yang dipanen, meningkatkan volume dan atribut unggulan hasil pertanian, serta meningkatkan efektivitas ekonomi secara keseluruhan (Ariningsih, 2016).

Praktik pertanian hidroponik menghadapi berbagai kendala, terutama terkait teknik manual yang digunakan untuk pemberian nutrisi. Umumnya, petani mengandalkan alat ukur TDS (*Total Dissolved Solids*) untuk mengukur konsentrasi nutrisi dalam larutan, sehingga memerlukan koreksi yang sering untuk mempertahankan kadar optimal. Selain itu, pH meter digunakan untuk memantau kadar keasaman dan alkalinitas dalam nutrisi hidroponik. Prosedur manual kurang efisien karena membutuhkan waktu dan upaya yang lebih besar (Adidrana dkk., 2019). Untuk mengatasi masalah ini, inovasi melalui otomatisasi berbasis IoT (*Internet of Things*) menghadirkan solusi yang menjanjikan.

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT), seperti sensor pH dan TDS, dalam sistem hidroponik telah mengubah cara petani mengamati dan mengendalikan tanaman mereka. Petani dapat memperoleh data dari jarak jauh melalui sensor yang terhubung ke platform atau aplikasi daring, seperti Blynk. Pemanfaatan IoT dapat meningkatkan presisi pemantauan, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta meminimalkan keterlibatan manual, sehingga menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk pertanian, terutama di tingkat rumah tangga atau usaha kecil (Faisal *et al.*, 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan POC teknologi nano dengan sensor pH dan TDS lalu

dibandingkan dengan tanpa penggunaan alat sensor pH dan TDS untuk mengoptimalkan tanaman selada pada sistem hidroponik. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan peningkatan efisiensi dan produktivitas budidaya hidroponik, terkhusus pada pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, berat basah, dan berat kering tanaman. Selain itu penggunaan POC teknologi nano dengan alat sensor ini diharapkan terjadi peningkatan yang lebih baik pada hasil pertanian dan pengurangan biaya produksi, terkhusus bagi petani hidroponik.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlangsung dari bulan Juli hingga Desember di SMK Pertanian Pembangunan Negeri Padang, Jl Pertanian Lubuk Minturun, Kec. Koto Tangah, Kota Padang, Prov. Sumatera Barat. dan dilaboratorium Penelitian Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

### Alat dan Bahan

Alat penelitian ini adalah net pot, sistem DFT (*Deep Flim Engineering*), lidi, baki, sensor pH, TDS, penggaris, oven, gunting, kamera, alat tulis, kertas label, timbangan digital, kertas HVS, kertas Koran. Bahan penelitian ini yaitu nutrisi hidroponik AB Mix, larutan POC daun gamal, benih tanaman, selada hijau, rockwool, dan air.

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 2 perlakuan tanaman selada hijau dan 9 ulangan, yaitu :

1. P1 : Dengan sensor, 50 % AB Mix + 50 % POC
2. P2 : Tanpa sensor, 50 % AB Mix + 50 % POC

### Parameter Penelitian

#### Tinggi tanaman (cm)

Pada akhir penelitian, ketika tanaman mencapai 6 minggu setelah tanam (WAP), salah satu titik data yang dikumpulkan adalah tinggi tanaman selada hijau. Pengukuran ini dilakukan

dengan menggunakan penggaris, dimulai dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi.

#### Jumlah daun

Jumlah daun selada hijau diambil dari daun yang telah matang sempurna, terutama ketika tanaman berusia 6 minggu setelah tanam (mts).

#### Luas daun (cm<sup>2</sup>)

6 minggu pasca tanam, luas daun ditentukan melalui prosedur penimbangan, menggunakan rumus yang diberikan untuk semua daun kecuali pasangan daun pertama yang muncul selama fase perkecambahan. Luas daun dapat diperkirakan melalui pendekatan gravimetri dengan menggunakan persamaan 1.

$$\text{Luas Daun} = \frac{\text{berat daun} \times \text{luas kertas}}{\text{berat kertas}} \quad (1)$$

#### Berat basah (g)

Berat total tanaman saat masih basah diukur enam minggu setelah dimulainya penanaman dengan menimbang setiap bagian, termasuk akar, batang, dan juga daun.

#### Berat kering (g)

Berat kering diukur dengan menimbang semua bagian tumbuhan, termasuk akar, batang, dan daun, pada minggu ke-6 setelah penanaman di dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam sampai beratnya stabil.

#### Teknik Analisis Data

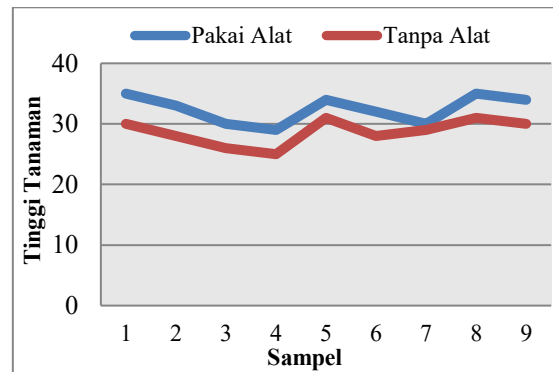
Data hasil pengamatan didapatkan melalui analisis uji-t tidak berpasangan (*Independent t-test*) pada aplikasi SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) dengan tariff nyata 5%.

### Hasil dan Pembahasan

#### Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman merupakan salah satu ukuran penting untuk menilai kemampuannya dalam menyerap nutrisi dengan baik. Ukuran ini juga menunjukkan ketersediaan nutrisi yang cukup untuk mendukung perkembangan tanaman (Mukhtar *et al.*, 2018). Pertumbuhan tinggi tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan makronutrien, termasuk nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nutrisi-nutrisi ini sangat diperlukan untuk mendukung fungsi

fisiologis dan metabolisme tanaman, yang berdampak besar pada perkembangan batang dan daun (Nugraha, 2015).

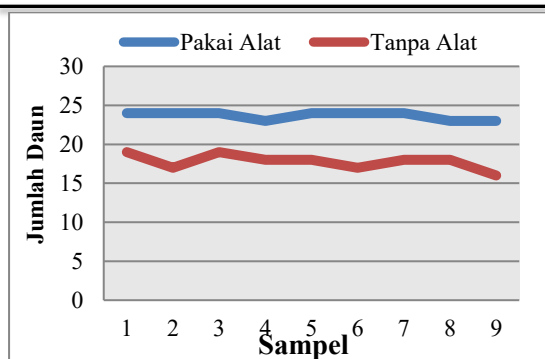


Gambar 1. Perbedaan tinggi tanaman selada hijau

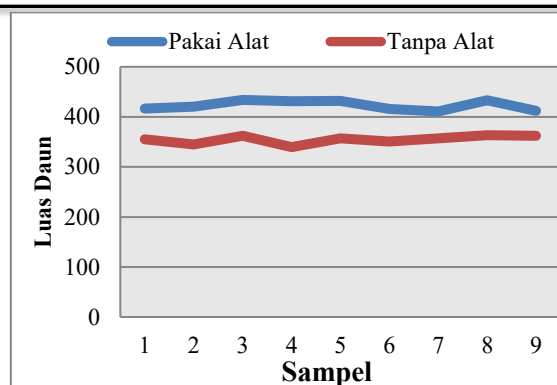
Data observasi tinggi tanaman selada hijau diperiksa menggunakan uji-t tak berpasangan. Analisis menunjukkan bahwa nilai  $T_{hitung}$  (3,624) melebihi nilai  $T_{tabel}$  (2,120), yang menyebabkan penolakan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan penerimaan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) (Gambar 1). Analisis selanjutnya menggunakan SPSS menghasilkan nilai ( $p = 0,002 < 0,05$ ), yang menunjukkan perbedaan yang signifikan pada tinggi tanaman selada hijau. Peningkatan tinggi tanaman disebabkan pengaruh signifikan penggunaan alat terhadap tinggi tanaman selada hijau. Selain itu, penggunaan alat ini dapat meningkatkan efisiensi distribusi dan pengaturan nutrisi, sehingga mendorong pertumbuhan tanaman yang optimal. Penggunaan alat ini dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman vegetatif dengan meningkatkan akses air dan nutrisi (Arifin dan Hadi, 2017).

#### Jumlah daun

Jumlah daun merupakan aspek agronomi yang berkaitan dengan struktur tanaman yang terbentuk dari cabang-cabang. Biasanya, daun berwarna hijau dan berfungsi menyerap energi sinar matahari, membantu proses fotosintesis (Wiguna *et al.*, 2017). Daun berperan penting dalam fotosintesis karena keberadaan klorofil. Klorofil ini berperan aktif dalam fotosintesis, mengubah zat anorganik menjadi asimilat (senyawa organik) dengan bantuan energi sinar matahari (Vauzia *et al.*, 2019).



**Gambar 2.** Perbedaan jumlah daun tanaman selada hijau



**Gambar 3.** Perbedaan luas daun tanaman selada hijau

Uji-t tak berpasangan digunakan untuk menganalisis data jumlah daun yang diperoleh dari pengamatan tanaman selada hijau. Hasilnya menunjukkan nilai  $T_{hitung}$  sebesar 16,165, melampaui nilai  $T_{tabel}$  sebesar 2,120, sehingga mendorong kami untuk menolak hipotesis nol ( $H_0$ ) dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ) (seperti yang digambarkan pada Gambar 2). Lebih lanjut, penelitian lebih lanjut menggunakan SPSS menunjukkan nilai  $p$  sebesar 0,000, yang kurang dari 0,05, yang menyiratkan bahwa penerapan alat tersebut secara substansial meningkatkan jumlah daun pada tanaman selada hijau. Jumlah daun pada tanaman menunjukkan ketersediaan nutrisi yang melimpah seperti natrium, fosfor, magnesium, sulfur, dan besi, yang semuanya kondusif untuk perkembangan daun yang lebih baik. Lebih lanjut, konsentrasi nitrogen yang substansial secara signifikan memfasilitasi sintesis klorofil, komponen penting untuk fotosintesis (Violita, 2017).

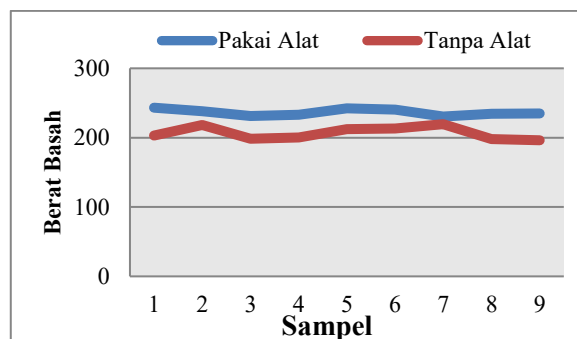
### Luas Daun

Daun, sebagai komponen fundamental tumbuhan, sangat penting bagi proses fotosintesis karena mengandung klorofil. Klorofil berperan penting dalam memungkinkan fotosintesis melalui asimilasi bahan anorganik menjadi zat organik, yang ditenagai oleh energi matahari (Vauzia *et al.*, 2019). Fotosintesis sangat penting untuk memastikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang sehat. Ketika tumbuhan memiliki banyak klorofil, fotosintesis akan berjalan dengan baik. Di sisi lain, kadar klorofil yang rendah atau tidak memadai dapat menghambat fotosintesis yang efektif, yang dapat memengaruhi perkembangan tanaman secara keseluruhan (Fevria *et al.*, 2023).

Data observasi luas daun pada tanaman selada hijau diperiksa menggunakan uji-t tak berpasangan. Analisis menunjukkan bahwa nilai  $T_{hitung}$  (16,141) melebihi nilai  $T_{tabel}$  (2,120), yang menyebabkan  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima (Gambar 3). Oleh karena itu, analisis tambahan menggunakan SPSS dilakukan, menghasilkan nilai ( $p = 0,000 < 0,05$ ), yang menunjukkan bahwa penerapan alat ini memberikan efek positif terhadap perluasan area. Semakin lebar daun selada hijau, semakin efektif mereka menangkap sinar matahari untuk memfasilitasi fotosintesis.

### Berat basah

Jumlah bahan tanaman yang tertelan lebih besar disebabkan oleh konsentrasi klorofil yang tinggi; konsentrasi ini memfasilitasi proses fotosintesis, meningkatkan akumulasi simpanan nutrisi, dan dapat memengaruhi massa keseluruhan tanaman yang dimakan. Spesies ini mampu tumbuh subur di lingkungan yang dicirikan oleh kelembapan dan suhu yang lebih rendah, baik di wilayah dataran rendah maupun dataran tinggi (Asprillia *et al.*, 2018).



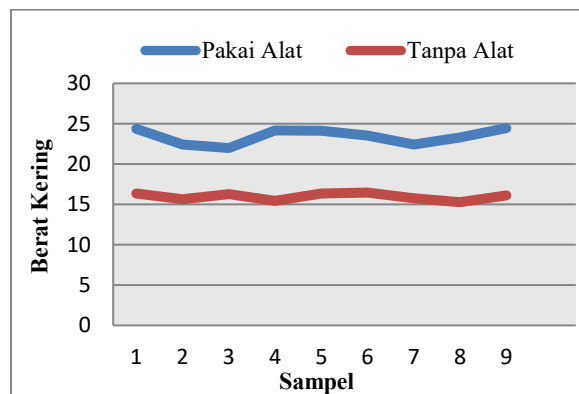
**Gambar 4.** Perbedaan berat basah tanaman selada hijau



Data observasi berat segar tanaman selada hijau dievaluasi menggunakan uji-t tak berpasangan. Analisis menunjukkan bahwa nilai  $T_{hitung}$  (8,636) melebihi nilai  $T_{tabel}$  (2,120), yang menyebabkan  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Hasilnya, pemeriksaan lebih lanjut yang dilakukan dengan SPSS menghasilkan nilai ( $p = 0,000 < 0,05$ ), yang menunjukkan dampak signifikan terhadap berat segar tanaman selada hijau. Hasil ini konsisten dengan sebuah studi (Hasanah *et al.*, 2020), yang mengungkapkan bahwa pemberian nutrisi, air, dan faktor lingkungan yang sesuai dapat meningkatkan berat segar tanaman.

### Berat Kering (g)

Berat kering tanaman dihasilkan dari penggunaan berbagai bahan organik, termasuk karbohidrat, protein, vitamin, dan senyawa lainnya selama pertumbuhannya. Data observasi mengenai berat kering tanaman selada hijau dievaluasi menggunakan uji-t tak berpasangan. Analisis menunjukkan bahwa nilai  $T_{hitung}$  (21,554)  $> T_{tabel}$  (2,120), yang menyebabkan  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Akibatnya, pengujian tambahan dengan SPSS menghasilkan nilai ( $p = 0,000 < 0,05$ ), yang mencerminkan pengaruh signifikan terhadap berat kering tanaman selada hijau.



Gambar 5. Perbedaan berat kering tanaman selada hijau

Penyerapan hara yang efisien oleh akar tanaman mendorong perkembangan akar dan meningkatkan kinerja fotosintesis (Anhar *et al.*, 2017). Interaksi kedua unsur ini akan meningkatkan berat kering tanaman. Penelitian ini mengotomatiskan proses pemberian hara tanaman dengan memanfaatkan pupuk organik

cair berbahan dasar daun gamal yang diolah dengan teknologi nanobubble. Teknologi gelembung nano ini menghasilkan partikel berukuran nano yang diyakini memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga meningkatkan kapasitasnya untuk melarutkan dan menyerap nutrisi.

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor pH dan TDS berbasis IoT sangat meningkatkan pertumbuhan dan hasil selada hijau (*Lactuca sativa* L.) dalam sistem hidroponik. Penggunaan sensor ini berdampak positif terhadap beberapa metrik pertumbuhan, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, berat segar, dan berat kering. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penggunaan sensor IoT untuk otomatisasi dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dengan meningkatkan ketersediaan makronutrien esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu, teknologi ini memudahkan pemantauan serta pengelolaan nutrisi secara real-time, sehingga tanaman dapat memperoleh nutrisi dalam jumlah yang optimal. Dengan demikian, penerapan teknologi IoT dalam hidroponik menjadi solusi inovatif yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan serta mengoptimalkan efektivitas dan efisiensi budidaya hidroponik dibandingkan dengan metode manual.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing ibuk Dr. Resti Fevria, S.TP., MP atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi. Terima kasih juga kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam mendukung kelancaran penelitian.

### Referensi

- Adidrana, D., & Surantha, N. (2019). Hydroponic Nutrient Control System based on Internet of Things and K-Nearest

- Neighbors. In 2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA). 1(1):166-171). <https://doi.org/10.1109/IC3INA48034.2019.8949585>
- 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. <https://jurnalfkip.unram.ac.id/index.php/SEMNASBIO/article/view/628>
- Ariningsih, E. (2016). Prospek Penerapan Teknologi Nano dalam Pertanian dan Pengolahan Pangan di Indonesia. Forum Penelitian Agro Ekonomi, 34(1): 1- 20. <https://media.neliti.com/media/publication/s/63029-none-8cfd419.pdf>
- Asprillia, S. V., Darmawati, A., dan Slamet, W. (2018). Pertumbuhan Produksi Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Organik. Journal Of Agro Complex. 2(1). 86-92. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/joa/article/view/1822>
- Azevedo, A., Etchepare, R., Calgaroto, S., & Rubio, J. (2016). Aqueous Dispersions of Nanobubbles: Generation, Properties and Features. Minerals Engineering, 94(2), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.05.001>
- Badan Pusat Statistik (2024). Data Jumlah Penduduk Indonesia. Jakarta: BPS - Statistics Indonesia. Bapan Pusat Statistik. bps.go.id. <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/02/28/c1bacde03256343b2bf769b0/statistik-indonesia-2024.html>
- Faisal, M., Bachtiar, A. N., & Darwis, M. (2025). IoT implementation for hydroponic water monitoring using web-based pH and TDS sensors with Node-Red. JISA (Jurnal Informatika dan Sains), 8(1), 81-91. <https://www.researchgate.net/publication/393456409>
- Fevria, R., Aliciafarma, S., Vauzia, & Edwin. (2021). Comparison of Nutritional Content of Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) Cultivated Hydroponically and Non-Hydroponically. Journal of Physics: Conference Series, 1940(1), 012049.
- Fevria, R., dkk. (2021). Comparison of Nutritional Content of Spinach (*Amaranthus gangeticus* L.) Cultivated Hydroponically and Non-Hydroponically. Eksakta. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol21-iss2/243>
- Fevria, R., Razak, A., Heldi, Syah, N., Kamal, E., & Edwin. (2023). Application of nanotechnology liquid organic fertilizer in sustainable hydroponic cultivation for urban food security. Science & Technology Asia, 28(4), 295–304. <https://ph02.tcithaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/250787>
- 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](http://dx.doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1_39)
- Gunawan, R., & Arifianto, M. (2022). Respon selada terhadap variasi konsentrasi TDS pada sistem NFT. *Jurnal Teknologi Pertanian Modern*, 10(3), 221–229.
- Harsono, B. (2020). Sistem Hidroponik Berbasis Internet Of Things. Dielektrika, 7(2), 82. <https://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/240>
- Hasanah, N., Supriatna, J., & Haryono, B. (2020). Efek pupuk organik cair terhadap berat basah dan kering tanaman sawi hijau. *Jurnal Agroekoteknologi*, 10(3), 142-150.
- Masluki., Naim, M., & Mutmainnah. 2015. Pemanfaatan pupuk organik cair (POC) pada lahan sawah melalui sistem mina padi. Prosiding Seminar Nasional. 2(1): 866-896. [https://www.academia.edu/84752550/Pemanfaatan\\_Pupuk\\_Organik\\_Cair\\_Poc\\_Pada\\_Lahan\\_Sawah\\_Melalui\\_Sistem\\_Mina\\_Padi](https://www.academia.edu/84752550/Pemanfaatan_Pupuk_Organik_Cair_Poc_Pada_Lahan_Sawah_Melalui_Sistem_Mina_Padi)
- Mukhtar, M., Djunu, S. S., & Widiantera, I. W. G. A. (2018). Pemberian Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan, Produksi Biomasa Pada Beberapa Varietas Jagung

- Hibrida (Zea Mays). *Jambura Journal of Animal Science*, 1(1), 18-23.  
<https://doi.org/10.35900/jjas.v1i1.2601>
- Nugroho, W. S. (2015). Penetapan standar warna daun sebagai upaya identifikasi status hara (N) tanaman jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Regosol. *Planta Tropika*, 3(1), 8-15.  
<https://doi.org/10.18196/pt.2015.034.8-15>
- Razak, A. (2021). Ekonanobioteknologi: konsep pendekatan pengembangan bidang kajian zoologidan ekologi hewan. \_\_Padang: Universitas Negeri Padang Repository.
- Sihotang, R. H., D. Zulfitra, dan A.M. Sirojul. (2013). Pengaruh Pupuk Organik Cair Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau Pada Tanah Aluvial. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*, 2(1): 1-10.  
<https://doi.org/10.26418/jspe.v2i1.2395>
- Tazri, MI, Fevria, R., Vauzia, V., & Razak, A. (2025). Pengaruh Teknologi Nanobubble POC Daun Gamal Terhadap Mutu Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Dalam Hidroponik. *Jurnal Biologi Tropis*, 25 (2), 1446-1451.
- Vauzia, V., Fevria, R., & Wijaya, Y. T. (2019). Chlorophyll Content of Jabon Leaves (*Anthocephalus cadamba* [Roxb] Miq.) in the Sungai Nyalo, Pesisir Selatan and Lubuk Alung, Padang Pariaman. 155. *Bioscience*, 3(2),  
<https://doi.org/10.24036/0201932106049-0-00>
- Violita. (2017). Efisiensi Penggunaan Nitrogen (Nue) Dan Resorpsi Nitrogen Pada Hutan Taman Nasional Bukit Duabelas Dan Perkebunan Kelapa Sawit Di Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. *Bioscience*, 1(1), 8-17.
- Widodo, S., Arum, R. H., & Wicaksono, D. (2021). Efektivitas sistem NFT dalam budidaya selada hijau di lahan sempit. *Jurnal Hortikultura Tropika*, 5(2), 101–109.
- Wiguna, I. K. W., Wijaya, I. M. A. S., & Nada, I. M. (2017). Pertumbuhan tanaman krisan. (*Crhysantemum*) dengan berbagai penambahan warna cahaya lampu LED selama 30 hari pada fase vegetatif. *BETA (Biosistem dan Tek. Pertanian)*, 3(2), 1-11.  
<https://repositori.unud.ac.id/protected/storage/upload/repositori/75ea3d908586888ea862d696977e26bd.pdf>