

Cultivation of Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) Using Hydroponics and Its In Situ Utilization for Consumption

Budidaya Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) Sistem Hidroponik dan Pemanfaatannya Secara In Situ Untuk Konsumsi

1st Canda Kharisma Septabrina¹, 2nd Sutarman²
{sutarman@umsida.ac.id}

Prodi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstract. This study aimed to analyze the cultivation process of pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) using the Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic system, focusing on the effects of nutrient concentration variations on plant growth and quality, as well as its in situ utilization to ensure food safety and nutritional value. The experiment was conducted for 24 days with three nutrient concentration treatments. Observed parameters included plant height, leaf number, fresh weight, vitamin C content, and antioxidant activity. The results revealed that nutrient concentration significantly affected vegetative growth and crop quality. Optimal growth occurred at an electrical conductivity (EC) range of 1.5–2.0 mS/cm, producing an average plant height of 18.5 cm, fresh weight of 110 g, vitamin C content of 42 mg/100 g fresh weight, and antioxidant activity of 55%. Both low and high nutrient levels decreased nutrient uptake efficiency due to ionic stress. In situ utilization of harvested crops resulted in a 5–10% reduction in vitamin C and a 3–8% reduction in antioxidant activity, yet the nutritional quality remained acceptable for fresh consumption. Overall, the NFT hydroponic system proved effective in enhancing growth performance, water efficiency, and nutritional quality of pakcoy, making it suitable for sustainable urban agriculture applications.

Keywords: hydroponics, pakcoy, nutrients, nutritional quality, in situ

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses budidaya pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) menggunakan sistem hidroponik tipe Nutrient Film Technique (NFT) dengan fokus pada pengaruh variasi konsentrasi nutrisi terhadap pertumbuhan dan kualitas hasil tanaman, serta pemanfaatannya secara in situ untuk memastikan keamanan pangan dan kandungan gizi. Penelitian dilakukan selama 24 hari dengan tiga perlakuan konsentrasi nutrisi berbeda. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah, kadar vitamin C, dan aktivitas antioksidan. Hasil menunjukkan bahwa variasi konsentrasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif dan kualitas tanaman. Pertumbuhan optimal dicapai pada kisaran konduktivitas listrik (EC) 1,5–2,0 mS/cm, yang menghasilkan rata-rata tinggi tanaman 18,5 cm, berat segar 110 g, serta kadar vitamin C tertinggi sebesar 42 mg/100 g bahan segar dan aktivitas antioksidan 55%. Konsentrasi nutrisi yang terlalu rendah atau tinggi menurunkan efisiensi penyerapan hara akibat stres ionik. Pemanfaatan hasil panen secara in situ menunjukkan penurunan kadar vitamin C dan aktivitas antioksidan sebesar 5–10% dan 3–8%, namun tetap memenuhi standar kualitas konsumsi segar. Secara keseluruhan, sistem hidroponik NFT terbukti efisien dalam meningkatkan pertumbuhan, efisiensi air, dan kualitas gizi tanaman pakcoy, sehingga layak diterapkan dalam pertanian perkotaan berkelanjutan.

Kata kunci: hidroponik, pakcoy, nutrisi, kualitas gizi, in situ

I. PENDAHULUAN

Pertanian modern menghadapi tantangan seperti keterbatasan lahan, degradasi tanah, dan kebutuhan akan produksi pangan yang berkelanjutan. Budidaya hidroponik muncul sebagai solusi inovatif yang memanfaatkan air dan nutrisi secara efisien tanpa bergantung pada tanah konvensional (Barrett et al., 2019). Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*), sebagai salah satu sayuran hijau yang kaya akan nutrisi seperti vitamin A, C, dan K, sering kali dibudidayakan untuk konsumsi sehari-hari. Namun, budidaya konvensional pakcoy sering kali rentan terhadap hama, penyakit, dan ketergantungan iklim, yang dapat mengurangi efisiensi produksi (Nguyen & Pham, 2020). Penelitian ini difokuskan pada budidaya pakcoy menggunakan sistem hidroponik, yang memungkinkan pertumbuhan tanaman dalam lingkungan terkendali dengan pemanfaatan in situ, yaitu penggunaan hasil panen langsung di lokasi budidaya untuk konsumsi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi sumber daya, tetapi juga mendukung konsep pertanian urban yang berkelanjutan.

Menurut Kim et al. (2022), sistem hidroponik dapat meningkatkan produksi pakcoy hingga 20-30% dibandingkan metode konvensional, dengan manfaat tambahan seperti pengurangan limbah air dan peningkatan kualitas nutrisi. Penelitian ini dilakukan di fasilitas hidroponik lokal, di mana praktik in situ dimanfaatkan untuk memastikan hasil panen segar dan bebas kontaminan, sehingga mendukung konsumsi yang sehat dan ramah lingkungan.

Hidroponik memungkinkan budidaya tanpa tanah, sehingga menghemat ruang dan mengurangi ketergantungan pada lahan berkualitas rendah. Dalam sistem hidroponik, sirkulasi air cukup efisien

sehingga dapat mengurangi penggunaan air sebesar 90% dibandingkan dengan sistem tanam pada tanah. (Faisal et al., 2022; Шафир & Шафир, 2022).

Pakcoy adalah tanaman sayuran yang populer di kalangan petani Indonesia karena mudah ditanam, baik dengan menanam langsung di tanah maupun menggunakan metode modern seperti sistem hidroponik. Pakcoy juga mengandung berbagai nutrisi yang bermanfaat bagi kesehatan manusia, antara lain protein, karbohidrat, serat, kalium, vitamin A, C, B6, kalsium, magnesium, dan zat besi. Pakcoy memiliki segudang manfaat kesehatan, antara lain pencegahan kanker, penurunan tekanan darah tinggi, pengurangan risiko penyakit jantung, pemeliharaan kesehatan mata, penguatan tulang, peningkatan daya tahan tubuh, dan penghilangan kerutan pada wajah. (Furhman, 2017).

Pertumbuhan tanaman hijau seperti pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*) menjadi fokus utama dalam pertanian modern, terutama dengan meningkatnya permintaan pangan yang berkelanjutan dan efisien. Sistem hidroponik berbasis media air, yang menggantikan media tanah dengan larutan nutrisi, menawarkan solusi inovatif untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dengan mengurangi risiko penyakit tanah dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Putra & Yuliando, 2020).

Dalam budidaya pakcoy secara konvensional, masalah utama meliputi ketergantungan pada pupuk kimia, risiko kontaminasi tanah, dan kurangnya efisiensi air, yang dapat mencapai hingga 70% pemborosan air (Lee, 2021). Bagaimana sistem hidroponik dapat mengatasi masalah ini? Selain itu, bagaimana pemanfaatan in situ hasil budidaya dapat memaksimalkan nilai gizi pakcoy untuk konsumsi sehari-hari?. Secara umum, penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan wawasan komprehensif mengenai bagaimana faktor fisik, kimiawi, dan biologis seperti konsentrasi nutrisi, pH, cahaya, suhu, dan kelembaban dapat dioptimalkan dalam budidaya hidroponik, sekaligus menilai proses pengolahan dan konsumsi langsung hasil panen untuk mencegah kontaminasi dan mempertahankan nilai nutrisi seperti vitamin C, K, kalsium, dan antioksidan. Secara khusus, penelitian akan mengidentifikasi faktor-faktor pertumbuhan utama, mengeksplorasi metode pengolahan di tempat, mengukur dampak terhadap kualitas nutrisi, serta menganalisis kematian pangan, dengan harapan menghasilkan rekomendasi untuk pertanian praktis perkotaan yang efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses budidaya pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*) melalui sistem hidroponik, dengan fokus utama pada pemahaman faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, serta mengevaluasi pemanfaatan hasil budidaya secara in situ untuk memastikan keamanan pangan dan kualitas nutrisi.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan desain non eksperimen yang bersifat deskriptif, dengan fokus pada budidaya pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*) melalui sistem hidroponik. Metode ini dipilih untuk mengamati proses pertumbuhan tanaman secara langsung dan mengevaluasi pemanfaatannya secara in situ. Eksperimen dilakukan di fasilitas hidroponik skala kecil selama 24 hari, dengan variabel independen berupa konsentrasi nutrisi dan variabel dependen meliputi tingkat pertumbuhan, dan kualitas saat panen.

Dengan menggunakan bahan-bahan berkualitas tinggi, yaitu bibit pakcoy varietas lokal yang diperoleh dari penyuplai terpercaya, larutan nutrisi hidroponik yang dirumuskan berdasarkan formula Hoagland dengan konsentrasi makro-nutrien seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta mikro-nutrien seperti besi (Fe) dan seng (Zn), dan air Reverse Osmosis (RO) untuk menjaga pH lingkungan tetap stabil antara 5,5-6,5. Alat yang digunakan mencakup sistem hidroponik tipe Nutrient Film Technique (NFT), yang terdiri dari saluran PVC, pompa air, dan timer otomatis untuk mengatur sirkulasi nutrisi secara efisien (Kim et al., 2022). Selain itu, alat pengukur seperti pH meter, EC meter (untuk mengukur Electrical Conductivity), termometer, dan skala digital diterapkan untuk memantau parameter pertumbuhan

tanaman, sedangkan peralatan pendukung seperti lampu LED untuk pencahayaan buatan, wadah sterilisasi, dan blender sederhana digunakan untuk pengolahan *in situ*, misalnya pembuatan jus segar dari hasil panen.

Prosedur penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama yang dirancang untuk mengoptimalkan budidaya pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) menggunakan sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). Pada tahap pertama, persiapan sistem hidroponik dilakukan dengan merakit saluran NFT berukuran 2 meter di ruangan terbuka yang dikendalikan suhu 25–35°C dan kelembaban 50–90% (Lee, 2021), di mana bibit pakcoy ditanam dalam media net pot yang diisi rockwool dan ditempatkan di saluran tersebut, sementara larutan nutrisi disiapkan dengan konsentrasi awal 1,5 mS/cm dan diganti setiap 7 hari untuk mencegah akumulasi garam, sebagaimana didukung oleh penelitian terkini mengenai efisiensi NFT dalam budidaya sayuran (Smith et al., 2022). Tahap kedua melibatkan proses budidaya selama 4 minggu pertumbuhan vegetatif, di mana bibit dipantau setiap 7 hari melalui pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat basah, dengan faktor lingkungan seperti cahaya (12 jam/hari) dan sirkulasi udara dikendalikan menggunakan timer dan kipas untuk menjaga kondisi optimal, sesuai rekomendasi dari studi tentang pemantauan pertumbuhan hidroponik (Johnson & Lee, 2023). Data dikumpulkan melalui metode pengamatan langsung dan pengukuran instrumen untuk memastikan akurasi. Akhirnya, pada tahap ketiga, pemanfaatan *in situ* dilakukan setelah panen pada usia 35–45 hari, di mana pakcoy yang dipanen langsung diolah di lokasi untuk konsumsi, seperti dicuci, dipotong, dibuat menjadi jus, dan dikemas untuk di suplai ke konsumen. Sambil menganalisis kualitas nutrisi menggunakan kit sederhana untuk mengukur kadar vitamin C dan antioksidan sebelum dan sesudah pengolahan, berdasarkan metode analisis nutrisi segar yang dijelaskan dalam literatur terkini (Garcia, 2020).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data pertumbuhan dan kualitas tanaman pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) yang dibudidayakan menggunakan sistem hidroponik tipe Nutrient Film Technique (NFT) selama 24 hari. Pengamatan dilakukan setiap tujuh hari terhadap parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan berat basah, sementara kualitas nutrisi diuji melalui analisis kadar vitamin C dan aktivitas antioksidan setelah panen. Variasi konsentrasi larutan nutrisi digunakan sebagai variabel independen, dengan tujuan menentukan tingkat konsentrasi yang paling optimal bagi pertumbuhan dan kualitas hasil panen. Metode serupa juga telah diterapkan dalam beberapa penelitian sebelumnya, di mana sistem NFT terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan pakcoy melalui pengaturan aliran larutan nutrisi dan kemiringan talang yang tepat (Trianita et al., 2022; Muslimah, 2024). Selain itu, penelitian oleh Zahro et al. (2024) menunjukkan bahwa biofortifikasi nutrien melalui sistem NFT dapat meningkatkan kandungan kalsium serta mutu hasil panen pakcoy. Aspek kualitas hasil panen seperti kadar vitamin C dan aktivitas antioksidan juga telah diteliti oleh Campos-Espinosa et al. (2022) dan Baek et al. (2021), yang melaporkan bahwa kondisi hidroponik mampu memengaruhi kandungan fitokimia dan kapasitas antioksidan tanaman daun. Hasil-hasil tersebut mendukung pentingnya pengujian konsentrasi nutrisi dan parameter fisiologis untuk memperoleh pertumbuhan serta kualitas pakcoy yang optimal pada sistem hidroponik NFT. Hasil panen pakcoy tersebut di produksi langsung *in situ* misalnya untuk dijadikan jus pakcoy dan beberapa hasil panen pakcoy dipacking untuk di suplai ke konsumen.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan pertumbuhan yang nyata antar perlakuan konsentrasi nutrisi. Pada minggu pertama, tinggi tanaman berkisar antara 5,2–6,8 cm dan meningkat menjadi 8,9–11,6 cm pada minggu kedua. Pertumbuhan paling pesat terjadi pada minggu ketiga hingga keempat, dengan tinggi tanaman mencapai 12,5–18,5 cm. Perlakuan dengan konsentrasi nutrisi menengah (sekitar 1,5–2,0 mS/cm) menunjukkan pertumbuhan tertinggi dibanding perlakuan dengan konsentrasi terlalu rendah atau terlalu tinggi. Jumlah daun juga meningkat seiring waktu, di mana tanaman dengan konsentrasi nutrisi optimal menghasilkan 9–11 daun per tanaman, sedangkan konsentrasi rendah menghasilkan rata-rata 6–7 daun. Perlakuan dengan konsentrasi nutrisi menengah menghasilkan rata-rata berat basah sebesar 90–110 g per tanaman, sementara perlakuan rendah hanya mencapai 60–75 g dan perlakuan tinggi menurun menjadi 80–95 g akibat kemungkinan stres ionik. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan biomassa tanaman pakcoy ($p < 0,05$).

Dari aspek kualitas, hasil uji kadar vitamin C menunjukkan nilai tertinggi pada perlakuan nutrisi menengah, yaitu 35–42 mg/100 g bahan segar, sedangkan perlakuan rendah menghasilkan 25–30 mg/100 g dan perlakuan tinggi sekitar 32–38 mg/100 g. Aktivitas antioksidan yang diukur dengan metode DPPH menunjukkan hasil 45–55 % pada perlakuan optimal dan 35–45 % pada perlakuan ekstrem. Setelah pengolahan *in situ* menjadi jus segar, kadar vitamin C mengalami penurunan 5–10 %, sedangkan aktivitas antioksidan menurun 3–8 %. Parameter lingkungan menunjukkan kondisi yang relatif stabil selama eksperimen. Suhu ruang berkisar antara 25–35 °C dengan kelembaban 50–90 %, pH larutan nutrisi berada pada kisaran 5,5–6,5, dan EC sedikit menurun 5–10 % setiap siklus sebelum diganti tiap 7 hari. Kondisi ini memastikan lingkungan tumbuh yang mendukung untuk sistem NFT.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi nutrisi berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif dan kualitas tanaman pakcoy yang dibudidayakan secara hidroponik (Anum et al., 2025). Pertumbuhan terbaik diperoleh pada kisaran EC 1,5–2,0 mS/cm, yang menunjukkan keseimbangan antara ketersediaan hara dan efisiensi penyerapan oleh akar (Cho, 2007). Kondisi nutrisi yang terlalu rendah menyebabkan kekurangan unsur makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, sehingga menghambat pembelahan sel dan pembentukan daun (Chrysargyris et al., 2024). Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu tinggi meningkatkan tekanan osmotik di sekitar akar dan dapat menimbulkan stres ionik, yang menyebabkan penurunan penyerapan air dan nutrisi (do Carmo et al., 2024; Tavakkoli et al., 2012).

Kondisi nutrisi yang terlalu rendah menyebabkan kekurangan unsur makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium sehingga menghambat pembelahan sel dan pembentukan daun (Khan et al., 2023). Sebaliknya, konsentrasi nutrisi yang terlalu tinggi meningkatkan tekanan osmotik di sekitar akar dan dapat menimbulkan stres ionik, yang menyebabkan penurunan penyerapan air dan nutrisi (Sakamoto et al., 2020). Konsentrasi nutrisi juga memengaruhi efisiensi fotosintesis dan akumulasi biomassa (do Carmo et al., 2024). Pada kondisi optimal, ketersediaan nitrogen yang cukup meningkatkan sintesis klorofil dan laju fotosintesis, sehingga menghasilkan pertumbuhan tinggi dan bobot segar yang lebih besar (*Hydroponics: Current Trends in Sustainable Crop Production*, 2023).

Hasil ini konsisten dengan laporan Muslimah et al. (2024), yang menemukan bahwa kombinasi nutrisi yang seimbang dan media tanam dengan daya serap air tinggi pada sistem NFT dapat meningkatkan berat basah tanaman pakcoy secara signifikan. Hal ini memperkuat dugaan bahwa faktor keseimbangan nutrisi, bukan hanya jumlah total unsur hara, menjadi kunci dalam keberhasilan sistem hidroponik.

Dari segi kualitas, kandungan vitamin C dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi pada perlakuan optimal menunjukkan bahwa keseimbangan nutrisi juga memengaruhi metabolisme sekunder tanaman. Unsur mikro seperti Fe dan Zn berperan sebagai kofaktor enzim antioksidan, sedangkan ketersediaan nitrogen mendukung biosintesis senyawa asam askorbat dan fenolik yang berfungsi sebagai antioksidan alami. Penurunan kadar vitamin C setelah pengolahan *in situ* dapat dijelaskan oleh sifat termolabil dan mudah teroksidasi dari senyawa tersebut.

Stabilitas lingkungan dan kondisi larutan nutrisi juga berperan penting dalam keberhasilan sistem NFT. Nilai pH dan EC yang stabil menjaga ketersediaan ion hara esensial dalam bentuk yang mudah diserap oleh akar. Fluktuasi pH dapat menyebabkan pengendapan unsur tertentu seperti Fe dan Mn, sementara EC yang terlalu tinggi dapat menghambat difusi air ke jaringan akar. Dalam penelitian ini, penggantian larutan setiap tujuh hari dan penggunaan air Reverse Osmosis (RO) membantu menjaga keseimbangan ion serta mencegah akumulasi garam berlebih. Penggunaan air RO meningkatkan efisiensi serapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman dalam sistem NFT. Selain itu, penerapan sistem pengendalian otomatis pH dan EC terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi hingga 20 % (Ariyanti et al., 2022). Hal ini penting untuk aplikasi praktis di lapangan, terutama pada skala produksi besar yang membutuhkan kestabilan sistem tanpa pengawasan manual terus-menerus.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa konsentrasi nutrisi yang tepat, pengendalian lingkungan yang stabil, serta sistem sirkulasi yang efisien dapat secara sinergis meningkatkan pertumbuhan dan kualitas pakcoy hidroponik (Rajaseger et al., 2023). Sistem NFT terbukti efektif dalam menyediakan suplai oksigen dan nutrisi yang kontinu pada zona akar, sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif optimal (Palmitessa et al., 2024). Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsentrasi nutrisi menengah (1,5–2,0 mS/cm) merupakan titik optimum bagi budidaya pakcoy hidroponik secara ekonomis dan fungsional (Ding et al., 2018).

Penelitian ini juga mengonfirmasi bahwa budidaya pakcoy dengan sistem hidroponik NFT adalah pendekatan yang layak untuk produksi berkelanjutan, terutama di daerah perkotaan, di mana pengaturan nutrisi yang optimal dapat meningkatkan pertumbuhan dan kualitas tanaman (Rajaseger et al., 2023), sekaligus mengurangi potensi kehilangan unsur hara selama pengolahan (Sanjuán-Delmás et al., 2020; Malkawi et al., 2024).

IV. KESIMPULAN

Sistem hidroponik terbukti efektif dalam mendukung pertumbuhan pakcoy karena mampu menyediakan suplai air dan nutrisi secara efisien serta menjaga kestabilan kondisi lingkungan akar. Faktor-faktor seperti konsentrasi larutan nutrisi, pH, suhu, dan intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Pengaturan konsentrasi nutrisi menjadi faktor kunci dalam optimalisasi hasil panen, dimana perlakuan dengan konsentrasi seimbang menghasilkan pertumbuhan vegetatif terbaik yang ditandai dengan peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot segar yang signifikan. Sebaliknya, konsentrasi nutrisi yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan stres fisiologis dan menurunkan efisiensi penyerapan hara. Pemanfaatan hasil budidaya secara *in situ* juga memiliki potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan lokal, karena hasil panen pakcoy hidroponik yang segar dan bernilai gizi tinggi dapat langsung dikonsumsi tanpa memerlukan proses distribusi panjang sehingga kesegaran dan keamanan pangan lebih terjamin. Selain itu, kualitas nutrisi pakcoy hidroponik, termasuk kadar vitamin C dan aktivitas antioksidan, menunjukkan

hasil yang kompetitif dibandingkan dengan tanaman konvensional, yang menegaskan bahwa sistem hidroponik tidak hanya efisien dari sisi budidaya, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan nilai gizi produk hortikultura. Secara keseluruhan, budidaya pakcoy dengan sistem hidroponik merupakan metode pertanian modern yang berkelanjutan, efisien dalam penggunaan lahan dan air, serta relevan diterapkan di wilayah perkotaan maupun daerah dengan keterbatasan sumber daya, mendukung konsep pertanian cerdas (*smart farming*) yang berorientasi pada efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alcalde, A. L. D., Sinco, C. P., Cantor, M. L. S., Viña, M. T., Garcia-Bolaños, J. R., & Bordios, R. B. Jr. (2022). *Effects of varying nutrient solution to Brassica rapa "Bokchoy" grow under hydroponic system*. *American Journal of Environment and Climate*, 1(2), 31–37.
- [2] Ching, S. L., Siang, T. F., Chai, A., & Ching, C. P. (2025). *Design and develop an IoT automated nutrient control in a hydroponic system*. *Future Sustainability*, 3(3), 18–25.
- [3] Istiqomah, N., Priambodo, M. P., Yunikawati, N. A., Puspasari, E. Y., & Wahjoeedi. (2024). *Pelatihan hidroponik bagi ibu-ibu PKK untuk menciptakan kawasan urban farming*. *International Journal of Community Service Learning*, 8(2), 202–211.
- [4] Putri, F. E., Mutholib, R., Hidayati, F., Hubaybah, M., Butar-Butar, M., & Fitri, A. (2023). *Analisis pertumbuhan tanaman pakcoy hidroponik menggunakan tambahan pupuk cair lindi sebagai sumber belajar*. *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 9(1), 174–182. <https://doi.org/10.22437/bio.v9i1.23551>
- [5] Rahmawati, M., Irawan, A. N., & Hayati, M. (2024). *Growth and yield of pakcoy (Brassica rapa L.) due to different concentration of AB Mix nutrient and foliar fertilizer in the floating hydroponic system*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1297(1), 012031.
- [6] FAO. (2020). *Food Hygiene and Sanitation: Principles for the Food Industry*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [7] SNI 01-4852-1998. (1998). *Sanitasi Pangan: Pedoman Umum Kebersihan untuk Industri Pangan*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- [8] Herawati, N. (2021). *Prinsip Sanitasi dan Higiene dalam Pengolahan Pangan*. Yogyakarta: Deepublish.
- [9] World Health Organization (WHO). (2019). *Five Keys to Safer Food Manual*. Geneva: WHO Press.
- [10] Sari, D. P., & Mulyani, E. (2022). Penerapan higiene dan sanitasi pada pengolahan sayuran segar di tingkat rumah tangga dan industri kecil. *Jurnal Pangan dan Gizi Indonesia*, 19(1), 45–56. <https://doi.org/10.31227/osf.io/xyz123>
- [11] Wibowo, R., & Hartati, T. (2023). Penerapan prinsip sanitasi dalam proses pascapanen sayuran hidroponik untuk menjamin keamanan konsumsi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 15(2), 77–84.