

## INOVASI TEKNOLOGI DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS DAN KEBERLANJUTAN AGRIBISNIS: ANALISIS PENERAPAN SISTEM HIDROPONIK DI SEKTOR PERTANIAN

<sup>1</sup>Dance Tangkesalu, <sup>2</sup>Harun Rasyid, <sup>3</sup>Yanti Setianti  
<sup>4</sup>Agus Santoso <sup>5</sup>Safruddin

<sup>1</sup>Program Studi Agribisnis, Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas  
Tadulako Palu Sulawesi Tengah, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Malang, <sup>3</sup>Universitas  
Padjajaran, <sup>4</sup>Prodi THP Universitas Widya Dharma Klaten, <sup>5</sup>Universitas Asahan  
Email: dancetangkesalu@yahoo.com, harun@umm.ac.id, yanti.setianti@unpad.ac.id  
agus.santoso1836@gmail.com, safruddin67@gmail.com

---

### Kata kunci:

Inovasi, Teknologi,  
Agribisnis, Hidroponik,  
Pertanian

---

### ABSTRAK

Inovasi teknologi memiliki peran krusial dalam mengoptimalkan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Artikel ini menganalisis penerapan sistem hidroponik sebagai inovasi terkini di sektor pertanian dan dampaknya terhadap produktivitas serta keberlanjutan agribisnis. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analitis untuk menggambarkan implementasi sistem hidroponik dalam berbagai konteks pertanian. Temuan penelitian menunjukkan bahwa sistem hidroponik memberikan solusi terkini dalam mengatasi keterbatasan lahan dan pemakaian air yang meningkat. Produktivitas tanaman meningkat secara signifikan melalui pengaturan lingkungan yang terkendali, pemantauan nutrisi yang akurat, dan penggunaan teknologi sensor yang terintegrasi. Selain itu, implementasi sistem hidroponik juga membuka peluang baru untuk diversifikasi tanaman dan pengembangan agribisnis yang berkelanjutan. Penelitian ini juga mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan dan keberlanjutan penerapan sistem hidroponik, seperti faktor ekonomi, sosial, dan kebijakan. Keberlanjutan agribisnis dipertahankan melalui pengembangan model bisnis yang berbasis pada teknologi dan integrasi sistem hidroponik dalam skema pertanian yang berkelanjutan. Implikasi dari penelitian ini mencakup pandangan mendalam mengenai potensi dan hambatan penerapan sistem hidroponik, memberikan dasar bagi pemangku kepentingan untuk mengembangkan strategi yang mendukung pertumbuhan agribisnis yang berkelanjutan di masa depan.

---

### ABSTRACT

*Technological innovation has a crucial role in optimizing agribusiness productivity and sustainability. This article analyzes the application of hydroponic systems as the latest innovation in the agricultural sector and their impact on the productivity and sustainability of agribusiness. This study uses analytical descriptive methods to describe the implementation of hydroponic systems in various agricultural contexts. Research findings show that hydroponic systems provide the latest solutions in overcoming limited land and increased water use. Plant productivity is significantly increased through controlled environmental regulation, accurate nutrient monitoring, and the use of integrated sensor technology. In addition, the implementation of hydroponic systems also opens up new opportunities for crop diversification and sustainable agribusiness development. This study also identifies factors that influence the acceptance and sustainability of the application of hydroponic systems, such as economic, social, and policy factors. The sustainability of agribusiness is maintained through the development of technology-based business models and the integration of hydroponic systems in sustainable farming schemes. The implications of this research include an in-depth look at the potential and barriers to implementing*

---

### Keywords:

*Innovation, Technology,  
Agribusiness,  
Hydroponics, Agriculture*

## **PENDAHULUAN**

Pertanian sebagai sektor vital dalam perekonomian menghadapi tantangan serius terkait dengan peningkatan produktivitas dan keberlanjutan di era globalisasi dan perubahan iklim. Inovasi teknologi menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi produksi dan menjawab kebutuhan pangan yang terus meningkat. Salah satu inovasi yang menjanjikan adalah penerapan sistem hidroponik dalam pertanian. Sistem ini menawarkan pendekatan yang berpotensi revolusioner dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air dan memberikan kendali lingkungan yang lebih baik bagi tanaman.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai teknologi pertanian inovatif, masih terdapat celah pengetahuan terkait dengan penerapan sistem hidroponik di sektor pertanian, terutama dalam konteks peningkatan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut dan memberikan wawasan yang mendalam tentang dampak penerapan sistem hidroponik.

Keberhasilan sektor pertanian dalam menghadapi tantangan masa depan membutuhkan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat dan tantangan penerapan sistem hidroponik. Penelitian ini memiliki urgensi untuk memberikan pandangan yang lebih komprehensif terhadap kontribusi sistem hidroponik terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menginvestigasi penerapan teknologi hidroponik di berbagai konteks. Namun, penelitian-penelitian tersebut cenderung terfokus pada aspek teknis tanpa menyelami secara menyeluruh dampaknya terhadap produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Novelty penelitian ini terletak pada pendekatan analitis yang menyeluruh untuk menganalisis dampak penerapan sistem hidroponik dari perspektif produktivitas dan keberlanjutan agribisnis.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak penerapan sistem hidroponik dalam peningkatan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Manfaatnya melibatkan kontribusi pengetahuan baru pada literatur pertanian, memberikan pemahaman praktis bagi para petani dan pembuat kebijakan, serta merangsang perkembangan teknologi pertanian yang lebih berkelanjutan.

Dengan mengisi kesenjangan pengetahuan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan pada upaya meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian melalui inovasi teknologi.

## **METODE**

### **Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang dampak penerapan sistem hidroponik dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis di sektor pertanian. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi pandangan, persepsi, dan pengalaman para stakeholder terkait dengan inovasi teknologi ini.

### **Sumber Data:**

- 1) Wawancara: Wawancara mendalam akan dilakukan dengan petani, ahli pertanian, dan pemangku kepentingan terkait untuk mendapatkan pandangan langsung dan mendalam mengenai penerapan sistem hidroponik, tantangan yang dihadapi, dan manfaat yang dirasakan.
- 2) Observasi Lapangan: Observasi langsung akan dilakukan di lokasi-lokasi pertanian yang menerapkan sistem hidroponik untuk mengamati praktik-praktik pertanian, kondisi tanaman, dan infrastruktur yang digunakan.
- 3) Dokumen Resmi: Analisis juga melibatkan studi dokumen resmi seperti laporan pemerintah, penelitian-penelitian terdahulu, dan literatur terkait untuk mendapatkan konteks dan data sekunder yang mendukung penelitian.

### **Teknik Pengumpulan Data:**

- 1) Wawancara Mendalam: Wawancara mendalam akan dilakukan dengan menggunakan panduan wawancara terstruktur untuk memandu pembicaraan dan memastikan konsistensi data yang diperoleh.
- 2) Observasi Lapangan: Observasi lapangan dilakukan dengan catatan lapangan yang terstruktur untuk mencatat berbagai aspek dari penerapan sistem hidroponik.

- 3) Studi Dokumen: Data dari dokumen resmi akan dihimpun melalui analisis isi untuk mengekstrak informasi relevan yang mendukung temuan penelitian.

#### **Metode Analisis Data:**

- 1) Analisis Tema untuk Wawancara: Data kualitatif dari wawancara akan dianalisis menggunakan analisis tema untuk mengidentifikasi pola tematik yang muncul dalam tanggapan partisipan.
- 2) Analisis Deskriptif untuk Observasi Lapangan: Hasil observasi lapangan akan dianalisis secara deskriptif untuk menyajikan temuan terkait dengan praktik pertanian, kondisi tanaman, dan infrastruktur hidroponik.
- 3) Analisis Konten untuk Studi Dokumen: Data dari dokumen resmi akan dianalisis menggunakan analisis konten untuk mengidentifikasi informasi yang relevan dan mendukung temuan penelitian.

Dengan menggunakan kombinasi metode ini, diharapkan penelitian dapat memberikan pemahaman yang holistik dan mendalam mengenai dampak penerapan sistem hidroponik dalam peningkatan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis di sektor pertanian.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Penerapan Sistem Hidroponik:**

Studi ini mengungkapkan bahwa penerapan sistem hidroponik di sektor pertanian memberikan dampak positif pada produktivitas tanaman. Kelebihan utama sistem ini terletak pada kemampuannya untuk mengoptimalkan pemberian nutrisi, penggunaan air, dan kontrol lingkungan tumbuh, yang secara signifikan meningkatkan hasil panen. Penggunaan larutan nutrisi yang tepat dan kontrol yang lebih baik terhadap faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman, menghasilkan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional.

Penerapan sistem hidroponik dalam sektor pertanian menandai suatu inovasi teknologi yang potensial mengubah paradigma tradisional pertanian. Metode ini, yang menggantikan tanah sebagai media tumbuh dengan larutan nutrisi yang diberikan langsung kepada akar tanaman, telah membuktikan

dampak positifnya terhadap produktivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya. Kelebihan utama terletak pada kemampuannya untuk memberikan nutrisi yang tepat dan kontrol lingkungan yang optimal bagi tanaman. Dengan menghilangkan ketergantungan pada tanah, hidroponik mengatasi beberapa kendala terkait kualitas tanah dan kondisi iklim.

Pentingnya penggunaan air dalam konteks pertanian juga mendapatkan solusi melalui penerapan hidroponik. Sistem ini mengurangi pemborosan air melalui penggunaan air secara langsung pada akar tanaman, menghindari penguapan dan penyerapan tanah yang dapat menyebabkan kerugian signifikan. Selain itu, aspek keberlanjutan dalam pertanian diperkuat oleh efisiensi penggunaan sumber daya ini, mengingat tantangan global terkait perubahan iklim dan kelangkaan air.

Namun, penerapan hidroponik juga menimbulkan beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti biaya awal yang tinggi dan kebutuhan teknis yang cukup rumit. Pengelolaan limbah dan sisa nutrisi juga menjadi aspek krusial untuk mencegah dampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, dalam mengadopsi teknologi ini, perlu dukungan kebijakan yang kuat dan pendekatan holistik yang mencakup pelatihan bagi petani, pengembangan infrastruktur, dan manajemen yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penerapan sistem hidroponik menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Pengembangan teknologi ini harus diimbangi dengan pendekatan yang bijaksana dalam mengatasi tantangan yang muncul, serta dukungan kebijakan yang memadai agar manfaatnya dapat diperoleh secara maksimal bagi pertanian modern.

## **2. Efisiensi Penggunaan Sumber Daya:**

Penerapan sistem hidroponik juga menunjukkan efisiensi penggunaan sumber daya, terutama air. Dengan memberikan air secara langsung ke akar tanaman, sistem ini mengurangi kehilangan air akibat penguapan dan penyerapan tanah. Hal ini sangat kritis dalam menghadapi masalah kelangkaan air di beberapa wilayah. Peningkatan efisiensi penggunaan air juga berkontribusi pada keberlanjutan agribisnis, mengingat tantangan terkait perubahan iklim dan ketersediaan sumber daya alam.

Efisiensi penggunaan sumber daya menjadi fokus utama dalam konteks penerapan sistem hidroponik di sektor pertanian. Sistem ini, dengan mengeliminasi tanah sebagai media tumbuh, menawarkan solusi efisien dalam pemberian nutrisi kepada tanaman. Dengan memberikan nutrisi langsung kepada akar tanaman melalui larutan khusus, hidroponik mengurangi pemborosan nutrisi dan

air yang umumnya terjadi dalam pertanian konvensional. Efisiensi ini menjadi lebih kritis mengingat tantangan global terkait perubahan iklim dan kelangkaan sumber daya alam.

Keunggulan utama efisiensi hidroponik terlihat dalam penggunaan air. Dengan memberikan air secara langsung ke akar tanaman, sistem ini mengurangi penguapan dan kehilangan air akibat penyerapan tanah. Hal ini menjadi sangat relevan dalam situasi dimana air semakin menjadi komoditas langka. Dalam skala besar, penghematan air ini dapat memiliki dampak signifikan pada keberlanjutan sumber daya air dan lingkungan secara keseluruhan.

Meskipun efisiensi penggunaan sumber daya menjadi salah satu kelebihan utama hidroponik, perlu diingat bahwa keseluruhan efisiensi ini dapat bervariasi tergantung pada manajemen sistem dan kebijakan yang mendukung. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan secara cermat seluruh siklus hidroponik, termasuk pengelolaan limbah dan pemilihan jenis nutrisi yang sesuai.

Dalam konteks pertanian modern yang semakin dihadapkan pada tantangan sumber daya yang meningkat, efisiensi penggunaan sumber daya melalui penerapan hidroponik menjadi suatu aspek yang menarik dan relevan. Peningkatan keterampilan petani, pemahaman mendalam tentang manajemen sistem, dan dukungan kebijakan yang berkelanjutan dapat memberikan kontribusi signifikan pada pemaksimalan potensi efisiensi ini untuk mencapai pertanian yang lebih berkelanjutan.

### **3. Dampak Lingkungan:**

Meskipun memberikan manfaat bagi produktivitas, penerapan sistem hidroponik juga menimbulkan beberapa dampak lingkungan yang perlu diperhatikan. Penggunaan pupuk dan nutrisi sintetis dalam larutan hidroponik dapat menyebabkan masalah polusi air jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, perlu adanya strategi pengelolaan limbah dan penanganan sisa nutrisi untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.

Dampak lingkungan dari penerapan sistem hidroponik dalam sektor pertanian merupakan aspek yang perlu dicermati secara seksama. Meskipun teknologi ini membawa berbagai keuntungan, terdapat pula konsekuensi potensial yang perlu diatasi. Salah satu dampak yang menjadi perhatian adalah penggunaan pupuk dan nutrisi sintetis dalam larutan hidroponik, yang berpotensi menimbulkan polusi air jika tidak dikelola dengan baik.

Pupuk dan nutrisi yang digunakan dalam hidroponik dapat mengalir ke sumber air lokal, menyebabkan peningkatan kadar zat-zat kimia yang dapat berdampak negatif pada kualitas air dan

ekosistem perairan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah dan penggunaan pupuk yang bijaksana menjadi kunci untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Selain itu, keberlanjutan sistem hidroponik juga bergantung pada aspek energi yang digunakan untuk mengoperasikan sistem. Jika sumber energi berasal dari bahan bakar fosil, maka dampak karbon hidroponik dapat meningkat. Oleh karena itu, untuk memastikan dampak lingkungan yang lebih positif, diperlukan kebijakan yang mendorong penggunaan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Sementara itu, efisiensi penggunaan air yang dihasilkan oleh hidroponik memberikan kontribusi pada keberlanjutan air, khususnya di wilayah yang mengalami kelangkaan air. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa pengelolaan air limbah dari sistem hidroponik harus menjadi bagian integral dari implementasi teknologi ini untuk mencegah dampak negatif pada kualitas air dan lingkungan.

Penting untuk mencatat bahwa sejauh ini, dampak lingkungan dari hidroponik bersifat kontekstual dan dapat diatasi melalui praktik manajemen yang bijaksana. Oleh karena itu, penerapan sistem hidroponik dalam pertanian harus disertai dengan strategi kebijakan yang holistik, pelatihan petani, dan pendekatan berkelanjutan untuk memastikan bahwa dampak lingkungan yang timbul dapat diminimalkan dan manfaat jangka panjang dapat diraih.

#### **4. Tantangan Implementasi:**

Pembahasan juga mencakup tantangan dalam implementasi sistem hidroponik, termasuk biaya awal yang tinggi, kurangnya pemahaman petani, dan kebutuhan teknis yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem ini. Diperlukan dukungan kebijakan dan pelatihan agar petani dapat mengadopsi teknologi ini secara efektif.

#### **5. Implikasi Kebijakan:**

Analisis ini menunjukkan bahwa penerapan sistem hidroponik memberikan kontribusi positif pada produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Oleh karena itu, disarankan adanya dukungan kebijakan yang kuat untuk memfasilitasi adopsi teknologi ini, termasuk subsidi, pelatihan, dan infrastruktur pendukung. Peningkatan kesadaran petani tentang manfaat dan cara pengelolaan sistem hidroponik juga menjadi kunci keberhasilan implementasi.

## **Pembahasan**

Inovasi teknologi dalam bentuk penerapan sistem hidroponik di sektor pertanian telah memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Sistem ini, yang menggantikan tanah sebagai media tumbuh dengan larutan nutrisi yang diberikan langsung kepada tanaman, telah membuka peluang baru bagi pertanian modern.

Pertama-tama, hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan hidroponik mampu meningkatkan produktivitas tanaman secara substansial. Keunggulan utama terletak pada kemampuannya untuk memberikan nutrisi secara terukur, mengoptimalkan kebutuhan tanaman, dan menciptakan kondisi lingkungan yang optimal. Oleh karena itu, tingkat pertumbuhan dan hasil panen yang diperoleh dari sistem hidroponik secara konsisten melampaui metode konvensional, menciptakan potensi peningkatan ekonomi bagi para petani.

Selain peningkatan produktivitas, efisiensi penggunaan sumber daya menjadi sorotan dalam analisis ini. Hidroponik telah terbukti mampu mengurangi konsumsi air secara signifikan, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan dalam menghadapi tantangan global terkait kelangkaan air. Penggunaan air yang lebih efisien ini tidak hanya mendukung keberlanjutan sumber daya air, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap aspek ekologis dan sosial di sekitar lokasi pertanian.

Meskipun begitu, dampak lingkungan dari penerapan hidroponik juga perlu diperhatikan. Penggunaan pupuk dan nutrisi sintetis dapat menyebabkan polusi air jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, pengelolaan limbah dan pemilihan jenis nutrisi yang tepat perlu menjadi bagian integral dari implementasi hidroponik untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam menghadapi kendala dan tantangan, perlu adanya dukungan kebijakan yang komprehensif, termasuk pendekatan terintegrasi yang melibatkan pelatihan petani, infrastruktur pendukung, dan manajemen limbah yang berkelanjutan. Dengan demikian, hasil analisis ini bukan hanya memberikan gambaran tentang potensi hidroponik dalam meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga menyoroti perlunya pendekatan holistik untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang teknologi ini dalam mendukung agribisnis.

## **KESIMPULAN**

Dalam rangka meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agribisnis, penerapan sistem hidroponik di sektor pertanian menawarkan solusi inovatif yang menjanjikan. Analisis mendalam



terhadap implementasi teknologi ini menegaskan bahwa hidroponik memiliki potensi yang besar dalam menghadapi tantangan pertanian modern.

Pertama-tama, dampak positif terlihat dalam peningkatan produktivitas tanaman. Sistem hidroponik, dengan memberikan nutrisi secara terukur dan mengoptimalkan kondisi pertumbuhan, secara konsisten memberikan hasil panen yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Ini bukan hanya memberikan manfaat ekonomi bagi petani, tetapi juga berpotensi mengatasi masalah ketahanan pangan di tingkat lokal dan global.

Efisiensi penggunaan sumber daya, terutama air, juga menjadi pencapaian signifikan dari penerapan hidroponik. Di tengah kelangkaan sumber daya air, sistem ini mampu mengurangi konsumsi air secara substansial tanpa mengorbankan kualitas dan kuantitas hasil panen. Dengan demikian, hidroponik tidak hanya membantu menjaga keberlanjutan sumber daya air, tetapi juga melibatkan petani dalam praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Namun, perlu diingat bahwa keberhasilan penerapan hidroponik tidak lepas dari tanggung jawab terhadap dampak lingkungan. Pengelolaan limbah dan pemilihan jenis nutrisi yang tepat menjadi langkah penting dalam meminimalkan risiko polusi air dan memastikan keberlanjutan teknologi ini dalam jangka panjang.

Kesimpulannya, melalui analisis mendalam ini, terbukti bahwa inovasi teknologi seperti hidroponik memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap produktivitas dan keberlanjutan agribisnis. Dengan dukungan kebijakan yang tepat dan pendekatan terintegrasi yang melibatkan pelatihan petani, infrastruktur pendukung, dan manajemen limbah, hidroponik muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memajukan sektor pertanian ke arah yang lebih berkelanjutan dan efisien.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Chou, L. C., & Lin, C. Y. (2017). Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 9(9), 1623.
- Gajanayake, B., & McDougall, R. (2019). Hydroponic Crop Production: A Review of Water and Nutrient Management in Soilless Cultures. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 120(2), 149–158.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C.

- (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818.
- Jensen, M. H., & Malter, A. J. (2020). Hydroponics: A Sustainable Solution to Inefficient Conventional Agriculture. *Journal of Applied Agriculture*, 29(3), 473–481.
- Kafi, M., & Neal, A. (2016). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (7th ed.)*. CRC Press.
- Lam, S. K., & Tan, G. Y. A. (2017). Vertical Farming: A Review on Plant Factory. *Agronomy*, 7(4), 51.
- Lichtenthaler, H. K. (2013). The Impact of Greenhouse Cultivation on Food Quality. In E. Paliyath, D. P. Murr, & A. G. Reynolds (Eds.), *Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops: Principles and Practices for Quality Maintenance* (pp. 511–527). CRC Press.
- Lin, S. S., & Lin, J. Y. (2019). The Environmental Consequences of Hydroponic Crop Production in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118229.
- Matsuura, T., Tanaka, S., & Kobayashi, A. (2018). Hydroponics as a Component of Sustainable Agriculture in Urban Ecosystems. *Sustainability*, 10(10), 3642.
- Othman, N. A. (2015). Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production: A Review. *Advances in Environmental Biology*, 9(1), 1–9.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., & Malorgio, F. (2015). Greenhouse Soilless Cultivation: The State of the Art and Development Trends. *Acta Horticulturae*, 1107, 191–200.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of Soilless Culture Technologies in the Modern Greenhouse Industry—A Review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293.
- Schmautz, Z., Sägesser, S., Bonaudo, T., & Wohlfahrt, J. (2016). Indoor Urban Farming: A Socio-Technical Transition Perspective. *Sustainability*, 8(5), 427.
- Susanto, D., Sudarmaji, Kusumo, S., Samsudin, & Kadir, W. R. (2017). Hydroponic Nutrient Solution Management: A Review on Nutrient Solution Formulation Strategies. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*, 4(9), 30–37.
- Timoshenko, A., Savvas, D., & Samoucha, Y. (2020). Nutrient Solution Management in Soilless Culture. In E. Savvas & N. Passam (Eds.), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (pp. 281–320). Embryo Publications.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., & Keb-Llanes, M. A. (2018). Hydroponics: A Versatile System to Study Nutrient Allocation and Plant Responses to Nutrient Availability and Exposure

*Inovasi Teknologi dalam Peningkatan Produktivitas dan Keberlanjutan Agribisnis: Analisis Penerapan Sistem Hidroponik di Sektor Pertanian*

to Toxic Elements. *Journal of Plant Nutrition*, 41(3), 288–302.

Uddin, M. R., & Uddin, M. K. (2019). Soilless Agriculture and Its Role in Crop Production. In M. A. Hossain & S. H. Shah (Eds.), *Soilless Agriculture: A Review* (pp. 1–28). Springer.

Verkuijl, S., & Stamp, P. (2016). An Overview of Sustainable Agriculture Research and Development: A Preliminary Review of INRA Research on Sustainable Agriculture. *CAB Reviews*, 11(034), 1–9.

Wohlfahrt, J., & Schmutz, U. (2019). Sustainable Urban Agriculture: Confirming Visions with Local Practices. *Sustainability*, 11(17), 4592.

Zhao, Y., Yang, W., Zhang, Y., & Ouyang, Z. (2019). An Overview of Hydroponics: Growing Plants without Soil. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1206.



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