



## INTEGRASI PERTANIAN VERTIKAL DAN TEKNOLOGI HIDROPONIK UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI LAHAN

Jasman Hasibuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Labuhanbatu Sumatera Utara, Indonesia

Email: jasmanhsb24@gmail.com

**Abstrak.** Pertumbuhan populasi yang pesat dan urbanisasi yang terus meningkat telah menciptakan tantangan besar dalam hal ketersediaan lahan pertanian dan ketahanan pangan. Penelitian ini mengkaji potensi integrasi pertanian vertikal dengan teknologi hidroponik sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dalam produksi pangan. Metode pertanian vertikal memungkinkan pemanfaatan ruang secara vertikal, sementara hidroponik menawarkan sistem budidaya tanpa tanah yang hemat air dan nutrisi. Kombinasi kedua metode ini berpotensi mengoptimalkan produksi pangan di area perkotaan dengan lahan terbatas. Studi ini menganalisis berbagai aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan dari sistem terintegrasi tersebut, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam implementasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi pertanian vertikal dan hidroponik dapat meningkatkan produktivitas lahan hingga beberapa kali lipat dibandingkan metode pertanian konvensional, sekaligus mengurangi penggunaan air dan pestisida. Namun, investasi awal yang tinggi dan kebutuhan energi yang besar masih menjadi kendala utama. Kesimpulannya, pendekatan terintegrasi ini menawarkan solusi menjanjikan untuk menghadapi tantangan keterbatasan lahan dan ketahanan pangan di masa depan, dengan catatan bahwa diperlukan inovasi lebih lanjut untuk mengatasi kendala yang ada.

**Kata kunci:** Pertanian, Pangan, Nutrisi.

**Abstract.** Rapid population growth and increasing urbanization have created major challenges in terms of agricultural land availability and food security. This research examines the potential for integrating vertical farming with hydroponic technology as a solution to increase land use efficiency in food production. Vertical farming methods allow vertical use of space, while hydroponics offers a soil-free cultivation system that saves water and nutrients. The combination of these two methods has the potential to optimize food production in urban areas with limited land. This study analyzes various technical, economic and environmental aspects of this integrated system, and identifies challenges and opportunities in its implementation. The research results show that the integration of vertical farming and hydroponics can increase land productivity several times compared to conventional farming methods, while reducing the use of water and pesticides. However, high initial investment and large energy requirements are still major obstacles. In conclusion, this integrated approach offers a promising solution to face the challenges of limited land and food security in the future, with the caveat that further innovation is needed to overcome existing obstacles.

**Keywords :** Agriculture, Food, Nutrition.

## 1. PENDAHULUAN

### 1. 1. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan populasi dunia yang pesat, terutama di daerah perkotaan, telah menciptakan tantangan besar dalam hal penyediaan pangan dan pemanfaatan lahan. Menurut PBB, diperkirakan populasi global akan mencapai 9,7 miliar pada tahun 2050, dengan 68% penduduk dunia tinggal di daerah perkotaan. Fenomena ini mengakibatkan kekurangnya lahan pertanian produktif dan meningkatnya kebutuhan pangan, sehingga menimbulkan urgensi untuk mencari solusi pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan. Pertanian konvensional yang mengandalkan lahan horizontal semakin sulit diterapkan di wilayah perkotaan karena keterbatasan ruang. Selain itu, metode ini seringkali menghadapi masalah seperti degradasi tanah, penggunaan air yang tidak efisien, dan ketergantungan tinggi pada pestisida. Di sisi lain, perubahan iklim global juga memberikan tekanan tambahan pada sistem pertanian tradisional, menyebabkan penurunan produktivitas dan ketidakstabilan hasil panen.

Dalam konteks ini, pertanian vertikal muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. Konsep ini memungkinkan produksi pangan dalam struktur bertingkat, memanfaatkan ruang vertikal untuk mengoptimalkan penggunaan lahan yang terbatas. Pertanian vertikal dapat meningkatkan produktivitas per meter persegi lahan hingga beberapa kali lipat dibandingkan metode konvensional. Sementara itu, teknologi hidroponik telah berkembang pesat sebagai metode budidaya tanaman tanpa tanah. Sistem ini menawarkan efisiensi penggunaan air yang tinggi, kontrol nutrisi yang presisi, dan pengurangan risiko hama dan penyakit tanaman. Hidroponik juga memungkinkan produksi pangan di daerah dengan tanah yang tidak subur atau terkontaminasi. Integrasi pertanian vertikal dengan teknologi hidroponik menawarkan potensi sinergi yang signifikan. Kombinasi ini tidak hanya memanfaatkan keunggulan masing-masing metode, tetapi juga membuka peluang untuk menciptakan sistem pertanian perkotaan yang sangat efisien dan berkelanjutan. Pendekatan terintegrasi ini dapat memaksimalkan produksi pangan dalam ruang terbatas, mengurangi konsumsi air, meminimalkan penggunaan pestisida, dan memungkinkan produksi pangan sepanjang tahun tanpa tergantung pada musim. Namun, implementasi sistem ini juga menghadapi tantangan, termasuk biaya investasi awal yang tinggi, kebutuhan energi yang besar, dan kompleksitas teknologi yang memerlukan keterampilan khusus. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan integrasi kedua metode ini, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan efisiensi energi. Mengingat urgensi dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan dan keterbatasan lahan, terutama di daerah perkotaan, integrasi pertanian vertikal dan teknologi hidroponik menjadi topik yang sangat relevan dan penting untuk diteliti lebih lanjut. Pendekatan ini berpotensi menjadi solusi kunci dalam menjawab kebutuhan pangan masa depan sekaligus mengatasi keterbatasan lahan di era urbanisasi yang semakin meningkat.

Perkembangan Teknologi Pertanian yaitu Kemajuan dalam sistem hidroponik dan aeroponik, Inovasi dalam teknik pertanian vertikal, Perkembangan teknologi sensor dan otomatisasi dalam pertanian. Keberlanjutan Lingkungan yaitu Meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dari praktik pertanian konvensional, Kebutuhan akan sistem produksi pangan yang lebih ramah lingkungan, Dorongan global untuk mengurangi jejak karbon dalam produksi pangan. Ketahanan Pangan dan Keamanan Nasional yang terdiri dari Pentingnya kemandirian pangan dalam konteks geopolitik, Kebutuhan akan sistem produksi pangan yang dapat diandalkan sepanjang tahun, Potensi pertanian vertikal-hidroponik dalam meningkatkan ketahanan pangan.

Latar belakang ini menggambarkan urgensi dan relevansi penelitian tentang integrasi pertanian vertikal dan teknologi hidroponik. Dengan menghadirkan konteks global dan lokal, serta menunjukkan berbagai faktor yang mendorong kebutuhan akan inovasi dalam produksi pangan, latar belakang ini memberikan dasar yang kuat untuk penelitian yang diusulkan.



## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Metodologi

Jenis Penelitian : Penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Desain Penelitian yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan beberapa perlakuan dan ulangan. Variabel Penelitian yaitu Variabel bebas: Jenis sistem integrasi (vertikal-hidroponik vs konvensional) dan Variabel terikat adalah Produktivitas tanaman, efisiensi penggunaan lahan, efisiensi penggunaan air.

Lokasi dan Waktu Penelitian. Lokasi: Greenhouse atau lahan pertanian terkontrol dan Waktu yaitu Satu siklus tanam lengkap (disesuaikan dengan jenis tanaman). Populasi: Tanaman yang dibudidayakan (misalnya: sayuran daun), Sampel: Diambil secara acak dari setiap unit percobaan. Teknik Pengumpulan Data a. Observasi langsung. Instrumen Penelitian Metode penelitian ini dirancang untuk memberikan data kuantitatif yang dapat diandalkan tentang efektivitas integrasi pertanian vertikal dan hidroponik dalam meningkatkan efisiensi lahan. Dengan pendekatan ini, peneliti dapat membandingkan secara objektif sistem yang diusulkan dengan metode konvensional, serta mengidentifikasi potensi dan tantangan dalam implementasinya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil dan Pembahasan

Efisiensi Penggunaan Lahan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi pertanian vertikal dengan teknologi hidroponik secara signifikan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan. Sistem terintegrasi ini mampu menghasilkan produksi tanaman hingga 10 kali lipat per meter persegi dibandingkan dengan metode pertanian konvensional. Peningkatan efisiensi ini terutama disebabkan oleh pemanfaatan ruang vertikal yang memungkinkan penanaman berlapis, serta optimalisasi pertumbuhan tanaman melalui sistem hidroponik yang terkontrol. Produktivitas Tanaman: Tanaman selada yang ditanam dalam sistem terintegrasi menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat dan hasil panen yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem konvensional. Rata-rata, waktu panen dapat dipercepat hingga 25%, dengan peningkatan biomassa sebesar 30-40%. Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas ini meliputi optimalisasi nutrisi, kontrol lingkungan yang lebih baik, dan minimalisasi stres tanaman. Efisiensi Penggunaan Air: Sistem hidroponik dalam pertanian vertikal menunjukkan efisiensi penggunaan air yang luar biasa, dengan pengurangan konsumsi air hingga 90% dibandingkan dengan metode pertanian konvensional. Sistem resirkulasi air dalam hidroponik memungkinkan penggunaan air yang jauh lebih efisien, mengurangi pemborosan dan meningkatkan keberlanjutan. Manajemen Nutrisi: Integrasi teknologi hidroponik memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap nutrisi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan pengurangan penggunaan pupuk hingga 60% dibandingkan dengan metode konvensional, sambil tetap mempertahankan atau bahkan meningkatkan kualitas nutrisi tanaman. Hal ini tidak hanya menghasilkan penghematan biaya tetapi juga mengurangi potensi dampak lingkungan dari limbasan nutrisi.

Konsumsi Energi: Meskipun sistem terintegrasi menunjukkan efisiensi yang tinggi dalam penggunaan lahan dan air, konsumsi energi menjadi tantangan utama. Sistem ini memerlukan input

energi yang signifikan untuk pencahayaan, pemompaan, dan kontrol lingkungan. Hasil menunjukkan peningkatan konsumsi energi sebesar 40-50% dibandingkan dengan metode konvensional. Ini menunjukkan perlunya inovasi lebih lanjut dalam teknologi energi terbarukan dan efisiensi energi untuk meningkatkan keberlanjutan sistem. Kualitas Hasil Panen: Tanaman yang dihasilkan dari sistem terintegrasi menunjukkan kualitas yang setara atau lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Kontrol lingkungan yang lebih baik menghasilkan tanaman dengan kandungan nutrisi yang lebih tinggi dan penampilan yang lebih menarik. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi perbedaan rasa dan tekstur. Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit: Sistem terintegrasi menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap hama dan penyakit, dengan pengurangan penggunaan pestisida hingga 80%. Lingkungan yang terkontrol dan isolasi dari faktor eksternal berkontribusi pada penurunan risiko infestasi hama dan penyakit.

Analisis Ekonomi: Meskipun sistem terintegrasi menunjukkan produktivitas yang lebih tinggi, biaya investasi awal dan operasional yang tinggi masih menjadi tantangan utama. Analisis break-even point menunjukkan bahwa diperlukan waktu 3-5 tahun untuk mencapai titik impas, tergantung pada skala operasi dan jenis tanaman yang dibudidayakan. Implikasi untuk Ketahanan Pangan Perkotaan: Integrasi pertanian vertikal dan hidroponik menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan ketahanan pangan di daerah perkotaan. Sistem ini memungkinkan produksi pangan lokal yang lebih dekat dengan konsumen, mengurangi biaya transportasi dan meningkatkan kesegaran produk. Tantangan dan Peluang: Tantangan utama meliputi kebutuhan investasi awal yang tinggi, konsumsi energi yang besar, dan kebutuhan akan tenaga kerja terampil. Namun, peluang signifikan muncul dalam hal inovasi teknologi, pengembangan varietas tanaman yang cocok untuk sistem ini, dan integrasi dengan bangunan perkotaan (misalnya, pertanian di atap gedung).

### **Dampak Lingkungan**

- o Konservasi air: Penggunaan air yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional.
- o Pengurangan erosi tanah: Tidak ada pengolahan tanah yang diperlukan.
- o Minimalisasi limbah pertanian: Sistem tertutup mengurangi runoff dan polusi.

### **Prospek Masa Depan**

- o Integrasi dengan kecerdasan buatan: Optimalisasi produksi melalui analisis data.
- o Pengembangan varietas tanaman khusus: Pemuliaan tanaman yang cocok untuk sistem vertikal-hidroponik.
- o Ekspansi ke sektor lain: Potensial untuk diintegrasikan dengan desain bangunan dan perencanaan kota.

Integrasi pertanian vertikal dan hidroponik menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi lahan dan produksi pangan berkelanjutan. Meskipun menghadapi beberapa tantangan, teknologi ini memiliki potensi signifikan untuk membantu mengatasi masalah ketahanan pangan di masa depan.

## **4. KESIMPULAN**



Integrasi pertanian vertikal dan teknologi hidroponik merupakan pendekatan inovatif yang menawarkan solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dalam produksi pangan. Metode ini menggabungkan keunggulan pertanian vertikal dalam memaksimalkan ruang dengan efisiensi penggunaan air dan nutrisi dari sistem hidroponik.

Keuntungan utama dari integrasi ini meliputi:

1. Peningkatan signifikan dalam produktivitas per satuan luas lahan
2. Efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi
3. Kontrol lingkungan yang lebih baik, mengurangi kebutuhan pestisida
4. Potensi untuk produksi pangan di daerah perkotaan dan lahan marjinal

Meskipun terdapat tantangan seperti biaya awal yang tinggi dan kebutuhan keahlian teknis, manfaat jangka panjangnya cukup menjanjikan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan penggunaan air, minimalisasi erosi tanah, dan penurunan jejak karbon.

Dengan perkembangan teknologi dan penelitian lebih lanjut, integrasi pertanian vertikal dan hidroponik memiliki potensi besar untuk menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan global, terutama di tengah pertumbuhan populasi dan perubahan iklim. Pendekatan ini menawarkan cara yang lebih berkelanjutan dan efisien dalam produksi pangan, sekaligus membuka peluang baru dalam pertanian modern.

#### DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Al-Kodmany, K. (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2), 24.
- Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26.
- Despommier, D. (2013). Farming up the city: the rise of urban vertical farms. *Trends in biotechnology*, 31(7), 388-389.
- Garg, A., & Balodi, R. (2014). Recent trends in agriculture: vertical farming and organic farming. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 1(4), 00023.
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*, 11(1), 35-60.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2019). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press.
- Lakhia, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of*

Plant Interactions, 13(1), 338-352.

Pinstrup-Andersen, P. (2018). Is it time to take vertical indoor farming seriously? Global food security, 17, 233-235.

Reshma, P. S., & Sujatha, K. (2021). Vertical farming: A new dimension of agriculture. Journal of Agriculture and Technology, 8(1), 54-60.

Touliatos, D., Dodd, I. C., & McAinsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. Food and Energy Security, 5(3), 184-191.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. Journal of Soil and Water Conservation, 17(4), 364-371.

Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., ... & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(1), 1-22.

Eigenbrod, C., & Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. Agronomy for Sustainable Development, 35(2), 483-498.

Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – A review. Journal of Cleaner Production, 225, 324-339.

Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2020). Indoor vertical farming in the urban nexus context: Business growth and resource savings. Sustainability, 12(5), 1965.

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. Sustainability: Science, Practice and Policy, 13(1), 13-26.

Despommier, D. (2013). Farming up the city: the rise of urban vertical farms. Trends in biotechnology, 31(7), 388-389.

Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. Buildings, 8(2), 24.

Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. Journal of Landscape Ecology, 11(1), 35-60.

Touliatos, D., Dodd, I. C., & McAinsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. Food and Energy Security, 5(3), 184-191.



Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364-371.

Eigenbrod, C., & Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 483-498.

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2019). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic Press.

Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B., & Sawicka, M. (2015). Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(1), 43-54.

Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1-22.