



# Pemberdayaan Masyarakat melalui Pelatihan Pertanian Hidroponik di Yayasan Nurul Haq Al-Madani Kota Batam

Erlina Rahmayuni<sup>1,\*</sup>, Mohammad Iqbal Amirullah<sup>1</sup>, Welly Herman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

## Informasi Artikel

Sejarah Artikel:

Submit: 19 Januari 2026

Revisi: 20 Januari 2026

Diterima: 30 Januari 2026

Diterbitkan: 31 Januari 2026

## Kata Kunci

Hidroponik, Pemberdayaan Masyarakat, Pertanian Perkotaan

## Correspondence

E-mail: [erlina.rahmayuni@umj.ac.id](mailto:erlina.rahmayuni@umj.ac.id) \*

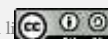
## A B S T R A K

Keterbatasan lahan dan rendahnya kualitas tanah di wilayah perkotaan menjadi tantangan dalam pengembangan pertanian konvensional dan pemenuhan pangan mandiri. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan santri serta tenaga pendidik Yayasan Nurul Haq Al-Madani, Kota Batam, melalui pelatihan pertanian hidroponik sistem wick sebagai alternatif budidaya pada lahan terbatas. Metode pelaksanaan dilakukan secara partisipatif melalui tahapan persiapan, penyuluhan, praktik penanaman kangkung hidroponik, pendampingan, dan evaluasi. Pendekatan learning by doing diterapkan agar peserta memperoleh pemahaman konseptual sekaligus keterampilan aplikatif. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pemahaman peserta terhadap konsep hidroponik, kemampuan merakit instalasi sederhana, serta keterampilan dalam penyemaian, penanaman, dan pemeliharaan tanaman. Monitoring pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa kangkung hidroponik tumbuh dengan baik tanpa kendala berarti, menandakan sistem wick mudah diterapkan dan sesuai untuk skala rumah tangga maupun lembaga pendidikan. Kegiatan ini mendapat respons positif dari peserta dan pengelola yayasan, serta berpotensi mendukung ketahanan pangan skala kecil dan pengembangan pertanian perkotaan yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, pelatihan hidroponik ini efektif sebagai upaya pemberdayaan masyarakat berbasis edukasi dan pemanfaatan ruang terbatas.

## Abstract

Limited land and poor soil quality in urban areas pose challenges to the development of conventional agriculture and self-sufficient food production. This community service activity aims to improve students' and educators' knowledge and skills at the Nurul Haq Al-Madani Foundation in Batam City through training on the wick system of hydroponic farming as an alternative cultivation method for limited land. The implementation method was carried out in a participatory manner through the following stages: preparation, counseling, hydroponic kale planting practice, mentoring, and evaluation. A learning-by-doing approach was used to help participants gain both conceptual understanding and application skills. The activity results showed increases in participants' understanding of hydroponics, their ability to assemble simple installations, and their skills in sowing, planting, and plant maintenance. Monitoring plant growth showed that hydroponic kale grew well without significant issues, indicating that the wick system is easy to implement and suitable for both household and educational settings. This activity received positive responses from participants and foundation managers and has the potential to support small-scale food security and sustainable urban agriculture. Overall, this hydroponic training was practical, empowering communities through education and efficient use of limited space.

This is an open access article under the CC-BY-SA 1



## 1. Pendahuluan

Perkembangan wilayah perkotaan yang pesat di Kota Batam berdampak pada semakin terbatasnya ketersediaan lahan pertanian produktif. Alih fungsi lahan, meningkatnya kepadatan

penduduk, serta karakteristik tanah perkotaan yang umumnya kurang subur menjadi kendala utama dalam pengembangan pertanian konvensional. Kondisi ini berimplikasi pada rendahnya peluang masyarakat untuk memenuhi kebutuhan pangan sehat secara mandiri, khususnya pada tingkat rumah tangga dan komunitas perkotaan.

Keterbatasan lahan dan kualitas tanah tersebut mendorong perlunya penerapan teknologi pertanian alternatif yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan. Salah satu teknologi yang berkembang dan relevan dalam konteks pertanian perkotaan adalah sistem hidroponik, yaitu metode budidaya tanaman tanpa tanah yang memanfaatkan larutan nutrisi atau media tanam alternatif sebagai sumber unsur hara. Berbagai media tanam seperti sabut kelapa, pasir, serat mineral, serbuk kayu, dan bahan inert lainnya berfungsi sebagai penyangga akar sekaligus mendukung penyerapan nutrisi tanaman [1]; [2]. Berbagai komoditas hortikultura, termasuk pakcoy, sawi, kailan, bayam, kangkung, tomat, dan bawang, telah terbukti dapat dibudidayakan secara optimal menggunakan sistem hidroponik [3]; [4]; [5].

Secara agronomis, sistem hidroponik memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan sistem pertanian berbasis tanah. Hidroponik memungkinkan efisiensi penggunaan air yang jauh lebih tinggi karena larutan nutrisi dapat disirkulasikan kembali, sehingga kehilangan air akibat perkolasi dan evaporasi dapat diminimalkan [6]; [5]. Selain itu, pengendalian hara yang lebih presisi pada sistem hidroponik dapat menekan penggunaan pestisida sintetis dan mengurangi risiko pencemaran lingkungan [7]; [8]. Pemanfaatan bahan daur ulang sebagai wadah dan media tanam, seperti botol plastik, ember bekas, dan pipa PVC, juga menjadikan hidroponik sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular [9]; [10].

Dalam konteks pemberdayaan masyarakat, penerapan teknologi hidroponik memerlukan peningkatan pengetahuan dan keterampilan agar dapat diadopsi secara efektif. Yayasan Nurul Haq Al-Madani di Kota Batam merupakan lembaga sosial-keagamaan yang memiliki peran strategis dalam pembinaan pendidikan, karakter, dan pemberdayaan masyarakat. Sejak berdiri, yayasan ini aktif dalam kegiatan keagamaan dan sosial, namun pemanfaatan pekarangan dan ruang terbatas di lingkungan yayasan maupun masyarakat sekitar belum dimaksimalkan untuk kegiatan produktif berbasis pangan. Rendahnya literasi dan keterampilan terkait teknologi pertanian modern, khususnya hidroponik, menjadi salah satu faktor penghambat dalam pengembangan kemandirian pangan dan aktivitas ekonomi produktif masyarakat.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berorientasi pada pemberdayaan melalui pelatihan pertanian hidroponik yang bersifat aplikatif dan berkelanjutan. Kegiatan pelatihan ini tidak hanya bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan teknis peserta dalam budidaya tanaman hidroponik, tetapi juga mendorong perubahan pola pikir masyarakat agar lebih mandiri, kreatif, dan produktif dalam memanfaatkan ruang terbatas. Melalui kegiatan Pemberdayaan Masyarakat melalui Pelatihan Pertanian Hidroponik di Yayasan Nurul Haq Al-Madani, Kota Batam, diharapkan peserta mampu mengembangkan sistem budidaya sederhana yang berdaya guna, mendukung ketahanan pangan rumah tangga, serta memberikan nilai tambah ekonomi dan sosial secara berkelanjutan.

## **2. Metode Pelaksanaan**

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dilaksanakan dari bulan Agustus di Yayasan Nurul Haq Al-Madani, Kota Batam, dengan sasaran utama pengurus yayasan, santri dan santriwati, serta masyarakat sekitar. Metode pelaksanaan dirancang secara partisipatif, edukatif, dan aplikatif agar peserta tidak hanya memperoleh pemahaman konseptual, tetapi juga mampu menerapkan teknologi hidroponik secara mandiri dan berkelanjutan. Program pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan

pertanian hidroponik dilaksanakan melalui empat tahapan utama seperti tersaji dalam diagram alir berikut (Gambar 1).



**Gambar 1.** Diagram alir pelaksanaan kegiatan pengabdian

Uraian dari diagram alir sebagai berikut :

### 1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan bertujuan memastikan kesesuaian program dengan kebutuhan dan kondisi mitra. Kegiatan pada tahap ini meliputi:

- 1) Koordinasi dengan mitra, yaitu pengurus Yayasan Nurul Haq Al-Madani, untuk menentukan waktu, lokasi, dan sasaran peserta kegiatan.
- 2) Identifikasi kebutuhan dan permasalahan mitra, khususnya terkait keterbatasan lahan, pemanfaatan ruang sempit, serta tingkat pengetahuan awal peserta tentang pertanian hidroponik.
- 3) Penyusunan materi pelatihan, yang mencakup konsep dasar hidroponik, pengenalan sistem hidroponik sederhana, media tanam dan larutan nutrisi, serta teknik pemeliharaan tanaman.
- 4) Persiapan alat dan bahan, seperti instalasi hidroponik sederhana sistem wick, media tanam, benih kangkung, larutan nutrisi, serta peralatan pendukung yang mudah diperoleh dan ekonomis.

### 2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan dilakukan dengan pendekatan learning by doing, sehingga peserta terlibat secara aktif dalam seluruh rangkaian kegiatan. Tahap ini meliputi:

- 1) Penyuluhan Teknik Hidroponik, kegiatan penyuluhan bertujuan memberikan pemahaman dasar kepada peserta mengenai konsep pertanian hidroponik sebagai salah satu bentuk pertanian modern tanpa tanah. Materi yang disampaikan meliputi prinsip kerja hidroponik, keunggulan dan keterbatasannya dibandingkan pertanian konvensional, jenis-jenis sistem hidroponik, serta potensi ekonomi yang dapat dikembangkan. Penyuluhan difokuskan pada pengenalan sistem wick sebagai sistem yang sederhana dan mudah diterapkan pada skala rumah tangga.
- 2) Praktik Penanaman Kangkung Hidroponik Sistem Wick, Sebagai tindak lanjut penyuluhan, peserta melakukan praktik langsung penanaman kangkung menggunakan sistem wick. Kegiatan praktik meliputi persiapan media tanam, penyemaian dan penanaman benih, pembuatan instalasi sederhana, pencampuran larutan nutrisi, serta teknik perawatan tanaman. Kegiatan ini bertujuan meningkatkan keterampilan teknis dan kepercayaan diri peserta dalam menerapkan hidroponik secara mandiri.

- 3) Diskusi dan Tanya Jawab, sesi diskusi dilakukan untuk membahas kendala yang dihadapi peserta selama praktik, sekaligus menjadi sarana pertukaran pengalaman dan pengetahuan terkait budidaya hidroponik di lingkungan dengan keterbatasan lahan.

### 3. Tahap Pendampingan dan Monitoring

Pendampingan dilakukan secara berkala setelah kegiatan praktik untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan program. Kegiatan pendampingan meliputi:

- 1) Monitoring pertumbuhan tanaman hidroponik yang telah ditanam.
- 2) Pengamatan kondisi fisik tanaman, seperti pertumbuhan daun dan batang.
- 3) Pemberian arahan teknis terkait perawatan tanaman, penyesuaian larutan nutrisi, serta pengendalian gangguan hama dan penyakit secara ramah lingkungan.

### 4. Tahap Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas pelaksanaan program dan dampaknya terhadap peningkatan kapasitas peserta. Evaluasi meliputi:

- 1) Evaluasi pemahaman peserta, berdasarkan keaktifan diskusi dan kemampuan peserta menjelaskan kembali konsep hidroponik.
- 2) Evaluasi keberhasilan praktik, dilihat dari pertumbuhan dan kondisi tanaman kangkung hidroponik.
- 3) Evaluasi keberlanjutan program, yaitu potensi peserta dalam melanjutkan dan mengembangkan kegiatan hidroponik secara mandiri di lingkungan yayasan maupun rumah tangga.

Hasil evaluasi digunakan sebagai bahan perbaikan program serta sebagai dasar pengembangan kegiatan pemberdayaan masyarakat berbasis pertanian perkotaan yang berkelanjutan

## 3. Hasil dan Pembahasan

Program pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan dan pengenalan pertanian hidroponik di Yayasan Nurul Haq Al-Madani merupakan kegiatan edukatif yang bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan santri serta tenaga pendidik dalam menerapkan teknologi pertanian modern pada lahan terbatas. Kegiatan ini diikuti oleh sepuluh santri aktif dan tiga tenaga pengajar yayasan, dengan rangkaian kegiatan meliputi penyuluhan, praktik penanaman kangkung hidroponik sistem wick, serta monitoring pertumbuhan tanaman.

### 3.1. Pelaksanaan Penyuluhan Hidroponik Sistem Wick

Kegiatan penyuluhan pertanian hidroponik sistem wick dilaksanakan di ruang kelas santri. Pada tahap ini, peserta diberikan materi mengenai konsep dasar pertanian hidroponik, jenis-jenis sistem hidroponik yang umum digunakan, serta potensi dan keunggulannya dibandingkan dengan pertanian konvensional, khususnya dalam kondisi keterbatasan lahan. Penyampaian materi dilanjutkan dengan sesi diskusi interaktif, yang memungkinkan santri dan santriwati untuk menggali pemahaman lebih lanjut terkait metode budidaya serta peluang pengembangan hidroponik sebagai kegiatan produktif.

Respons peserta selama kegiatan menunjukkan tingkat antusiasme yang tinggi. Hal ini tercermin dari keaktifan santri dan santriwati dalam mengajukan pertanyaan seputar teknik budidaya, perawatan tanaman, serta kemungkinan penerapan hidroponik sebagai usaha sederhana. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penyuluhan yang dilakukan mampu meningkatkan minat dan kesadaran peserta terhadap pemanfaatan teknologi pertanian yang adaptif di lingkungan dengan keterbatasan lahan (Gambar 2).



**Gambar 2.** Sesi penyuluhan

Kegiatan pelatihan yang mengintegrasikan sosialisasi, praktik sederhana, dan diskusi kelompok efektif dalam meningkatkan pemahaman serta keterampilan peserta [11]. Pelatihan hidroponik pada kelompok pemuda dan ibu rumah tangga mampu meningkatkan pengetahuan dan kesiapan peserta dalam menerapkan teknologi hidroponik secara mandiri di lingkungan rumah tangga. Selain itu, peningkatan kesadaran peserta terhadap teknologi pertanian modern tercermin dari ketertarikan mereka terhadap sistem wick yang dinilai sederhana, efisien, dan mudah diterapkan. Beberapa studi melaporkan bahwa pelatihan hidroponik dapat meningkatkan tingkat pengetahuan peserta secara signifikan, dari 61,81% menjadi 88,13% [12], serta berkontribusi terhadap penguatan ketahanan pangan rumah tangga melalui produksi sayuran yang berkelanjutan.

Minat peserta terhadap pengembangan hidroponik sebagai usaha sederhana menunjukkan potensi positif bagi adopsi teknologi pertanian di komunitas dengan sumber daya terbatas. Pendekatan pemberdayaan yang berkelanjutan, seperti konsep Green Empowerment, mendukung penguatan kapasitas lokal dan mendorong kemandirian pangan masyarakat [11]. Pemberian pengetahuan dan keterampilan praktis terbukti dapat meningkatkan motivasi peserta untuk mengembangkan hidroponik, baik sebagai sumber pendapatan tambahan maupun sebagai bagian dari upaya menjaga keberlanjutan lingkungan [13]

### **3.2. Praktik Penanaman Kangkung Hidroponik Sistem Wick**

Tahap praktik merupakan implementasi langsung dari materi yang telah disampaikan. Peserta memperoleh pengalaman langsung dalam seluruh tahapan budidaya kangkung hidroponik sistem wick. Kegiatan diawali dengan penyemaian benih kangkung pada media rockwool. Setiap peserta mempraktikkan penempatan benih pada lubang tanam dengan jumlah dan jarak yang sesuai, serta diberikan pemahaman mengenai pentingnya menjaga kelembapan media dan kebersihan lingkungan untuk mencegah kontaminasi jamur (Gambar 3).

Setelah bibit berkecambah dan memiliki perakaran yang cukup kuat, peserta melanjutkan ke tahap perakitan instalasi hidroponik sistem wick. Pada tahap ini, santri diajarkan cara pemasangan kain flanel pada netpot sebagai media penyalur nutrisi dari larutan ke akar tanaman. Tahapan berikutnya adalah persiapan larutan nutrisi AB Mix. Peserta diberikan penjelasan mengenai prosedur pencampuran larutan A dan B dengan proporsi yang tepat, serta cara pengisian dan pemantauan larutan nutrisi selama masa pertumbuhan tanaman. Pemahaman ini penting untuk menjaga ketersediaan unsur hara yang optimal bagi tanaman hidroponik.



Gambar 3. Praktik Penanaman

Bibit yang telah siap kemudian dipindahkan ke dalam netpot. Peserta diajarkan teknik pemindahan bibit secara hati-hati agar tidak merusak akar, serta memastikan akar tanaman dapat menyerap larutan nutrisi melalui kain flanel. Untuk mendukung keberlanjutan pembelajaran, setiap peserta dibekali dengan flyer panduan praktik hidroponik sistem wick yang berisi tahapan budidaya mulai dari penyemaian hingga panen (Gambar 4). Media ini diharapkan dapat membantu peserta mengulang dan mengembangkan praktik hidroponik secara mandiri di rumah maupun di lingkungan yayasan.



Gambar 4. Flyer Panduan Budidaya Hidroponik

### 3.3. Monitoring Pertumbuhan Tanaman dan Evaluasi Kegiatan

Monitoring pertumbuhan tanaman dilakukan secara berkala melalui koordinasi daring menggunakan aplikasi WhatsApp dengan pengurus yayasan. Kegiatan monitoring bertujuan memastikan tanaman tumbuh optimal serta mengidentifikasi kendala yang mungkin muncul selama proses pemeliharaan. Hasil monitoring menunjukkan bahwa tanaman kangkung hidroponik tumbuh dengan baik, ditandai dengan pertumbuhan daun yang normal dan tidak ditemukan kegagalan tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem wick relatif mudah diterapkan dan berpotensi dikembangkan secara berkelanjutan di lingkungan yayasan.

Hasil pelaksanaan kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan pertanian hidroponik mampu meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta secara nyata. Kombinasi antara penyuluhan dan praktik langsung terbukti efektif dalam mendukung proses pembelajaran dan pemberdayaan santri. Sistem wick dipilih sebagai metode pelatihan karena kesederhanaannya, biaya yang relatif rendah, serta kesesuaiannya dengan kondisi lahan terbatas

Secara umum, kegiatan berjalan dengan baik dan mendapatkan respons positif dari pengurus, tenaga pengajar, dan santri. Faktor pendukung keberhasilan kegiatan meliputi dukungan fasilitas dari yayasan, ketersediaan alat dan bahan yang memadai, serta kerja sama yang baik antara tim pelaksana dan pihak mitra. Namun demikian, terdapat kendala berupa keterlambatan kehadiran sebagian peserta pada awal kegiatan, yang menyebabkan penyesuaian jadwal pelaksanaan.

Kendala tersebut dapat diatasi melalui pengaturan ulang alur kegiatan tanpa mengurangi substansi materi. Peserta yang hadir terlambat tetap diarahkan mengikuti sesi penyuluhan dan praktik sehingga memperoleh pemahaman yang utuh. Untuk meningkatkan efektivitas kegiatan serupa di masa mendatang, diperlukan koordinasi yang lebih intensif dengan pihak yayasan serta penyampaian informasi kegiatan lebih awal.

Secara keseluruhan, program pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan pertanian hidroponik di Yayasan Nurul Haq Al-Madani berhasil mencapai tujuan kegiatan, yaitu meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dasar budidaya hidroponik, serta menumbuhkan kesadaran akan pemanfaatan lahan dan ruang terbatas secara produktif dan berkelanjutan.

### 3.4. Hasil Peningkatan Pengetahuan Peserta (Pre-test dan Post-test)

Evaluasi keberhasilan kegiatan pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan hidroponik dilakukan menggunakan instrumen pre-test dan post-test yang diberikan kepada seluruh peserta, terdiri atas 10 santri dan 3 tenaga pengajar. Instrumen evaluasi dirancang untuk mengukur pemahaman peserta terkait konsep dasar hidroponik, pengenalan sistem wick, fungsi nutrisi AB Mix, serta tahapan budidaya kangkung hidroponik.

Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan tingkat pengetahuan peserta setelah pelaksanaan kegiatan. Nilai rata-rata pre-test berada pada kategori sedang, yang mencerminkan keterbatasan pemahaman awal peserta terhadap teknologi hidroponik. Setelah mengikuti rangkaian penyuluhan dan praktik langsung, nilai rata-rata post-test meningkat secara nyata dan berada pada kategori tinggi. Peningkatan ini terjadi pada seluruh peserta, yang mengindikasikan bahwa pelatihan mampu menjembatani kesenjangan pengetahuan awal dan memperkuat pemahaman teknis peserta terhadap sistem hidroponik wick.

Peningkatan hasil post-test dibandingkan pre-test menunjukkan bahwa pelatihan hidroponik sistem wick efektif dalam meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dasar peserta, khususnya dalam konteks pemanfaatan lahan terbatas. Sistem wick yang bersifat sederhana, mudah dirakit, dan berbiaya relatif rendah terbukti mudah dipahami dan diterapkan oleh peserta dengan latar belakang non-pertanian.

#### 4. Kesimpulan

Pelatihan pertanian hidroponik sistem wick di Yayasan Nurul Haq Al-Madani berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan santri serta tenaga pendidik dalam memanfaatkan lahan terbatas secara produktif. Pendekatan partisipatif melalui penyuluhan dan praktik langsung mendorong kemampuan peserta menerapkan hidroponik secara mandiri, yang ditunjukkan oleh pertumbuhan tanaman kangkung yang baik. Kegiatan ini berpotensi mendukung ketahanan pangan skala kecil dan keberlanjutan program pertanian perkotaan berbasis pemberdayaan masyarakat

#### Daftar Pustaka

- [1] J. Xiong, Y. Tian, J. Wang, W. Liu, and Q. Chen, "Comparison of Coconut Coir , Rockwool , and Peat Cultivations for Tomato Production : Nutrient Balance , Plant Growth and Fruit Quality," *Front. Plant Sci.*, vol. 8, no. 1327, pp. 1-9, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.01327.
- [2] S. Al Firdauzi, N. N. Rizkiyah, R. Hidayatullah, S. Soeparjono, and M. N. Khozin, "Response Water Spinach ( Ipomoea Aquatica ) to Different Medium Treatment with AB Mix Nutrients on The Cultivation Hydroponic DFT ( Deep Flow Technique )," *J. Soilscape Agric.*, vol. 1, no. 2, pp. 76-82, 2023.
- [3] D. Joshi, A. Nainabasti, R. B. P. Awasthi, D. Banjade, S. Malla, and B. Subedi, "A Review on Soilless Cultivation : The Hope of Urban Agriculture," *Arch. Agric. Environ. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 473-481, 2022, doi: 10.26832/24566632.2022.0703022.
- [4] S. R. Malik, Sulmi, H. Khatima, L. Damayanti, and R. A. Rauf, "Hydroponic Vegetable Marketing Strategy in Palu City Indonesia," *Agrol. Agric. Sci. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 144-151, 2021.
- [5] A. A. Stegelmeier, D. M. Rose, B. R. Joris, and Bernard R. Glick, "The Use of PGPB to Promote Plant Hydroponic Growth," *Plants*, vol. 11, no. 2783, pp. 1-28, 2022.
- [6] P. Sambo *et al.*, "Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems : Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective," *Front. Plant Sci.*, vol. 10, no. 923, pp. 1-17, 2019, doi: 10.3389/fpls.2019.00923.
- [7] M. Majid, J. N. Khan, and H. Bano, "Study of the Phenology of Saffron ( *Crocus sativus* L . ) Grown in Soilless Media under Protected Environment," *Int. J. Environ. Clim. Chang.*, vol. 13, no. 9, pp. 819-830, 2023, doi: 10.9734/IJECC/2023/v13i92303.
- [8] H. J. Muhasin, A. Y. Ghenni, N. I. I. Tajuddin, N. A. Izni, Y. Y. Jusoh, and K. A. Aziz, "A systematic literature review for smart hydroponic system," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 13, no. 1, pp. 656-664, 2024, doi: 10.11591/eei.v13i1.4738.
- [9] N. S. Gruda, "Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems," *Agronomy*, vol. 9, no. 298, pp. 1-24, 2019, doi: 10.3390/agronomy9060298.
- [10] L. Wimmerova, Z. Keken, O. Solcova, L. Bartos, and M. Spacilova, "A Comparative LCA of Aeroponic , Hydroponic , and Soil Cultivations of Bioactive Substance Producing Plants," *Sustain.*, vol. 14, no. 2421, pp. 1-14, 2022, doi: 10.3390/su14042421.
- [11] F. N. Masithoh, A. A. Dewi, W. F. Nuzula, and M. Rohmah, "Green Empowerment K Integrasi Teknologi Hidroponik dan Nilai Lokal Menuju Komunitas Pangan Mandiri," *J. Community Empower.*, vol. 4, no. 1, pp. 188-194, 2025.
- [12] N. Fajeriana, H. Tahang, M. A. A. Kadir, S. Nurjannah, and I. Febriadi, "Urban Farming : Budidaya Sayuran Daun di Lahan Sempit dengan Pemanfaatan Sampah Organik dan Anorganik," *J. Masy. Mandiri*, vol. 9, no. 3, pp. 1-6, 2025.
- [13] E. Suryani, L. V. Putra, N. M. Muf"afidah, and C. Hidayah, "Analysis of the Hydroponics Program in Instilling an Environmental Care Attitude for Elementary School Students," *J. Penelit. dan Pengkaj. Ilmu Pendidik. e-Saintika*, vol. 4, no. 3, pp. 299-307, 2020.