



## Menakar Tantangan dan Peluang Implementasi Hidroponik Berbasis *Eco-Enzyme* di Wilayah Perkotaan Padat Penduduk (Studi Manajerial di Kelurahan Bendan Ngisor, Kota Semarang)

Apri Kuntariningsih<sup>1\*</sup>, Andhi Supriyadi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Pariwisata Indonesia, Indonesia

Email: [aprikuntariningsih@stiepari.ac.id](mailto:aprikuntariningsih@stiepari.ac.id)<sup>1</sup>, [andhisupriyadi@stiepari.ac.id](mailto:andhisupriyadi@stiepari.ac.id)<sup>2</sup>

Alamat: Bendan Ngisor, 50233 Kota Semarang, Jawa Tengah Indonesia

Korespondensi penulis: [aprikuntariningsih@stiepari.ac.id](mailto:aprikuntariningsih@stiepari.ac.id)\*

**Abstract.** *The problem of food security and organic waste management in densely populated urban areas is a strategic issue in sustainable development. This study aims to analyze the challenges and opportunities for implementing eco-enzyme-based hydroponics as an alternative solution for efficient and environmentally friendly urban agriculture, with a case study in Bendan Ngisor Village, Semarang City. A managerial approach is used to review aspects of planning, organizing, implementing, and supervising community-based programs. The research method used is qualitative descriptive with data collection techniques through interviews, observations, and documentation. Initial results indicate that limited land, low environmental literacy, and initial capital requirements are the main challenges. However, the high enthusiasm of the community, the potential for utilizing household waste, and community support are strategic opportunities. This study provides implementation recommendations for the development of eco-enzyme-based hydroponics in the context of urban community management.*

**Keywords:** *Bendan Ngisor Village, Community Management, Eco-Enzyme, Hydroponics, Urban Agriculture.*

**Abstrak.** Permasalahan ketahanan pangan dan pengelolaan limbah organik di wilayah perkotaan padat penduduk menjadi isu strategis dalam pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tantangan dan peluang implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme sebagai alternatif solusi pertanian urban yang efisien dan ramah lingkungan di Kelurahan Bendan Ngisor, Kota Semarang. Pendekatan manajerial digunakan untuk meninjau aspek perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengawasan program berbasis masyarakat. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan teknik pengumpulan data melalui wawancara, observasi, dan dokumentasi. Hasil awal menunjukkan bahwa keterbatasan lahan, rendahnya literasi lingkungan, dan kebutuhan modal awal menjadi tantangan utama. Namun, tingginya antusiasme masyarakat, potensi pemanfaatan limbah rumah tangga, serta dukungan komunitas menjadi peluang strategis. Kajian ini memberikan rekomendasi implementatif bagi pengembangan hidroponik berbasis eco-enzyme dalam konteks manajemen masyarakat perkotaan.

**Kata kunci:** Kelurahan Bendan Ngisor, Manajemen Masyarakat, Eco-enzyme, Hidroponik, Pertanian Perkotaan.

### 1. LATAR BELAKANG

Perubahan pola hidup dan pertumbuhan penduduk di kawasan perkotaan menyebabkan tingginya permintaan pangan, sementara ketersediaan lahan produktif semakin terbatas. Di sisi lain, masalah lingkungan seperti akumulasi limbah organik juga menjadi tantangan serius. Situasi ini mendorong pentingnya inovasi dalam sektor pertanian perkotaan, salah satunya melalui pengembangan hidroponik berbasis eco-enzyme.

Hidroponik merupakan metode bercocok tanam tanpa tanah yang menggunakan media air dan nutrisi, sangat sesuai diterapkan di lahan sempit seperti pekarangan, balkon, hingga atap rumah. Penggunaan eco-enzyme, hasil fermentasi limbah organik seperti sisa sayur dan buah,

berfungsi sebagai pupuk cair alami yang dapat menggantikan pupuk kimia dan sekaligus menjadi solusi pengolahan sampah rumah tangga. Peningkatan populasi perkotaan dan keterbatasan lahan pertanian menjadi tantangan signifikan dalam mewujudkan ketahanan pangan yang berkelanjutan. Wilayah perkotaan yang padat penduduk, seperti kota-kota besar di Indonesia, menghadapi keterbatasan ruang hijau dan degradasi kualitas lingkungan akibat limbah domestik. Di sisi lain, kebutuhan pangan terus meningkat, sementara produksi lokal sering kali tidak mencukupi, sehingga ketergantungan pada pasokan dari luar kota menjadi tinggi. Peran penting ruang terbuka hijau perkotaan dalam mempromosikan kesehatan lingkungan melalui pelestarian keanekaragaman hayati, peningkatan kualitas udara, pengaturan suhu, dan peningkatan kesejahteraan secara keseluruhan Edeigba, et al., (2024).

Hidroponik, sebagai sistem pertanian tanpa tanah, menawarkan solusi untuk memanfaatkan lahan sempit secara efisien. Namun, implementasi hidroponik di perkotaan masih menghadapi sejumlah kendala, seperti biaya operasional yang relatif tinggi, kurangnya kesadaran masyarakat, dan minimnya teknologi berbasis keberlanjutan. Namun demikian Hidroponik komersial dan perkotaan berkembang pesat, menyediakan hasil panen segar sepanjang tahun. Lingkungan hidroponik yang terkendali menghasilkan tanaman berkualitas lebih tinggi dan pemanfaatan sumber daya yang efisien (Kumar, et al., 2023). Perlunya metode yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan efisien untuk memenuhi kebutuhan pangan global yang terus bertambah, menjadikan hidroponik sebagai pesaing utama Sharma, et al., (2023). Hidroponik memiliki potensi besar untuk produksi tanaman tetapi memerlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan aksesibilitas dan keberlanjutan Ghimire and Karki, (2023).

Eco-enzyme, yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik rumah tangga, memiliki potensi besar sebagai nutrisi alami untuk sistem hidroponik sekaligus sebagai upaya pengelolaan limbah organik. Eco-enzyme dibuat melalui proses fermentasi sederhana dengan bahan utama limbah organik (seperti sisa buah dan sayur), gula merah, dan air. Proses ini menghasilkan larutan yang kaya akan enzim, mikroorganisme, serta senyawa organik yang dapat berfungsi sebagai pupuk alami. Selain itu, eco-enzyme juga memiliki sifat antimikroba dan kemampuan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Produk Eco-Enzyme yang dapat digunakan sebagai disinfektan, campuran deterjen pembersih lantai, pembersih residu pestisida, pembersih kerak dan penurun suhu radiator mobil, pembersih tangan (hand sanitizer) dan juga obat luka kulit Purba, et al., (2024). Dengan karakteristik ini, eco-enzyme berpotensi menggantikan atau melengkapi nutrisi kimia dalam hidroponik, menjadikannya solusi yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya. Selain mampu menciptakan lingkungan

yang bersih, hasil eco-enzyme juga memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan Nafilah, et al., (2024).

Namun, penerapan sinergi antara hidroponik dan eco-enzyme belum banyak diteliti, terutama dalam konteks perkotaan padat penduduk. Tantangan yang dihadapi meliputi standar formulasi eco-enzyme yang optimal untuk berbagai jenis tanaman, potensi efek samping terhadap sistem hidroponik, serta metode integrasi yang efisien. Penelitian ini penting untuk mengisi kesenjangan pengetahuan terkait manfaat, kendala, dan strategi implementasi eco-enzyme dalam hidroponik, khususnya pada lingkungan dengan ruang terbatas dan tingkat produksi limbah organik yang tinggi. Sehingga dapat dirumuskan mengenai permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Bagaimana tantangan utama dalam implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk?
2. Sejauh mana peluang penerapan teknologi ini dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat perkotaan?
3. Apa langkah strategis yang diperlukan untuk mengatasi kendala dan memanfaatkan potensi eco-enzyme dalam sistem hidroponik?

State of the art penelitian terkait hidroponik menunjukkan kemajuan pesat dalam penggunaan teknologi canggih, seperti sistem otomatisasi dan integrasi IoT. Di sisi lain, eco-enzyme telah banyak dikembangkan untuk aplikasi seperti pupuk organik dan pembersih lingkungan. Namun, integrasi eco-enzyme dalam sistem hidroponik, khususnya di lingkungan perkotaan padat penduduk, masih jarang diteliti.

Kebaruan penelitian ini terletak pada:

1. Sinergi Hidroponik dan Eco-Enzyme: Penggunaan eco-enzyme sebagai nutrisi alternatif yang murah dan ramah lingkungan untuk sistem hidroponik.
2. Konteks Perkotaan Padat Penduduk: Fokus pada pengembangan model implementasi yang sesuai dengan keterbatasan ruang dan kondisi sosial ekonomi masyarakat perkotaan.
3. Pendekatan Partisipatif: Melibatkan masyarakat secara langsung dalam proses penelitian dan penerapan teknologi.

Rencana penelitian menerapkan peta jalan penelitian 5 Bulan ke depan dengan tahapan seperti:

1. Bulan Pertama: Studi pendahuluan/Tahap perencanaan dengan mengidentifikasi masalah dan kajian literatur mengenai karakteristik eco-enzyme dan formulasi yang optimal untuk sistem hidroponik.

2. Bulan Kedua: Pengumpulan data dengan observasi, wawancara dan dokumentasi melalui dampak ekonomi, sosial, dan lingkungan dari implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme.
3. Bulan Ketiga: Skalasi model ke tingkat komunitas, melibatkan kelompok masyarakat dalam proyek percontohan. Penelitian difokuskan pada aspek manajemen sistem dan optimalisasi biaya.
4. Bulan Keempat: analisis data disertai dengan pengolahan serta interpretasi data, selanjutnya publikasi hasil penelitian dan jika memungkinkan kerja sama dengan pemerintah serta sektor swasta untuk implementasi lebih luas.

**Tabel 1.** Roadmap Penelitian Sepanjang 5 Bulan

Tahap Penelitian	Aktivitas Utama	Durasi	Milestone
Studi Pendahuluan	Identifikasi masalah dan kajian literatur	1 Bulan	Proposal Selesai
Pengumpulan data	Observasi, wawancara dan dokumentasi	1 bulan	Data terkumpul 40%
Skalasi model ke tingkat komunitas	Manajemen sistem dan optimalisasi biaya	1 bulan	Data terkumpul 80%
Analisa data dan penulisan publikasi	Pengolahan data dan penulisan laporan publikasi	2-3 bulan	Laporan siap dipublikasikan

## 2. KAJIAN TEORITIS

### Konsep Hidroponik & Urban Agriculture

Hidroponik merupakan salah satu bentuk dari pertanian modern tanpa tanah (soilless culture) yang menekankan pada penyediaan unsur hara melalui larutan nutrisi yang langsung diserap oleh akar tanaman. Metode ini memanfaatkan media tanam inert seperti rockwool, vermiculite, cocopeat, atau arang sekam yang berfungsi hanya sebagai penyangga akar, sementara seluruh kebutuhan nutrisi disuplai melalui air yang diperkaya dengan mineral. Sistem ini terbukti mampu mempercepat siklus pertumbuhan tanaman, meningkatkan kualitas hasil panen, dan mengurangi risiko kontaminasi tanah yang sering kali menjadi sumber penyakit tanaman (Resh, 2020). Selain itu, hidroponik memungkinkan pengendalian lingkungan tumbuh (kelembaban, suhu, pH, dan EC) secara lebih presisi, yang menjadikannya sangat efisien, berkelanjutan, dan adaptif terhadap perubahan iklim serta tekanan lingkungan urban.

Dalam konteks urban agriculture atau pertanian kota, hidroponik memainkan peran penting sebagai solusi inovatif terhadap keterbatasan lahan produktif di wilayah perkotaan padat penduduk. Pertanian kota merupakan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan

produksi tanaman pangan, peternakan kecil, dan praktik berkelanjutan lainnya di dalam batas-batas kota atau pinggiran kota, dengan tujuan mendekatkan produksi pangan ke konsumen akhir, mengurangi emisi logistik, serta meningkatkan ketahanan dan kemandirian pangan rumah tangga (FAO, 2021). Dalam hal ini, hidroponik menjadi tulang punggung utama karena mampu memanfaatkan ruang vertikal seperti dinding, atap rumah, balkon, bahkan lahan sempit di gang-gang kecil yang sebelumnya tidak digunakan untuk kegiatan produktif.

Aminullah et al. (2023), dalam studi literturnya, menyatakan bahwa urban hydroponics dapat memberikan kontribusi signifikan dalam menciptakan sistem pangan lokal yang resilient. Di kota-kota besar dengan laju urbanisasi tinggi seperti Jakarta, Bandung, dan Semarang, hidroponik tidak hanya menawarkan solusi teknis terhadap keterbatasan ruang, tetapi juga mendorong partisipasi masyarakat dalam kegiatan produktif berbasis lingkungan. Di samping itu, hidroponik urban terbukti meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap keberlanjutan dan pengurangan jejak ekologis (ecological footprint). Dalam praktiknya, beberapa komunitas kota telah membentuk kelompok tani hidroponik skala kecil hingga menengah, memproduksi sayuran segar untuk kebutuhan lokal dan bahkan menyalurkan ke pasar mikro.

Dari perspektif sosial dan ekonomi, urban agriculture berbasis hidroponik juga membuka peluang pemberdayaan masyarakat, penciptaan lapangan kerja informal, serta diversifikasi pendapatan rumah tangga. Teknologi ini cocok dikembangkan di lingkungan padat penduduk karena tidak memerlukan lahan luas, dapat diintegrasikan dengan sistem daur ulang air, dan selaras dengan praktik pertanian organik, terutama jika dikombinasikan dengan penggunaan eco-enzyme atau pupuk hayati alami lainnya. Dengan demikian, hidroponik bukan hanya inovasi teknis, melainkan juga intervensi sosial-ekologis yang relevan dengan agenda pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada tujuan 2 (zero hunger), tujuan 11 (sustainable cities and communities), dan tujuan 12 (responsible consumption and production).

### **Eco-enzyme sebagai Teknologi Pendukung**

Eco-enzyme merupakan hasil fermentasi limbah organik khususnya sisa buah dan sayur dengan gula (biasanya gula merah atau molase) dan air dalam komposisi tertentu, yang difermentasi selama 3 hingga 6 bulan. Proses ini menghasilkan cairan berwarna coklat gelap dengan aroma asam khas, yang mengandung senyawa aktif seperti enzim protease, asam amino, dan mikroorganisme fermentatif yang bermanfaat. Produk ini dikenal multifungsi: dapat digunakan sebagai pupuk organik cair, pestisida alami, pembersih lingkungan, hingga penetralisir limbah kimia ringan (Kurniawan & Rukmana, 2022). Dalam konteks pertanian berkelanjutan, eco-enzyme menawarkan solusi ekologis yang murah, mudah dibuat, dan ramah

lingkungan sebagai alternatif terhadap input kimia yang sering merusak struktur tanah dan mencemari air tanah.

Pada sistem hidroponik, penggunaan eco-enzyme masih tergolong inovasi baru dan menjadi subjek penelitian yang terus berkembang. Tidak seperti pada sistem tanam konvensional, larutan hidroponik membutuhkan formulasi yang stabil dan tepat dalam hal pH, electrical conductivity (EC), dan keseimbangan unsur hara makro dan mikro. Oleh karena itu, adopsi eco-enzyme ke dalam sistem hidroponik memerlukan pendekatan cermat terkait dosis, waktu aplikasi, dan kompatibilitas dengan media tanam. Penelitian oleh Apriani (2024) menunjukkan bahwa pemberian eco-enzyme dengan dosis 5 ml/L dalam sistem hidroponik sumbu (wick system) mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot pakcoy secara signifikan dibandingkan kelompok kontrol. Hasil ini mengindikasikan bahwa eco-enzyme mampu berfungsi sebagai nutrisi tambahan sekaligus stimulan pertumbuhan tanaman dalam sistem tanpa tanah.

Lebih jauh, kandungan bioaktif dalam eco-enzyme seperti hormon tumbuh alami, senyawa anti-patogen, dan mikroba pengurai memungkinkan terjadinya peningkatan resistensi tanaman terhadap stres lingkungan maupun penyakit. Selain itu, eco-enzyme juga dapat memperbaiki kualitas air pada sistem hidroponik dengan menurunkan kadar senyawa beracun dan memperbaiki kondisi mikrobiologis larutan nutrisi (Pratama & Sugiharto, 2021). Implikasi praktisnya adalah munculnya peluang integrasi antara pengelolaan limbah rumah tangga organik dengan sistem pertanian kota berbasis hidroponik, menciptakan siklus tertutup (closed-loop system) yang mendukung prinsip ekonomi sirkular.

### **Tantangan dan Peluang Implementasi**

Meskipun hidroponik dan penggunaan eco-enzyme menjanjikan solusi pertanian berkelanjutan di wilayah perkotaan, berbagai studi menyoroti sejumlah kendala struktural dan teknis yang menghambat implementasinya secara luas. Salah satu tantangan utama adalah tingginya biaya awal yang dibutuhkan untuk membangun sistem hidroponik, termasuk pembelian pipa, pompa, netpot, media tanam, hingga sistem irigasi otomatis. Selain itu, sistem ini juga memerlukan keterampilan teknis dalam pengelolaan nutrisi, pengaturan pH dan EC larutan, serta pemeliharaan rutin sistem agar tidak tersumbat atau tercemar (Fauzi & Hardani, 2022). Di beberapa kasus, ketergantungan pada listrik untuk menjalankan pompa sirkulasi serta kebutuhan bahan-bahan impor seperti nutrisi AB Mix dan komponen plastik khusus juga menjadi hambatan, terutama bagi masyarakat berpenghasilan menengah ke bawah.

Namun demikian, di tengah tantangan tersebut, berbagai program pelatihan hidroponik dan pembuatan eco-enzyme di tingkat komunal menunjukkan adanya potensi besar untuk penguatan kapasitas lokal dan pemberdayaan masyarakat. Contohnya adalah kegiatan pengabdian masyarakat oleh Universitas PGRI Semarang (UPGRIS) di Grobogan dan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) oleh mahasiswa Universitas Airlangga di Kelurahan Kalijudan, Surabaya, yang berhasil membangkitkan antusiasme warga terhadap praktik pertanian ramah lingkungan berbasis limbah rumah tangga (Sarirati et al., 2024). Pelatihan tersebut tidak hanya mengajarkan teknik produksi, tetapi juga memperkenalkan aspek manajerial seperti pencatatan hasil panen, distribusi, dan kolaborasi antarwarga. Keberhasilan inisiatif ini menunjukkan bahwa ketika pendekatan dilakukan secara partisipatif dan kontekstual, potensi adopsi teknologi menjadi lebih besar, bahkan di lingkungan dengan keterbatasan ruang dan sumber daya.

### **Tinjauan Penelitian Terdahulu**

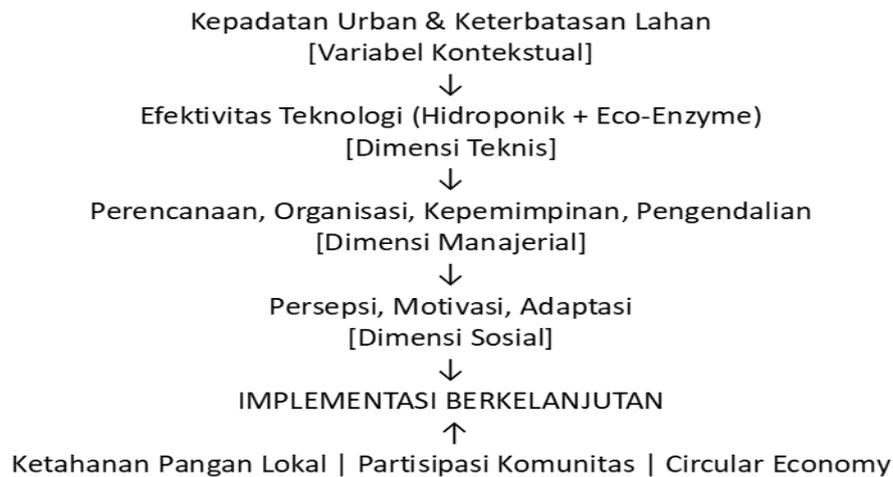
Sarirati et al. (2024) menggunakan pendekatan kualitatif untuk mengeksplor peran eco-enzyme dan hidroponik dalam pemberdayaan ekonomi masyarakat, menemukan hambatan akses sumber daya dan manajemen waktu. Aminullah et al. (2023) meninjau literatur urban hydroponics dan food security, menegaskan perlunya edukasi dan dukungan kebijakan untuk memperluas adopsi di kota. Selanjutnya Apriani (2024) menunjukkan dampak positif eco-enzyme pada pertumbuhan pakcoy dengan desain wick system, namun fokusnya masih pada aspek agronomi.

Ketiga studi tersebut memperlihatkan kontribusi signifikan terhadap teknologi dan hasil, tetapi memiliki gap: sedikit yang memasukkan analisis manajerial, persepsi stakeholder lokal, serta dinamika sosial-ekonomi di daerah padat penduduk.

### **Kesenjangan Teoritis & Kerangka Konseptual**

Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan dengan pendekatan kualitatif mendalam pada dimensi manajerial (koordinasi, logistik, komunikasi, pemberdayaan) dan sosial (persepsi, motivasi, adaptasi) di Kelurahan Benda Ngisor. Kerangka konseptual yang diusung menggabungkan: (1) dimensi teknis hidroponik & eco-enzyme, (2) elemen manajerial implementation (planning, organizing, leading, controlling), dan (3) konteks urban padat (ruang terbatas, karakter masyarakat, kondisi infrastruktur). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menyumbang teori implementasi teknologi berkelanjutan khususnya di lingkungan kompleks perkotaan.

Dengan demikian, penelitian yang dirancang dalam konteks Kelurahan Bendan Ngisor ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan menjadikan tantangan manajerial dan konteks sosial masyarakat urban padat sebagai fokus utama analisis. Studi ini tidak hanya akan memberikan kontribusi pada tataran teoritis dalam bidang pertanian perkotaan berkelanjutan, tetapi juga menghasilkan temuan aplikatif bagi pengambil kebijakan lokal dan komunitas akar rumput yang ingin mengadopsi teknologi hijau secara efektif dan berkelanjutan. Dari uraian kajian Pustaka dan penelitian terdahulu, maka dapat dirumuskan suatu model atau kerangka penelitian pada sebagai berikut:



Gambar 1. Model atau Kerangka Penelitian

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan eksploratif untuk mendalami tantangan dan peluang implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk. Jenis dan model penelitian kualitatif yang digunakan adalah studi kasus (*case study*), karena memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi fenomena secara mendalam dalam konteks spesifik. Menurut Creswell (2009:90), studi kasus adalah sebuah eksplorasi dari suatu sistem yang terikat dari waktu ke waktu melalui pengumpulan data yang mendalam serta melibatkan berbagai sumber informasi yang lebih lengkap dalam suatu konteks (Creswell, 2009). Pendekatan ini sesuai untuk memahami dinamika sosial, teknis, dan lingkungan yang mempengaruhi implementasi teknologi.

Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Bendan Ngisor, Kecamatan Gajahmungkur, Kota Semarang, yang merupakan wilayah padat penduduk dengan potensi pengembangan urban farming. Subjek penelitian dipilih secara purposive (*purposive sampling*) berdasarkan keterlibatan mereka dalam kegiatan atau program yang berkaitan dengan hidroponik dan

pengelolaan limbah rumah tangga, informan terdiri dari tokoh masyarakat dan pengurus RT/RW, warga yang telah menerapkan sistem hidroponik atau eco-enzyme, anggota komunitas lingkungan terdiri dari para pemuda/pemudi dan aktivis perempuan penggiat dan pecinta lingkungan. Jumlah partisipan disesuaikan dengan kebutuhan informasi dan prinsip *saturasi data*, yaitu ketika tidak ada lagi informasi baru yang signifikan muncul.

Data dikumpulkan melalui beberapa teknik berikut:

1. Wawancara Mendalam (In-depth Interview), Dilakukan kepada individu kunci untuk menggali pengalaman, persepsi, serta tantangan dan peluang yang mereka hadapi dalam implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme. Wawancara bersifat semi-terstruktur, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam mengeksplorasi isu-isu yang relevan.
2. Observasi Partisipatif, Peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap aktivitas masyarakat yang berkaitan dengan pembuatan eco-enzyme, instalasi hidroponik, serta praktik pengelolaan hasil panen. Observasi ini mencakup aspek teknis maupun sosial, seperti keterlibatan warga, kerja sama, dan dukungan lingkungan.
3. Dokumentasi, Data sekunder dikumpulkan dari dokumen kegiatan, foto, laporan program, maupun arsip dari kelurahan atau komunitas sebagai pelengkap data primer.

### **Teknik Analisis Data**

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode analisis interaktif dari Miles dan Huberman (2014), yang terdiri dari tiga tahapan:

- 1) Reduksi Data (Data Reduction): Proses memilah, menyederhanakan, dan merangkum data mentah berdasarkan fokus penelitian.
- 2) Penyajian Data (Data Display): Menyajikan data dalam bentuk narasi, matriks, atau tabel untuk memudahkan identifikasi pola dan hubungan antar informasi.
- 3) Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi (*Conclusion Drawing and Verification*): Menyusun interpretasi dan kesimpulan atas temuan lapangan secara sistematis serta memverifikasinya melalui triangulasi data dan diskusi dengan informan.

Untuk menjaga validitas dan reliabilitas data, digunakan teknik triangulasi yang bersumber dari Denzin, N. K. (1978) seorang pelopor konsep triangulasi, yang memperkenalkan empat jenis triangulasi, antara lain:

- 1) Triangulasi data: Menggunakan berbagai sumber data untuk mendapatkan informasi yang sama, seperti data diambil dari wawancara warga, observasi langsung, dan dokumen RT/RW. Jika ketiga sumber memberi informasi serupa, maka data lebih dapat dipercaya.
- 2) Triangulasi peneliti: Melibatkan lebih dari satu peneliti dalam proses pengumpulan dan/atau analisis data. Dua peneliti mewawancarai narasumber yang sama, lalu membandingkan hasil catatan mereka.
- 3) Triangulasi teori: Menggunakan lebih dari satu teori atau perspektif untuk melihat dan menganalisis data.
- 4) Triangulasi metode: Menggabungkan beberapa metode pengumpulan data dalam satu studi, seperti wawancara, observasi, dan kuesioner untuk menjawab pertanyaan penelitian yang sama.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk menghadapi berbagai tantangan yang bersifat struktural, teknis, sosial, dan ekonomi. Meskipun pendekatan ini menawarkan solusi terhadap isu keberlanjutan dan ketahanan pangan, terdapat beberapa hambatan signifikan yang perlu diatasi agar program ini dapat berjalan secara efektif dan berkelanjutan. Implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk merupakan inovasi yang menjanjikan dalam menjawab tantangan ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan. Namun, dalam praktiknya, pendekatan ini menghadapi sejumlah hambatan yang bersifat struktural, teknis, sosial, dan ekonomi yang saling terkait. Dari sisi struktural, keterbatasan lahan menjadi kendala utama, karena tingginya kepadatan bangunan di wilayah perkotaan menyebabkan ruang terbuka hijau sangat terbatas. Selain itu, regulasi dan kebijakan pemerintah daerah yang belum secara khusus mengakomodasi kegiatan urban farming sering kali menyulitkan inisiatif warga untuk berkembang secara legal dan berkelanjutan.

Secara teknis, tantangan muncul dari kebutuhan akan pengetahuan dan keterampilan yang memadai dalam pengelolaan sistem hidroponik dan pembuatan eco-enzyme. Banyak masyarakat belum memiliki pemahaman yang cukup mengenai cara kerja nutrisi hidroponik dan proses fermentasi limbah organik menjadi eco-enzyme yang aman dan efektif. Kurangnya akses terhadap pelatihan teknis yang berkelanjutan membuat proses adaptasi berjalan lambat, bahkan memunculkan kekhawatiran terhadap keamanan dan efektivitas produk yang dihasilkan.

Dalam aspek sosial, resistensi dari sebagian masyarakat terhadap perubahan perilaku, seperti memilah sampah organik untuk pembuatan eco-enzyme atau mengadopsi pertanian mandiri di rumah, menjadi tantangan tersendiri. Selain itu, rendahnya kesadaran kolektif tentang pentingnya ketahanan pangan lokal membuat inisiatif hidroponik sering kali dianggap sebagai kegiatan sampingan, bukan kebutuhan strategis. Aspek kolaborasi dan partisipasi juga menjadi masalah, terutama ketika belum ada model kepemimpinan lokal atau komunitas yang mampu mengoordinasikan kegiatan secara konsisten.

Dari sisi ekonomi, keterbatasan modal awal untuk membeli peralatan hidroponik, media tanam, dan kontainer fermentasi menjadi penghalang utama, terutama bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Meskipun eco-enzyme dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, proses produksinya membutuhkan waktu dan konsistensi yang belum tentu dapat dijaga oleh masyarakat dengan aktivitas ekonomi yang tinggi. Kurangnya dukungan insentif atau kemitraan dengan sektor swasta juga menyebabkan program ini sulit untuk berkembang dalam skala yang lebih luas.

Dengan demikian, meskipun hidroponik berbasis eco-enzyme memiliki potensi besar sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan ketahanan pangan dan menjaga kelestarian lingkungan di kawasan padat penduduk, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada upaya kolaboratif antara pemerintah, masyarakat, akademisi, dan sektor swasta untuk mengatasi tantangan struktural, teknis, sosial, dan ekonomi secara menyeluruh.

### **Tantangan Implementasi Hidroponik Berbasis Eco-Enzyme di Wilayah Perkotaan Padat Penduduk**

Berdasarkan hasil wawancara mendalam dan observasi terhadap 20 informan dari rumah tangga dan komunitas urban farming, diperoleh sejumlah tantangan utama dalam penerapan hidroponik berbasis eco-enzyme, antara lain:

#### **Keterbatasan Lahan dan Infrastruktur.**

Sebagian besar informan menyatakan bahwa ruang yang tersedia hanya berupa balkon sempit, atap rumah, atau gang kecil di permukiman padat. Kondisi ini menghambat pembangunan sistem hidroponik skala rumah tangga yang berkelanjutan. System drainase untuk ketersediaan air sangat terbatas, walaupun system hidroponik tidak memerlukan air yang terlalu banyak, tetapi ketersediaan air sangatlah penting dalam pengelolaan pertanian hidroponik. Kepadatan rumah penduduk dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



**Gambar 1.** Keterbatasan lahan hanya berupa balkon sempit, atap rumah, atau gang kecil

### **Kurangnya Pengetahuan tentang Eco-Enzyme dan Hidroponik**

Mayoritas informan belum familiar dengan cara pembuatan eco-enzyme maupun aplikasinya dalam sistem hidroponik. Kurangnya edukasi menjadi hambatan signifikan, terutama bagi kelompok masyarakat berusia lanjut.

### **Biaya Awal yang Masih Menjadi Beban**

Meskipun sistem hidroponik sederhana dapat dibuat dengan bahan daur ulang, banyak informan mengeluhkan tingginya biaya awal untuk membeli pompa air, pipa, atau rak vertikal, terutama jika digunakan dalam skala komunitas.

### **Kendala Sosial dan Budaya**

Dalam beberapa kasus, terdapat resistensi sosial terhadap perubahan kebiasaan, terutama dalam hal pemanfaatan limbah dapur untuk dijadikan bahan fermentasi. Sebagian masyarakat menganggap proses pembuatan eco-enzyme sebagai aktivitas yang "jorok" atau merepotkan, terutama jika tidak dilakukan dengan cara yang higienis dan efisien. Selain itu, terdapat perbedaan persepsi antara generasi muda dan tua dalam memandang praktik urban farming, yang kadang memicu kurangnya kolaborasi di tingkat rumah tangga atau komunitas.



**Gambar 2.** Instalansi Hidroponik memerlukan biaya yang tidak sedikit  
**Peluang Penerapan Teknologi untuk Meningkatkan Kualitas Hidup Masyarakat**

Meskipun banyak tantangan, hasil penelitian juga menunjukkan berbagai peluang signifikan, yang antara lain teridentifikasi sebagai berikut:

### **Reduksi Limbah Rumah Tangga**

Implementasi eco-enzyme berhasil mengurangi volume sampah organik rumah tangga sebesar  $\pm 25\%$  dalam waktu satu bulan. Hal ini memberi efek langsung terhadap pengurangan bau, tumpukan sampah, dan beban pengangkutan oleh petugas kebersihan kota.

Peningkatan Kesadaran Lingkungan dan Literasi Urban Farming Pelatihan dan praktik langsung hidroponik berbasis eco-enzyme meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan lingkungan dan pertanian berkelanjutan. Sebanyak 85% peserta pelatihan menyatakan ingin melanjutkan praktik ini secara mandiri.

### **Potensi Ketahanan Pangan Skala Mikro**

Sistem hidroponik sederhana (skala ember atau botol bekas) terbukti mampu menghasilkan sayuran seperti kangkung dan selada dalam waktu 30 hari. Meskipun masih terbatas, hasil panen ini mampu mengurangi belanja sayur harian rumah tangga hingga 10–15%.

### **Model Kegiatan Komunitas yang Mendorong Partisipasi Sosial**

Kegiatan bersama seperti pembuatan eco-enzyme massal dan pembangunan kebun vertikal komunitas menciptakan ruang interaksi sosial yang positif dan memperkuat ikatan sosial antarwarga.



**Gambar 3.** Kegiatan Komunitas Untuk Kualitas Hidup

### **Strategi Implementasi Berbasis Temuan Lapangan**

Berdasarkan analisis tematik dan hasil validasi bersama kelompok diskusi terarah, disusun beberapa strategi implementasi yang dianggap aplikatif dan adaptif dengan kondisi perkotaan padat. Strategi implementasi dapat diaplikasikan sebagai berikut: 3.3.1.

#### **Pengembangan Modul Edukasi Visual dan Praktik Langsung**

Masyarakat lebih responsif terhadap pelatihan berbasis praktik langsung (hands-on) dibanding teori. Oleh karena itu, modul pelatihan perlu berbasis video, gambar, dan simulasi langsung di rumah warga.

### **Optimalisasi Ruang Vertikal dan Integrasi Sistem Modular**

Sistem tanam vertikal modular (rak susun dari pipa atau paralon) yang fleksibel dan hemat ruang menjadi solusi paling efektif di wilayah padat. Model ini bisa dibongkar pasang dan menyesuaikan dengan ruang yang ada.

## **Kolaborasi dengan Pemangku Kepentingan**

Meskipun penelitian ini tidak melibatkan mitra eksternal secara langsung, hasil menunjukkan bahwa keterlibatan pemerintah lokal atau CSR swasta dapat mempercepat adopsi sistem ini melalui pendanaan awal dan penyediaan alat bantu.

Berikut adalah Model Strategi Implementasi Berbasis Temuan Lapangan untuk mendukung penerapan hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk, yang disusun berdasarkan analisis tematik dan hasil validasi kelompok diskusi terarah:

### **1. Product: Standarisasi dan Inovasi Formulasi Eco-Enzyme**

Menjamin efektivitas dan keamanan eco-enzyme sebagai nutrisi hidroponik.

Strategi khusus yang digunakan antara lain:

- 1) Menyusun panduan formulasi eco-enzyme standar berdasarkan uji efektivitas terhadap jenis tanaman daun seperti kangkung dan selada.
- 2) Rekomendasi awal: Rasio 3 (limbah organik): 1 (gula merah): 10 (air), fermentasi minimal 3 minggu.
- 3) Menyediakan starter kit berbasis bahan lokal untuk produksi eco-enzyme secara mandiri.

### **2. People: Edukasi dan Peningkatan Literasi Masyarakat**

Meningkatkan kapasitas masyarakat dalam menjalankan sistem hidroponik eco-enzyme secara mandiri dan berkelanjutan.

Strategi khusus yang digunakan antara lain:

- 1) Mengembangkan modul edukasi visual (video, infografis, poster) berbasis praktik langsung (*hands-on*).
- 2) Mengadakan pelatihan langsung di lingkungan warga dengan pendekatan belajar sambil praktik (*learning by doing*).
- 3) Melibatkan pemuda, kader lingkungan, dan ibu rumah tangga sebagai agen perubahan (*local champions*).

### **3. Place: Optimalisasi Ruang dan Teknologi Modular**

Menyesuaikan sistem hidroponik dengan keterbatasan ruang di lingkungan padat.

Strategi khusus yang digunakan antara lain:

- 1) Mendesain sistem tanam vertikal modular menggunakan pipa paralon, rak besi ringan, atau bahan daur ulang.
- 2) Menyusun template desain untuk berbagai ukuran ruang (misalnya: balkon 1x1 m, lorong 0,5x3 m, atau rooftop 2x2 m).
- 3) Memanfaatkan sumber daya lokal (air hujan, limbah dapur, energi surya) untuk

meningkatkan efisiensi.

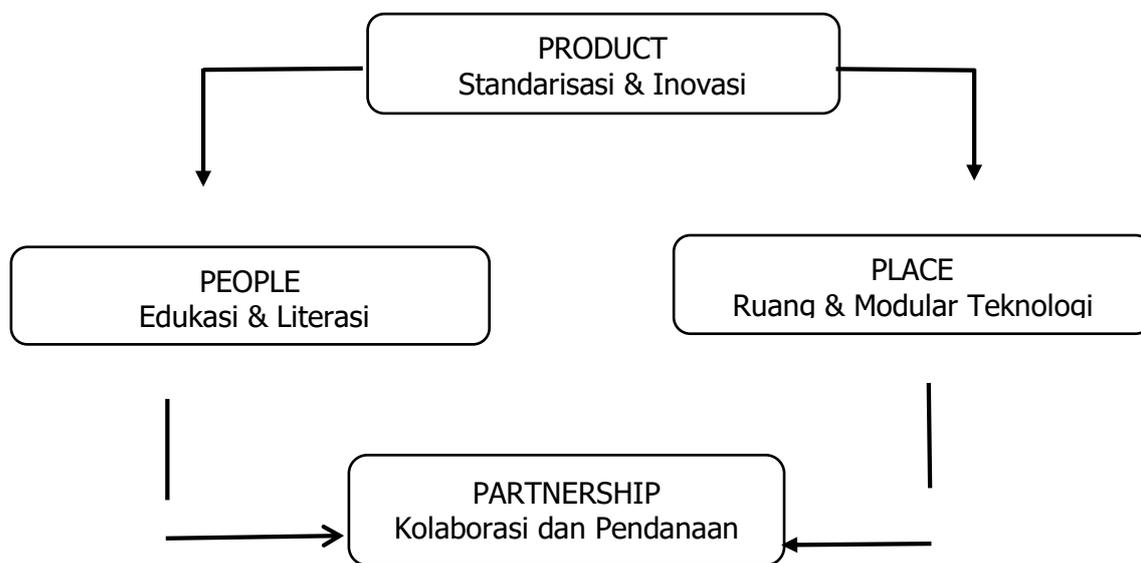
#### 4. Partnership: Kolaborasi Multi-Stakeholder

Memperluas adopsi melalui dukungan kebijakan, dana, dan teknologi.

Strategi khusus yang digunakan antara lain:

- 1) Mengajukan proposal ke pemerintah lokal untuk integrasi dalam program lingkungan atau ketahanan pangan kota.
- 2) Membangun kerja sama dengan CSR perusahaan, koperasi, atau universitas untuk pendanaan alat bantu dan pendampingan teknis.
- 3) Membangun platform komunitas daring (WhatsApp group, forum online) untuk berbagi praktik baik dan troubleshooting.

Sehingga dari uraian diatas maka dapat ditentukan Model Strategi Implementasi: “4P Integrated Model”. Model ini terdiri dari empat pilar utama (4P): Product, People, Place, dan Partnership yang saling terintegrasi dan dirancang untuk mengatasi tantangan serta memaksimalkan peluang yang ditemukan di lapangan. Model Strategi Implementasi: “4P Integrated Model” dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini:



**Gambar 4.** Model Strategi Implementasi: “4P Integrated Model”

Model ini menawarkan pendekatan holistik dan realistis untuk menghadapi tantangan perkotaan, dengan mengedepankan solusi berbasis komunitas, teknologi tepat guna, dan sinergi lintas sektor. Jika diterapkan secara konsisten, strategi ini berpotensi meningkatkan keberhasilan program hidroponik berbasis eco-enzyme sekaligus memperkuat ketahanan pangan mikro dan kesadaran lingkungan di lingkungan padat penduduk.

Tantangan dalam implementasi seringkali dalam hal keterbatasan anggaran, kurangnya koordinasi antar lembaga, serta resistensi dari sebagian masyarakat terkait perubahan fungsi lahan, Ismiyani et.,al (2023). Kurangnya tenaga ahli di bidang lingkungan hidup, regulasi dan

koordinasi antar lembaga yang kurang harmonis baik horisontal maupun vertikal, ketidaksinkronan peraturan antara pemerintah pusat dan daerah sering kali menjadi penyebab kebingungan dalam pelaksanaan kebijakan yang tidak efektif. Namun peluang ada pada penggunaan teknologi dan inovasi dalam pengelolaan lingkungan hidup, seperti informasi geospasial sistem dan pemantauan kualitas udara secara real-time, Julina et.,al. (2024). Strategi keberlanjutan pertanian perkotaan berbasis komunitas dapat diimplementasikan melalui pemanfaatan teknologi pertanian serta penguatan kolaborasi antara masyarakat, sektor swasta, dan pemerintah. Analisis SWOT mengindikasikan bahwa pemanfaatan kekuatan dan peluang yang tersedia perlu diarahkan pada strategi agresif, seperti integrasi agrofisery, pengembangan pertanian vertikal dan hidroponik, serta penguatan ekosistem pasar local, Fauzia et.,al (2025).

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Penelitian menunjukkan bahwa implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk memiliki tantangan yang kompleks namun juga menawarkan peluang signifikan bagi peningkatan kualitas hidup masyarakat urban. Tantangan utama yang dihadapi meliputi keterbatasan lahan dan infrastruktur, rendahnya literasi masyarakat tentang eco-enzyme dan hidroponik, beban biaya awal yang relatif tinggi, serta belum adanya standarisasi formulasi eco-enzyme yang efektif untuk tanaman hidroponik. Hambatan ini menuntut pendekatan edukatif, teknis, dan kolaboratif yang lebih terstruktur.

Meskipun demikian, terdapat potensi besar dari sisi lingkungan, sosial, dan ekonomi. Penggunaan eco-enzyme terbukti mampu mengurangi sampah organik rumah tangga secara signifikan, sekaligus meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan. Selain itu, sistem hidroponik skala mikro telah menunjukkan dampak positif terhadap ketahanan pangan rumah tangga serta memperkuat kohesi sosial melalui kegiatan komunitas.

Untuk menjawab tantangan sekaligus memaksimalkan peluang tersebut, strategi implementasi yang direkomendasikan mencakup standarisasi formulasi eco-enzyme, pengembangan modul edukasi berbasis praktik langsung, optimalisasi sistem tanam vertikal modular yang hemat ruang, serta pentingnya kolaborasi dengan pemangku kepentingan seperti pemerintah lokal dan sektor swasta. Dengan pendekatan terintegrasi ini, hidroponik berbasis eco-enzyme berpotensi menjadi solusi inovatif dan berkelanjutan bagi masyarakat di wilayah perkotaan padat.

## **Saran**

Berdasarkan temuan dan kesimpulan penelitian, terdapat beberapa langkah strategis yang disarankan untuk memperkuat implementasi hidroponik berbasis eco-enzyme di wilayah perkotaan padat penduduk: Pengembangan pedoman teknis dan standarisasi formulasi eco-enzyme perlu dilakukan secara ilmiah dan partisipatif. Formulasi yang konsisten dan sesuai dengan kebutuhan tanaman hidroponik akan meningkatkan efektivitas penerapan dan kepercayaan masyarakat terhadap penggunaan eco-enzyme sebagai bagian dari sistem pertanian kota.

Perlu adanya intervensi edukatif yang sistematis dan aplikatif, khususnya melalui penyusunan modul pelatihan berbasis praktik langsung. Modul ini harus disesuaikan dengan karakteristik sosial masyarakat perkotaan, mencakup aspek produksi, perawatan, serta pemanfaatan hasil panen dan daur ulang limbah.

Pengembangan sistem hidroponik vertikal modular menjadi solusi penting dalam menjawab tantangan keterbatasan ruang. Desain yang hemat tempat, mudah dipelihara, dan terjangkau secara biaya dapat memperluas adopsi teknologi ini, terutama di lingkungan padat dengan akses lahan terbatas.

Perlu kolaborasi multipihak yang melibatkan pemerintah daerah, perguruan tinggi, sektor swasta, dan komunitas lokal untuk membangun ekosistem pertanian urban yang berkelanjutan. Pemerintah daerah dapat memberikan dukungan kebijakan, insentif, serta fasilitas pelatihan; sementara sektor swasta berperan dalam inovasi alat, pembiayaan, dan distribusi produk hasil pertanian.

Riset lanjutan perlu diarahkan pada aspek sosial-ekonomi dan manajerial dari implementasi hidroponik eco-enzyme, termasuk studi kelayakan bisnis, pengaruhnya terhadap ketahanan pangan rumah tangga, serta dampaknya terhadap pembentukan jejaring sosial berbasis lingkungan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa inovasi teknologi tidak hanya berkelanjutan dari sisi ekologis, tetapi juga inklusif secara sosial dan menguntungkan secara ekonomi.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada warga RW 001 Kelurahan Bendan Ngisor Sampangan yang telah memberikan kesempatan, peluang, tenaga dan usaha, untuk kami dalam rangka mengembangkan ilmu manajemen.

## DAFTAR REFERENSI

- Aminullah, M., Rachman, R., & Yulianto, H. (2023). Urban hydroponics and food security: A literature review on sustainable urban agriculture in Indonesia. *Jurnal Ketahanan Pangan dan Lingkungan*, 12(2), 105–117. <https://doi.org/10.22146/jkpl.123456>
- Apriani, D. (2024). Pemanfaatan eco-enzyme sebagai stimulan pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) dalam sistem hidroponik wick. *Jurnal Hortikultura Perkotaan*, 5(1), 25–33. <https://doi.org/10.31291/jhp.v5i1.54321>
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- Denzin, N. K. (1978). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Edeigba, B. A., Aibhamen, A., Ashinze, U. K., Umoh, A. A., Biu, P. W., & Daraojimba, A. I. (2024). Urban green spaces and their impact on environmental health: A global review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(2), 917–927.
- FAO. (2021). *Urban agriculture: Improving city life and ensuring food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications>
- Fauzi, A., & Hardani, R. (2022). Analisis kendala dan strategi pengembangan hidroponik skala rumah tangga di wilayah urban padat penduduk. *Jurnal Pertanian Perkotaan Berkelanjutan*, 4(3), 189–197. <https://doi.org/10.24843/jppb.2022.v4.i3.289>
- Fauzia, A., Frimawaty, E., & Arifin, H. S. (2025). Rekomendasi strategi keberlanjutan pertanian perkotaan berbasis komunitas di Kecamatan Cempaka Putih, Jakarta Pusat. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 12(1). <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jkebijakan/article/view/62599>
- Food and Agriculture Organization. (1996). *Indonesia and FAO partnering for food security and sustainable agricultural development*.
- Gea, M. P., Zandrato, R. J., Telaumbanua, S. O., & Ndraha, A. B. (2025). Pertanian perkotaan, solusi inovatif untuk ketahanan pangan di tengah kota. *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1). <https://journal.asritani.or.id/index.php/Flora/article/view/265>
- Ghimire, A., Dahal, M., & Karki, R. (2023). Hydroponics: An innovative approach to urban agriculture. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*, 25. <https://www.nepjol.info/index.php/NJAS/article/view/XYZ>
- Haq, M. S. N., Azizah, M. N., Alawiyah, Z. L., Fitriyani, W. N., & Tulloh, S. H. A. Y. S. (2025). Optimalisasi hidroponik berbasis IoT untuk pertanian berkelanjutan di Desa Wanasigra Sindangkasih Ciamis. *Jurnal Penelitian UPR: Kaharati*, 5(1), 1–11. <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/jpt-upr/article/view/19470/7105>
- Ismiyani, E., Winarno, B., & Ramadhani, M. (2023). Penataan ruang kota berbasis lingkungan di Kota Surakarta: Implementasi dan dampaknya. *Jurnal Bengawan Solo*, 2(2). <https://jurnal.surakarta.go.id/index.php/jbs/article/view/59>

- Kumar, R. V., Jeevan, S. S. R., Shukla, P., Gadi, Y., Beese, S., & Khurshid, N. (2023). Innovative farming without soil. *Global Agri Vision*, 2(4), 13–14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1111111>
- Kurniawan, A., & Rukmana, R. (2022). Eco-enzyme sebagai solusi ekologis dalam pertanian organik perkotaan: Proses, manfaat, dan tantangan. *Jurnal Teknologi Pertanian dan Lingkungan*, 10(1), 45–58. <https://doi.org/10.14710/jtpl.2022.0101.045>
- Nafilah, D. U., Rahmawati, F., Tafrikan, M., & Khasanah, N. (2024). Making a multi-purpose liquid (eco-enzyme) as an alternative for processing household organic waste and reviewing its benefits. *Jurnal Pengabdian Kolaboratif*, 2(2), 17–26. <https://doi.org/10.1234/jpk.v2i2.456>
- Pratama, G., & Sugiharto, B. (2021). Potensi eco-enzyme sebagai bioaktivator dalam sistem hidroponik tertutup: Studi kasus pada tanaman daun. *Jurnal Bioteknologi Terapan*, 9(4), 233–241. <https://doi.org/10.22146/jbt.2021.v9i4.10123>
- Purba, R., Manalu, G. S., Patimah, S., & Pardi, H. (2024). Utilization of organic waste into environmentally friendly household cleaning agents: Eco-enzyme. *Jurnal Perkotaan*, 16(1), 22–31.
- Resh, H. M. (2020). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower* (8th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429289789>
- Sarirati, I., Wahyuni, S., & Maulida, R. (2024). Pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan eco-enzyme dan hidroponik di wilayah urban: Studi kasus Grobogan dan Kalijudan. *Jurnal Pengabdian dan Inovasi Sosial*, 6(2), 122–134. <https://doi.org/10.24235/jpis.v6i2.67890>
- Sharma, S., Balara, L., Shahi, A., Shubham, & Kaushal, S. (2023). Hydroponics: The potential to enhance sustainable food production in non-arable areas. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 42(39), 13–23. <https://doi.org/10.9734/cjast/2023/v42i393224>
- Widiasih, S., Julina, F., & Sekarsari, D. (2024). Tantangan dan peluang dalam implementasi kebijakan lingkungan di pemerintahan daerah. *Jurnal Ilmiah Riset dan Pengembangan*, 9(11). <https://ejournal.irpia.or.id/index.php/irpia-jurnal/article/view/267>