



AGROCITY: PERTANIAN VERTIKAL BERBASIS INTERNET OF THINGS GUNA KETAHANAN PANGAN BERKELANJUTAN DI PERKOTAAN PADAT PENDUDUK

Fadila Claudia Pramesti^{1*}, Alfina Rahmadini²

¹Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

²Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: fadila.claudia.2305166@students.um.ac.id

Abstrak

AGROCITY merupakan inovasi dalam perancangan kota hijau masa depan yang berkelanjutan, khususnya di tengah tantangan urbanisasi dan alih fungsi lahan yang semakin masif di Indonesia. Inovasi ini hadir sebagai solusi nyata atas krisis ketahanan pangan, keterbatasan ruang terbuka hijau, dan meningkatnya tekanan lingkungan di kawasan perkotaan. Dirancang sebagai sistem pertanian urban terintegrasi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *circular economy*, AGROCITY menawarkan pendekatan yang cerdas, adaptif, dan berkelanjutan dalam memulihkan fungsi ekologis dan sosial kota. AGROCITY menggabungkan berbagai komponen penting seperti pertanian vertikal, akuaponik, peternakan mikro, dan pengolahan limbah organik menjadi kompos dalam satu platform modular yang efisien dan hemat ruang. Inovasi ini dilengkapi dengan teknologi sensor IoT sederhana untuk memantau kelembapan, nutrisi, dan produktivitas secara *real-time*, sehingga mampu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional. Fleksibilitas penerapan di area sempit seperti atap bangunan, lorong permukiman, maupun lahan tidak produktif, AGROCITY membuka peluang transformasi kawasan padat menjadi ruang hijau produktif. Lebih dari sekadar model perkotaan, AGROCITY menekankan pentingnya keterlibatan masyarakat dalam membangun ekosistem pangan perkotaan yang mandiri dan inklusif. Kolaborasi antara warga kota, komunitas lokal, pelaku UMKM, dan generasi muda menjadi bagian integral dari sistem ini, menciptakan sinergi antara edukasi, produksi, dan distribusi pangan. AGROCITY bukan hanya kota ruang budidaya, tetapi juga ruang pemberdayaan, ruang belajar, dan ruang hidup yang mempromosikan keadilan sosial dan keberlanjutan lingkungan. AGROCITY mendukung capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) terutama poin 2 (Tanpa Kelaparan), 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan), dan 13 (Penanganan Perubahan Iklim). Oleh karena itu, daya replikasi yang tinggi dan desain yang skalabel, AGROCITY menjadi model perancangan kota yang bukan hanya hijau secara fisik, tetapi juga tangguh, inklusif, dan berdaya dari sisi ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Kata kunci: AGROCITY, kota hijau, pertanian urban, circular economy, teknologi cerdas.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Urbanisasi merupakan fenomena global yang tidak dapat terelakkan, dan Indonesia menjadi salah satu negara yang mengalami percepatan urbanisasi tertinggi di Asia Tenggara (Adha, 2020). Berdasarkan proyeksi Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2045 diperkirakan lebih dari 70% penduduk Indonesia akan tinggal di wilayah perkotaan. Transformasi ini tidak hanya mencerminkan perkembangan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup, tetapi juga membawa tantangan besar terhadap keberlanjutan ruang dan

sumber daya. Salah satu dampak yang paling mencolok dari urbanisasi adalah alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan permukiman, industri, dan infrastruktur, yang secara signifikan menurunkan kapasitas kota dalam mempertahankan ketahanan pangannya sendiri (Jacky Chin et al., 2025). Ketika ruang produktif menyusut, kota menjadi sangat bergantung pada pasokan pangan dari luar daerah, yang rentan terganggu oleh krisis iklim, logistik, atau konflik distribusi (Juansa et al., 2025). Situasi ini menunjukkan bahwa ketahanan pangan bukan lagi isu pedesaan semata, tetapi juga menjadi persoalan struktural dalam konteks pembangunan kota berkelanjutan. Selain itu, urbanisasi yang tidak terkendali juga menciptakan tekanan ekologis yang serius.

Produksi limbah domestik dan organik meningkat secara eksponensial, namun belum diimbangi dengan sistem pengelolaan yang efisien dan terdesentralisasi (Fatimah & ST MT PHD, 2023). Sebagian besar limbah organik dari kota berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa pemanfaatan yang produktif, padahal limbah organik memiliki potensi besar untuk diolah menjadi kompos atau bioenergi jika dikelola secara bijak (HUSAIN, 2025). Kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan mengalami permasalahan limbah yang beririsan langsung dengan masalah kesehatan masyarakat dan penurunan kualitas lingkungan (Nugroho et al., 2025). Terlebih lagi, keterbatasan lahan dan tingginya harga tanah menjadi hambatan utama untuk melakukan produksi pangan skala besar di wilayah urban (Arifien et al., n.d.). Maka dari itu, dibutuhkan model sistem pangan yang mampu mengatasi keterbatasan ruang, memanfaatkan limbah secara produktif, dan membangun keterlibatan masyarakat dalam skala mikro dan komunitas.

Menjawab tantangan tersebut, diperlukan pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan teknologi, lingkungan, dan sosial secara simultan. Konsep kota dengan pertanian urban (*urban farming*) menjadi salah satu jawaban potensial yang terus berkembang, tidak hanya sebagai metode produksi pangan alternatif di perkotaan, tetapi juga sebagai gerakan sosial-ekologis yang mempromosikan kemandirian dan keberlanjutan (Wijaya et al., 2020). Namun, sebagian besar praktik *urban farming* di Indonesia masih bersifat konvensional, tidak terintegrasi, dan memiliki daya jangkau yang terbatas (Pengabdian et al., 2025). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan inovasi perkotaan dengan pertanian urban yang bersifat modular, efisien, cerdas, dan mampu meregenerasi limbah menjadi sumber daya baru, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular. Untuk itulah AGROCITY dihadirkan sebuah sistem pertanian urban membangun kota hijau berbasis *Internet of Things* (IoT) dan ekonomi sirkular yang dirancang khusus untuk mengoptimalkan ruang terbatas, mengolah limbah organik menjadi kompos berkualitas, dan menghasilkan produk pangan lokal melalui mekanisme terintegrasi.



Gambar 1. Komponen pada AGROCITY

AGROCITY menawarkan pendekatan vertikal *farming* terintegrasi yang mencakup budidaya hortikultura berbasis hidroponik atau akuaponik, peternakan mikro (seperti maggot BSF), serta pengolahan limbah organik rumah tangga menjadi kompos dalam satu sistem modular yang dapat dilihat pada Gambar 1.. Inovasi ini tidak hanya mengefisiensikan ruang dan sumber daya, tetapi juga meningkatkan kesadaran ekologis masyarakat kota melalui partisipasi aktif. Melalui bantuan sensor IoT, proses pemantauan suhu, kelembapan, kadar nutrisi, dan efisiensi energi dapat dilakukan secara *real-time*, sehingga meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional secara signifikan. AGROCITY dirancang sebagai platform kolaboratif yang mendorong keterlibatan warga, komunitas lokal, pelaku UMKM, hingga institusi pendidikan untuk bersama-sama membangun ekosistem pangan urban yang adil, *resilient*, dan berdaya. Sistem perkotaan ini tidak hanya menjawab masalah pangan dan limbah, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru melalui kegiatan kewirausahaan sosial berbasis lingkungan.

Kompleksitas tantangan perkotaan saat ini, inovasi seperti AGROCITY menjadi sangat relevan sebagai prototipe sistem pangan masa depan yang layak direplikasi di berbagai wilayah Indonesia. Inovasi ini mampu menysar tiga pilar utama pembangunan berkelanjutan mulai dari sosial, ekonomi, dan lingkungan, sekaligus mendukung capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin 2 (Tanpa Kelaparan), poin 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan), dan poin 13 (Penanganan Perubahan Iklim). AGROCITY bukan sekadar sistem pertanian, melainkan instrumen transformasi sosial-ekologis kota yang dapat menjembatani antara tantangan urban modern dan semangat pembangunan yang berorientasi jangka panjang. Maka dari itu, sangat penting untuk meneliti, mengembangkan, dan memperluas implementasi AGROCITY sebagai bagian dari strategi ketahanan kota menuju masa depan yang lebih berkelanjutan.

1.1 Tujuan

Tujuan dari inovasi AGROCITY adalah untuk memberikan solusi atas masalah keterbatasan ruang, limbah organik, dan ketahanan pangan di wilayah perkotaan melalui pendekatan teknologi dan sirkular. Adapun tujuan spesifiknya yaitu:

1. Merancang sistem pertanian vertikal modular berbasis IoT yang mampu memantau suhu, kelembapan, dan nutrisi tanaman secara real-time untuk meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas pangan di area urban sempit.
2. Mengintegrasikan unit hortikultura, akuaponik, peternakan maggot, dan pengomposan dalam satu sistem sirkular yang dapat mengolah minimal 1 kg limbah organik rumah tangga per hari menjadi kompos siap pakai.
3. Menginisiasi kolaborasi lintas sektor (warga, UMKM, dan komunitas lokal) dalam pengelolaan, distribusi, dan edukasi pertanian kota guna menciptakan ekosistem pangan lokal mandiri yang dapat direplikasi di minimal 3 lokasi urban padat.

1.2 Manfaat

Inovasi AGROCITY dirancang untuk memberikan manfaat nyata dan terukur bagi lingkungan, masyarakat, dan sistem pangan di wilayah perkotaan padat penduduk. Dengan pendekatan yang menggabungkan teknologi cerdas dan prinsip ekonomi sirkular, AGROCITY memiliki potensi untuk mendorong perubahan sistemik dalam tata kelola ruang kota, pengelolaan limbah, dan ketahanan pangan. Adapun manfaat yang diharapkan dari implementasi inovasi ini meliputi:

1. Lingkungan

AGROCITY berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah organik rumah tangga yang biasanya berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA). Dengan sistem pengolahan limbah menjadi kompos dalam satu integrasi, inovasi ini mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan kualitas tanah. Selain itu, dengan menghadirkan pertanian vertikal di area perkotaan, inovasi ini menambah ruang hijau baru yang mampu menyerap karbon dan menurunkan suhu mikro wilayah padat penduduk.

2. Teknologi

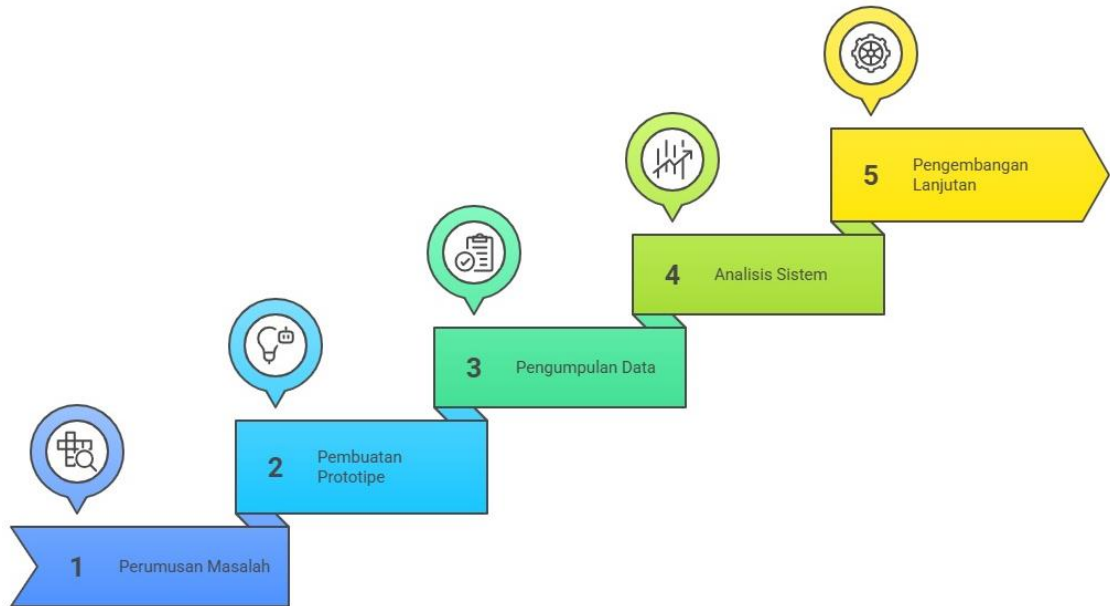
Inovasi ini memperkenalkan penggunaan sensor Internet of Things (IoT) yang terjangkau dan mudah diaplikasikan oleh masyarakat untuk pemantauan real-time terhadap kelembapan, suhu, dan kondisi nutrisi tanaman. Teknologi ini meningkatkan efisiensi sumber daya seperti air dan energi, sekaligus mempercepat respons terhadap kondisi tanaman tanpa intervensi manual yang konvensional. Dengan demikian, masyarakat dapat mengakses teknologi pertanian cerdas meskipun dalam skala kecil.

3. Sosial-Ekonomi

AGROCITY membuka peluang keterlibatan aktif masyarakat, komunitas lokal, pelajar, dan pelaku UMKM dalam sistem pangan perkotaan yang terdesentralisasi dan mandiri. Melalui inovasi ini, masyarakat tidak hanya menjadi konsumen, tetapi juga produsen pangan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan ketahanan pangan keluarga dan komunitas. Selain itu, hasil panen dan produk kompos yang dihasilkan dapat dikomersialkan sebagai sumber pendapatan tambahan, khususnya bagi kelompok rentan dan wirausaha lokal berbasis lingkungan.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap untuk mengembangkan dan menguji sistem AGROCITY sebagai solusi urban *farming* berbasis teknologi cerdas dan ekonomi sirkular. Seluruh tahapan penelitian dirancang untuk menghasilkan sistem yang adaptif terhadap keterbatasan ruang, mampu mengelola limbah organik secara efisien, serta memberdayakan masyarakat urban dalam membangun ketahanan pangan lokal seperti pada Gambar 2.. Penelitian ini dilaksanakan di kawasan padat penduduk yang mengalami permasalahan keterbatasan ruang terbuka dan tingginya produksi limbah organik rumah tangga.



Gambar 2. Flowchart Metode Pelaksanaan AGROCITY

a. Perumusan Masalah dan Rancang Bangun Sistem

Tahapan awal dimulai dengan pengamatan lapangan dan telaah literatur terhadap isu-isu perkotaan yang berkaitan dengan alih fungsi lahan, ketahanan pangan, serta akumulasi limbah organik. Pengamatan ini difokuskan pada area permukiman padat, yang umumnya tidak memiliki akses terhadap ruang budidaya pangan atau sistem pengolahan sampah berbasis komunitas. Temuan dari pengamatan tersebut digunakan sebagai dasar untuk merumuskan konsep AGROCITY, yakni sistem modular pertanian kota yang mampu mengintegrasikan budidaya tanaman, peternakan mikro (maggot BSF), serta pengolahan kompos dalam satu platform hemat ruang.



Gambar 3. Aplikasi AGROCITY

Rancang bangun sistem dilakukan melalui pendekatan teknik rekayasa sistem. Setiap modul baik vertikal *farming*, komposter, maupun kandang maggot, dirancang agar kompatibel dengan kondisi ruang sempit serta mampu bekerja secara terintegrasi. Teknologi *Internet of Things* (IoT) diterapkan melalui pemasangan sensor suhu, kelembapan, pH, dan nutrisi tanaman yang terkoneksi dengan mikrokontroler ESP32.

Data dari sensor ini dikirim secara *real-time* ke Firebase dan ditampilkan dalam aplikasi AGROCITY untuk pemantauan dan kendali jarak jauh yang dapat dilihat pada Gambar 3.. Pendekatan desain sistem dilakukan secara iteratif dengan mempertimbangkan efisiensi ruang, ketahanan lingkungan luar ruang, serta keterjangkauan teknologi oleh masyarakat.

b. Pembuatan Prototipe dan Uji Implementasi Lapangan

Setelah sistem dirancang, dilakukan pembangunan prototipe pada lahan percontohan berupa halaman sempit rumah warga di wilayah urban. Prototipe dikembangkan dengan pendekatan modular agar mudah dirakit, dibongkar, dan direplikasi. Instalasi hidroponik vertikal, unit pengomposan, serta kandang maggot disusun dalam satuan terintegrasi. Pemasangan sensor dilakukan dengan pengujian fungsi masing-masing secara individual, kemudian dikalibrasi untuk memastikan akurasi data dalam kondisi lingkungan terbuka.

Selama fase implementasi awal, dilakukan uji coba terhadap seluruh subsistem. Data yang dikumpulkan mencakup volume input limbah organik, tingkat dekomposisi, waktu panen maggot, serta hasil budidaya tanaman hortikultura. Aplikasi AGROCITY diuji untuk memastikan kemampuannya dalam menampilkan grafik pertumbuhan, mengirimkan peringatan otomatis, serta memberikan laporan harian. Partisipasi warga sekitar dilibatkan dalam pengoperasian sistem sebagai bagian dari uji kelayakan sosial dan edukasi.

c. Pengumpulan dan Dokumentasi Data

Pengumpulan data dilakukan selama 30 hari masa implementasi dengan dokumentasi sistematis setiap hari. Data teknis dikumpulkan secara otomatis dari sensor dan disimpan dalam bentuk numerik digital melalui Firebase. Parameter yang dikumpulkan meliputi suhu dan kelembapan udara, kelembapan tanah atau media tanam, kadar nutrisi, intensitas cahaya, dan pH larutan. Sementara itu, data non-teknis diperoleh dari observasi langsung, dokumentasi foto-video, serta wawancara informal dengan warga yang berinteraksi langsung dengan sistem.

Catatan harian dibuat untuk mencatat dinamika penggunaan sistem, kemudahan operasional, serta respon masyarakat terhadap keberadaan AGROCITY. Pengukuran produktivitas dilakukan dengan menghitung jumlah hasil panen tanaman dan kompos yang dihasilkan, sedangkan data sosial mencakup frekuensi partisipasi warga dan tingkat adopsi teknologi. Semua data dikategorikan dan disimpan untuk analisis lebih lanjut.

d. Analisis dan Evaluasi Sistem

Tahap analisis dilakukan dengan meninjau kinerja sistem berdasarkan indikator teknis dan sosial. Indikator teknis mencakup stabilitas data sensor, ketepatan pembacaan lingkungan, produktivitas tanaman, efisiensi pengolahan limbah, serta keberhasilan integrasi sistem. Data numerik dari sensor dianalisis secara deskriptif untuk melihat pola dan kecenderungan lingkungan budidaya. Perbandingan kondisi awal dan akhir digunakan untuk mengukur dampak sistem terhadap efisiensi ruang dan penurunan volume limbah.

Dari sisi sosial, evaluasi difokuskan pada keberterimaan sistem oleh masyarakat, kemudahan pemanfaatan aplikasi, serta potensi AGROCITY dalam mendorong kemandirian pangan keluarga. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk menilai keandalan prototipe dan peluang replikasi sistem di lokasi lain. Evaluasi juga mempertimbangkan keberlanjutan finansial, ketahanan infrastruktur terhadap cuaca, dan kebutuhan pelatihan bagi warga sebagai operator sistem.

e. Refleksi, Pengembangan Lanjutan, dan Penyusunan Rekomendasi

Setelah implementasi dan evaluasi selesai, dilakukan refleksi menyeluruh terhadap kelebihan dan kelemahan sistem AGROCITY. Beberapa aspek yang diperhatikan dalam refleksi mencakup keakuratan sensor dalam jangka panjang, kebutuhan pemeliharaan alat, keterbatasan skala produksi, serta tingkat adopsi teknologi oleh masyarakat awam. Temuan ini digunakan untuk menyusun strategi pengembangan sistem lanjutan, termasuk perbaikan desain modular, penambahan fitur aplikasi, serta penyederhanaan mekanisme pemantauan bagi pengguna tanpa latar belakang teknis.

Berdasarkan refleksi tersebut, disusun pula rekomendasi strategis yang mencakup panduan replikasi sistem AGROCITY di wilayah urban lainnya. Rekomendasi ini meliputi skema kolaborasi multi-stakeholder, pembiayaan berbasis komunitas, serta model pelatihan berbasis lokal. Seluruh hasil dan rekomendasi diarahkan untuk memperkuat peran AGROCITY sebagai prototipe kota hijau masa depan yang inklusif, berdaya, dan berkelanjutan.

3. Hasil

Implementasi AGROCITY sebagai sistem pertanian perkotaan terintegrasi menghasilkan sejumlah temuan yang relevan dalam menjawab permasalahan keterbatasan ruang, pengelolaan limbah organik, dan rendahnya ketahanan pangan lokal di kawasan padat penduduk. Pengembangan prototipe dilakukan di lingkungan permukiman yang memiliki akses terbatas terhadap lahan terbuka, namun menghasilkan performa sistem yang efisien, dapat dioperasikan oleh masyarakat awam, dan menunjukkan potensi replikasi yang tinggi.

a. Kinerja Teknologi dan Efisiensi Operasional



Gambar 4. Sistem AGROCITY

Salah satu temuan utama adalah keberhasilan sistem *Internet of Things* (IoT) dalam memantau kondisi lingkungan mikro secara real-time pada AGROCITY yang dapat dilihat pada Gambar 4.. Selama 30 hari masa implementasi, sensor suhu dan kelembapan udara (DHT22), kelembapan tanah (*Soil Moisture Sensor*), intensitas cahaya (BH1750), dan kadar nutrisi (TDS/EC Sensor) bekerja stabil dan konsisten yang dijelaskan pada Tabel 1.. Data dikirim ke Firebase melalui ESP32 dan ditampilkan melalui aplikasi AGROCITY yang dirancang khusus untuk pengguna dalam monitoring. Tampilan grafik sederhana dan notifikasi otomatis, pengguna dapat mengetahui kapan waktu optimal untuk menyiram tanaman atau menambahkan nutrisi.

Tabel 1. Komponen Sensor AGROCITY

Komponen / Sensor	Fungsi
DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan udara
Capacitive Soil Moisture Sensor	Mengukur kelembapan tanah
TDS / EC Sensor	Mengukur kadar nutrisi dalam air hidroponik
LDR / BH1750	Mengukur intensitas cahaya
pH Sensor	Mengukur pH tanah atau larutan nutrisi

ESP-32	Mengolah dan mengirimkan data dari sensor ke database secara real-time
Firebase	Menyimpan data dan memperbarui status secara real-time
Apps AGROCITY	Menampilkan grafik pertumbuhan, notifikasi otomatis, dan kendali jarak jauh

Hasil ini menguatkan temuan dari (Salim Wardhana et al., 2025) yang menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30% dalam sistem hidroponik. Penelitian serupa oleh (Satria & Arijanto, 2025) juga menyebutkan bahwa penggunaan sensor IoT dalam pertanian urban dapat menurunkan kesalahan manusia dalam manajemen nutrisi dan waktu panen hingga 40%. Dengan aplikasi AGROCITY, pengguna yang tidak memiliki latar belakang pertanian tetap dapat melakukan pengelolaan pertanian dengan akurasi tinggi, membuktikan keberhasilan integrasi teknologi dalam konteks pemberdayaan komunitas urban.

b. Produksi Sayuran dan Efisiensi Ruang

Implementasi yang dilakukan di area sempit seluas $\pm 2 \text{ m}^2$, sistem hidroponik vertikal AGROCITY mampu menghasilkan rata-rata 1,5 - 1,8 kg sayuran daun segar per minggu, seperti kangkung, sawi, dan bayam. Jumlah ini cukup untuk memenuhi sebagian kebutuhan konsumsi keluarga beranggotakan 3 - 4 orang. Dibandingkan dengan sistem konvensional, pendekatan vertikal farming memungkinkan peningkatan produktivitas per meter persegi hingga 4 kali lipat. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Agus et al., n.d.) yang mencatat bahwa sistem pertanian vertikal pada ruang sempit di kota Shanghai mampu menghasilkan hasil panen 3 - 5 kali lebih tinggi per satuan luas dibandingkan metode pertanian datar.

Aplikasi dari hasil ini apabila telah dilakukan dalam bentuk pilot project di satu RT di Kota Malang, di mana 5 rumah tangga diberdayakan untuk mengadopsi modul AGROCITY skala mikro. Dalam periode 1 bulan, mereka tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan sayur sehari-hari, tetapi juga menjual kelebihan hasil panen ke tetangga sekitar sebagai produk segar dalam kantong ramah lingkungan.

c. Reduksi Limbah dan Produksi Kompos

Sistem pengomposan limbah organik rumah tangga dalam AGROCITY berhasil mengolah rata-rata 1 - 1,2 kg limbah organik per hari melalui metode fermentasi aerobik. Kurun waktu 5 - 7 hari, limbah ini menghasilkan $\pm 0,6 \text{ kg}$ kompos padat berkualitas yang digunakan kembali untuk media tanam. Proses ini menurunkan volume limbah rumah tangga yang dibuang ke TPA dan mengurangi risiko emisi gas rumah kaca dari pembusukan terbuka. Keberhasilan ini sesuai dengan hasil studi oleh (Faiz Kasyfilham & Akbar, 2025) yang menyatakan bahwa sistem pengomposan terdesentralisasi berbasis komunitas dapat menurunkan beban TPA hingga 20% di lingkungan urban jika diadopsi minimal oleh 30% rumah tangga.

Kompos yang dihasilkan dalam sistem AGROCITY juga diuji pada budidaya tanaman dan menunjukkan peningkatan pertumbuhan vegetatif yang sebanding dengan pupuk komersial. Selain digunakan secara internal, sebagian warga menjual kompos ke komunitas tani kota seharga Rp5.000 per kantong kecil, memperlihatkan potensi ekonomi sirkular yang nyata dan aplikatif.

d. Budidaya Maggot BSF sebagai Peternakan Mikro

Unit peternakan mikro dengan Black Soldier Fly (BSF) berhasil mengonversi limbah sisa dapur menjadi maggot sebanyak $\pm 100 - 130 \text{ gram}$ setiap siklus (4 hari) dari input 0,5 - 1 kg limbah organik basah. Maggot ini memiliki nilai ekonomi sebagai pakan ternak berprotein tinggi dan menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan sisa makanan yang tidak dapat dikomposkan. Hasil ini sejalan dengan studi oleh (Kesehatan Politeknik Kesehatan Makassar et al., 2022), yang menunjukkan bahwa maggot BSF dapat mengurangi limbah organik rumah tangga hingga 60% lebih cepat dibanding kompos biasa.

Di lokasi implementasi, maggot hasil panen digunakan sebagai pakan ikan oleh warga yang memiliki kolam lele mini, membentuk siklus tertutup antara limbah, sumber pangan, peternakan, sekaligus memperkuat konsep integrasi lintas sektor dalam urban farming. Hal ini mempertegas peran AGROCITY sebagai platform bukan hanya pertanian, tetapi juga bio-konversi dan agroekosistem mandiri.

e. Respons Sosial dan Pemberdayaan Masyarakat

Hasil sosial dari penerapan AGROCITY juga menunjukkan dampak positif. Sebanyak 85% warga yang terlibat menyatakan bahwa sistem ini mudah dioperasikan dan memberi manfaat nyata bagi kehidupan sehari-hari. Keterlibatan ini menghasilkan efek domino berupa terbentuknya kelompok belajar dan komunitas pengelola yang mengatur jadwal perawatan, distribusi hasil panen, dan promosi lingkungan hijau berbasis teknologi.

Temuan ini konsisten dengan studi oleh (Akhir, n.d.) yang menyebutkan bahwa keberhasilan sistem pertanian kota bukan hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh tingginya partisipasi sosial dan keterhubungan komunitas. Dalam hal ini, AGROCITY tidak hanya menjadi sistem produksi pangan, tetapi juga ruang edukasi, kolaborasi, dan peningkatan kapasitas sosial masyarakat.

4. Pembahasan

Bagian ini bertujuan untuk memberikan pemaknaan substantif terhadap hasil yang telah diperoleh melalui metode rekayasa sistem dan uji coba lapangan yang dijabarkan pada bab sebelumnya. Analisis dilakukan untuk menilai efektivitas inovasi AGROCITY secara teknis, sosial, dan ekologis, serta mengidentifikasi kesesuaian dan perbedaannya dengan temuan dari studi sebelumnya. Pembahasan juga menekankan keunikan AGROCITY sebagai model integratif urban farming berbasis *Internet of Things* (IoT) dan ekonomi sirkular yang dikembangkan secara kontekstual di lingkungan urban padat penduduk.

a. Optimalisasi Teknologi, Efisiensi Operasional, dan Aksesibilitas Digital

Salah satu keunggulan paling menonjol dari sistem AGROCITY adalah penerapan teknologi IoT yang bersifat *low-cost* namun fungsional. Implementasi sensor suhu dan kelembapan udara (DHT22), sensor kelembapan tanah, serta sensor TDS/EC memungkinkan pemantauan parameter lingkungan secara real-time. Data tersebut dikirimkan melalui ESP32 ke Firebase dan ditampilkan dalam aplikasi AGROCITY yang *user-friendly*, memudahkan pengguna dalam mengambil keputusan tanpa harus memiliki latar belakang teknis. Ini membuktikan bahwa digitalisasi dalam pertanian urban dapat diakses oleh masyarakat awam, termasuk ibu rumah tangga, pelaku UMKM, maupun pemuda non-teknik.

Dalam konteks keberlanjutan teknologi, pendekatan ini tidak hanya memperkecil kesenjangan digital, tetapi juga memperkuat literasi ekoteknologi masyarakat urban. Temuan ini mengonfirmasi hasil studi (Soedarto & Ainiyah, 2022) yang menunjukkan bahwa digitalisasi pertanian dapat mengurangi tingkat kesalahan manusia dalam pemberian nutrisi dan penyiraman hingga 40%, serta mempercepat respons terhadap anomali pertumbuhan tanaman. Namun, AGROCITY melangkah lebih jauh dengan menggabungkan fitur notifikasi otomatis dan dashboard grafik sederhana untuk memperkuat pengambilan keputusan berbasis data.

Menariknya, sistem ini menunjukkan konsistensi data sensor selama 30 hari, bahkan dalam kondisi lingkungan luar ruang yang fluktuatif. Hal ini menjadi pembeda dari penelitian serupa yang umumnya dilakukan dalam lingkungan laboratorium atau semi-terkontrol. Dengan demikian, AGROCITY tidak hanya menunjukkan efektivitas teknologi, tetapi juga ketahanan operasionalnya dalam kondisi lapangan yang nyata.

4.2 Efektivitas Model Vertikal dan Replikasi dalam Ruang Terbatas

Pada aspek produksi pangan, sistem hidroponik vertikal AGROCITY menunjukkan performa tinggi dalam memaksimalkan ruang terbatas. Dengan area hanya $\pm 2 \text{ m}^2$, sistem ini mampu menghasilkan hingga 1,8 kg sayuran segar per minggu, mencukupi sebagian besar kebutuhan pangan harian keluarga beranggotakan 3 - 4 orang. Ini menunjukkan bahwa urbanisasi tidak harus menjadi penghalang ketahanan pangan lokal, asalkan ruang dimanfaatkan secara vertikal dan efisien.

Temuan ini sejalan dengan studi (NAJA, 2025) yang menyatakan bahwa sistem pertanian vertikal di kota-kota padat dapat meningkatkan produktivitas hingga lima kali lipat dibanding sistem konvensional. Namun, AGROCITY tidak hanya berhenti pada aspek produktivitas, tetapi juga menyertakan aspek edukasi dan replikasi sosial. Dengan demikian, dampak ekonomi mikro dan pemberdayaan lokal menjadi dimensi penting dalam keunikan AGROCITY.

4.3 Sistem Sirkular sebagai Solusi Ekologis dan Ekonomi

AGROCITY mengintegrasikan pengomposan dan peternakan maggot BSF (*Black Soldier Fly*) sebagai strategi pengelolaan limbah organik rumah tangga. Proses pengomposan aerobik yang dilakukan menghasilkan $\pm 0,6 \text{ kg}$ kompos dari 1–1,2 kg limbah organik dalam waktu 5–7 hari. Di sisi lain, maggot BSF mampu mengonversi 1 kg sisa dapur menjadi 100–130 gram biomassa maggot yang bernilai sebagai pakan ternak. Sistem ini tidak hanya menyelesaikan masalah sampah, tetapi juga mengubah limbah menjadi sumber daya baru yang bernilai ekonomi dan ekologis.

Temuan ini menguatkan hasil penelitian (Handoko et al., 2025), mengenai efektivitas sistem pengomposan komunitas dalam menurunkan beban TPA hingga 20%. Namun, AGROCITY menawarkan pendekatan lebih inovatif dengan memanfaatkan potensi peternakan mikro maggot dalam satu sistem terintegrasi. Dengan demikian, tidak hanya terjadi konversi limbah, tetapi juga terciptanya bio-loop produktif antara budidaya tanaman, pengolahan limbah, dan peternakan mikro, konsep yang masih jarang diterapkan secara simultan dalam skala mikro urban.

Pendekatan ini memberikan kontribusi terhadap prinsip *zero-waste* dan *closed-loop system* dalam *urban farming*, sekaligus menjadi model nyata penerapan ekonomi sirkular dalam skala rumah tangga. Jika diadopsi secara massal, sistem ini berpotensi mengurangi volume sampah rumah tangga, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan kualitas tanah serta keanekaragaman hayati mikro di perkotaan.

4.4 Partisipasi Sosial dan Dinamika Komunitas

Pada dimensi sosial, keberhasilan AGROCITY tidak hanya terletak pada performa teknis sistem, tetapi pada tingkat penerimaan dan partisipasi masyarakat yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi ini tidak hanya memberikan manfaat praktis, tetapi juga membangun sense of ownership dan kohesi sosial di antara warga. Keunikan lain terletak pada keberlanjutan AGROCITY untuk membentuk komunitas pengelola dan kelompok belajar, yang mengatur jadwal perawatan, berbagi hasil panen, dan melakukan pelatihan antarwarga. Aktivitas ini menciptakan dampak sosial-psikologis berupa peningkatan kesadaran ekologis, solidaritas lingkungan, dan kebanggaan terhadap kontribusi kecil dalam membangun kota hijau. Kondisi ini konsisten bahwa keberhasilan *urban farming* modern sangat bergantung pada integrasi sosial, bukan hanya kemajuan teknologinya. AGROCITY dengan demikian bukan hanya sistem produksi pangan, tetapi juga wadah transformasi sosial di tengah tekanan urbanisasi dan individualisme kota. Interaksi antara teknologi dan manusia menjadi fondasi baru dalam membangun kota yang tidak hanya cerdas (*smart*), tetapi juga berjiwa (*humane*).

4.5 Potensi Replikasi dan Kontribusi Terhadap Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Model kota AGROCITY terbukti fleksibel, modular, dan dapat direplikasi pada berbagai wilayah urban yang memiliki karakteristik keterbatasan lahan dan tingginya volume limbah rumah tangga. Potensi replikasi ini penting dalam konteks nasional, mengingat proyeksi urbanisasi Indonesia yang mencapai 70% penduduk kota pada 2045 (BPS, 2023). AGROCITY memberikan blueprint pembangunan kota hijau yang tidak mengandalkan investasi besar, tetapi mengoptimalkan sumber daya lokal, teknologi sederhana, dan partisipasi warga. Secara global, sistem ini memberikan kontribusi nyata terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama:

- SDG 2 – Tanpa Kelaparan: melalui produksi pangan lokal berbasis rumah tangga,
- SDG 11 – Kota dan Komunitas Berkelanjutan: dengan memanfaatkan ruang terbatas menjadi ruang hijau produktif,
- SDG 13 – Penanganan Perubahan Iklim: melalui pengurangan limbah dan emisi rumah kaca dari sektor domestik.

Temuan ini menunjukkan bahwa AGROCITY bukan hanya solusi teknis jangka pendek, tetapi strategi jangka panjang dalam pembangunan kota yang resilien, tangguh, dan adil secara sosial-ekologis. Oleh karena itu, pengembangan dan penyebaran inovasi ini sangat layak untuk diadopsi sebagai program unggulan di tingkat kota dan nasional dalam kerangka pembangunan berkelanjutan.

5. Kesimpulan

Inovasi AGROCITY berhasil menunjukkan kinerja yang signifikan sebagai solusi pertanian urban terintegrasi di kawasan padat penduduk melalui pendekatan berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) dan ekonomi sirkular. Hasil implementasi pada sistem ini mampu memproduksi 1,5 -1,8 kg sayuran segar per minggu di lahan sempit $\pm 2 \text{ m}^2$, mengolah 1 - 1,2 kg limbah organik per hari menjadi kompos, serta menghasilkan maggot sebanyak 100 - 130 gram per siklus dari limbah dapur. Keberhasilan ini didukung oleh teknologi IoT yang memungkinkan pemantauan suhu, kelembapan, dan kadar nutrisi tanaman secara real-time melalui sensor yang terintegrasi dengan ESP32 dan aplikasi AGROCITY. Dari segi sosial, sistem ini mendapatkan respons positif dari masyarakat, menciptakan komunitas pengelola, dan membangun partisipasi aktif dalam upaya ketahanan pangan lokal. Kelebihan AGROCITY terletak pada efisiensi ruang melalui desain vertikal modular, integrasi penuh antara budidaya tanaman, pengomposan, dan peternakan mikro, serta kesederhanaan teknologi yang tetap fungsional dan ramah pengguna.

Namun demikian, sistem ini juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap pasokan listrik yang berkelanjutan, skala produksi yang masih terbatas untuk kebutuhan komunitas besar, serta kebutuhan perawatan berkala pada sensor dan alat elektronik. Selain itu, pasokan limbah organik segar yang dibutuhkan untuk budidaya maggot masih belum terkelola secara sistematis. Oleh karena itu, untuk pengembangan ke depan, AGROCITY direkomendasikan untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan seperti panel surya, menambah fitur otomatisasi irigasi dan nutrisi, serta mengembangkan aplikasi edukatif dan sistem replikasi skala komunitas. Inovasi ini juga memiliki potensi besar untuk mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin 2 (Tanpa Kelaparan), poin 11 (Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan), dan poin 13 (Penanganan Perubahan Iklim). Dengan demikian, AGROCITY bukan sekadar sistem pertanian, tetapi merupakan model kota hijau masa depan yang inklusif, tangguh, dan memberdayakan dari sisi sosial, ekonomi, dan lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- Adha, L. A. (2020). Digitalisasi industri dan pengaruhnya terhadap ketenagakerjaan dan hubungan kerja di Indonesia. *Jurnal Kompilasi Hukum*, 5(2), 267–298.
- Agus, Y. A., Tungga, Y., Karyasa, B., Pranandita, R., Suriyanti, P., Salama, H., Triani, N., Dudi, T., Gallyndra, S., Dinata, F., Fathan, J., & Rizki, H. (n.d.). *PERTANIAN TERPADU*. www.globaleksekitifteknologi.co.id
- Akhir, T. (n.d.). *Partisipasi Masyarakat Dalam Kegiatan Urban Farming Di Masa Pandemi Covid-19 (Studi Kasus : Kelurahan Maharatu Kota pekanbaru)*.
- Arifien, Y., Alam, S., Rosilawati, R., Permatasari, A., Syariani, K., Tambunan, B., Wijayanti, D., Yusuf, H., & Indrawati, E. (n.d.). *PERTANIAN URBAN*. www.globaleksekitifteknologi.co.id
- Faiz Kasyfilham, & Akbar, N. Al. (2025). Evaluasi Tata Kelola Sampah Yogyakarta Pasca-Piyungan: Studi Komparatif dengan Model Ekonomi Sirkular Banyumas. *Jurnal Administrasi Dan Kebijakan Publik*, 10(1), 152–181. <https://doi.org/10.25077/jakp.10.1.152-181.2025>
- Fatimah, I. Y. A., & ST MT PHD, I. P. U. (2023). *Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan*. Mikro Media Teknologi.
- Handoko, C. T., Khoiriyah, S., Aribowo, W., Mudyantini, W., Wahyono, S., Syahwan, F. L., Jimmyanto, H., Adabi, C. R., & Aulia, A. A. (2025). Pemberdayaan Masyarakat Melalui Penerapan Teknologi Pengelolaan Sampah Organik Berbasis Komunitas di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Abdimas Mandiri*, 9(1), 33–43.
- HUSAIN, F. (2025). *Green Economy dan Akuntansi Sumber Daya Alam: Strategi Membangun Keberlanjutan Kawasan*. CV. CAHAYA ARSH PUBLISHER & PRINTING.
- Jacky Chin, S. T., Agus Jalpi, S. K. M., Syamsu Rijal, S. E., Farida Arinie Soelistianto, S. T., Rahmad Surya Hadi Saputra, S. S., RA, W., Ns Andro Ruben Runtu, S. K., & SH, M. K. (2025). *Kesehatan Dan Ketahanan Pangan: Solusi Untuk Mengatasi Krisis Kesehatan Global Di Tengah Perubahan Iklim*. PT. Nawala Gama Education.
- Juansa, A., Maulana, A. W., Lubis, M. M., Wijaya, A. A., Minarsi, A., Sugama, D., Ayu, I. W., Rianty, E., & Murwanti, R. (2025). *Ketahanan Pangan: Swasembada Pangan dan Implikasinya terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia*. PT. Star Digital Publishing, Yogyakarta-Indonesia.
- Kesehatan Politeknik Kesehatan Makassar, M., Khaer, A., Andini, M., Kesehatan Lingkungun Potekkes Kemenkes Makassar, J., & Gizi Poltekkes Kemenkes Makassar, J. (2022). *EFEKTIFITAS PEMANFAATAN LARVA LALAT TENTARA HITAM (Hermetia illucens) DALAM MENGOLAH SAMPAH RUMAH TANGGA MENJADI KOMPOS*. <https://doi.org/10.32382/medkes.v17i1>
- NAJA, A. (2025). Penerapan Teknologi Vertikultur sebagai Solusi Lahan Terbatas. *Circle Archive*, 1(7).
- Nugroho, A. S. B., Handayani, T. N., Rahmawati, Y., Handayani, D., Hartono, W., Wibowo, A., Nurdiana, A., Rohman, M. A., & Adi, T. J. W. (2025). *Manajemen Proyek Konstruksi: Pembelajaran Berbasis Kasus Proyek*. UGM PRESS.
- Pengabdian, J., Anggraeni, D., Mubarak, H., & Irfanullah, G. (2025). B A K T I : Peningkatan Produktivitas Remaja melalui Pelatihan Digital Marketing dan Urban Framing Berbasis Hidroponik Youth Productivity Improvement through Digital Marketing and Urban Framing Training Based on Hydroponics. *BAKTI: J. Peng. Kpd Mas. J*, 5(1), 2025. <https://doi.org/10.51135/baktivol5iss1pp78-88>
- Salim Wardhana, A., Ferdiansyah, M., Kholifah, S. K., Studi Teknik Elektro, P., Tinggi Teknologi Nusantara Lampung, S., Bandar Lampung, K., Lampung, P., & Studi Teknik Industri, P. (2025). Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan. In *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi (JIMIK)* (Vol. 6, Issue 1). <https://journal.stmiki.ac.id>
- Satria, R., & Arijanto, R. (2025). *PERANCANGAN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGOLAHAN DATA HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SEKOLAH INSAN TERATAI* (Vol. 1, Issue 2). <https://jurnal.ubd.ac.id/index.php/poters/index>
- Soedarto, T., & Ainayah, R. K. (2022). *Teknologi Pertanian Menjadi Petani Inovatif 5.0: Transisi Menuju Pertanian Modern*. Uwais Inspirasi Indonesia.

Live and Applied Science, Volume 5

Wijaya, K., Yudi Permana, A., Hidayat, S., Wibowo, H., Arsitektur, P. S., & Kebangsaan, U. (2020). PEMANFAATAN URBAN FARMING MELALUI KONSEP ECO-VILLAGE DI KAMPUNG PARALON BOJONGSOANG KABUPATEN BANDUNG. In *Jurnal Arsitektur ARCADE* (Vol. 4, Issue 1).