

Assessment and Analysis of Sustainable Agroecosystem Management Through the Implementation of an Integrated Farming System (IFS) In Lempenge Hamlet, Rempek Village

Siti Zainab^{1*}, Wahyu Astiko²

¹Mahasiswa Doktor Pertanian Berkelanjutan Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

²Dosen Doktor Pertanian Berkelanjutan Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

Article History

Received : November 25th, 2025

Revised : December 20th, 2025

Accepted : December 24th, 2025

*Corresponding Author: **Siti Zainab**, Fakultas Pertanian, Universitas 45 Mataram, Mataram, Indonesia;
Email: Sitizainab83@gmail.com

Abstract: Tropical drylands in Indonesia face serious challenges in maintaining food security due to limited water availability, soil degradation, and low production efficiency. This study aims to evaluate the potential application of an *Integrated Farming System* (IFS) integrated with the *Internet of Things* (IoT) as a model for sustainable agroecosystem management in Lempenge Hamlet, Rempek Village, North Lombok Regency. The research employed a case study approach through the analysis of primary literature, field observations, and national policy reviews related to agriculture and food security. The findings indicate that the major constraints in the agroecosystem include limited water resources, soil degradation, the dominance of monoculture systems, and the low socio-economic capacity and digital literacy among farmers. The implementation of IoT-based IFS demonstrates significant advantages, including a 15–50% increase in land productivity, up to 30% efficiency in water and fertilizer use, and a 17% reduction in carbon emissions through organic waste recycling and precision input management. Moreover, the model contributes to higher farmer income, enterprise diversification, and stronger village institutions. However, implementation remains limited by high investment costs, inadequate internet infrastructure, and insufficient technical skills among farmers. Therefore, policy support such as equipment subsidies, institutional strengthening, digital literacy training, and the use of low-power communication networks like LoRaWAN is required to promote adaptive and sustainable smart farming systems in Indonesia's tropical dryland regions.

Keywords: *Integrated Farming System*, *Internet of Things*, sustainable agroecosystem, tropical dryland, Rempek Village.

Pendahuluan

Lahan kering tropis di Indonesia menghadapi tantangan serius dalam menjaga ketahanan pangan dan kemandirian desa. Kondisi yang ditandai dengan curah hujan rendah, degradasi tanah, dan keterbatasan sumber air menyebabkan produktivitas pertanian sering kali tidak optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pertanian yang tidak hanya mampu meningkatkan produksi, tetapi juga adaptif terhadap keterbatasan lingkungan. Salah satu pendekatan yang relevan adalah *Integrated Farming System* (IFS), yaitu sistem pertanian

yang mengintegrasikan tanaman, ternak, perikanan, dan sumber daya lokal untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. IFS terbukti dapat memperkuat ketahanan pangan, mengurangi ketergantungan pada input eksternal, serta menciptakan siklus produksi yang ramah lingkungan. Namun, penerapannya di lahan kering tropis masih menghadapi kendala karena faktor iklim dan keterbatasan teknologi pendukung.

Perkembangan teknologi digital, khususnya *Internet of Things* (IoT), menawarkan peluang besar dalam mengatasi kendala tersebut. IoT memungkinkan pemantauan kondisi

lingkungan, otomatisasi irigasi, dan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time (Sushanth & Sujatha, 2018; Dhanaraju et al., 2022; Pawar, 2024). Misalnya, sistem irigasi cerdas berbasis IoT terbukti mampu menghemat penggunaan air sekaligus meningkatkan produktivitas lahan kering dengan memanfaatkan sensor tanah, cloud computing, dan energi terbarukan (Et-Taibi et al., 2024; Mowla et al., 2023).

Integrasi IoT dengan IFS membuka peluang lebih luas dalam mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya. Melalui pemantauan kelembaban tanah, deteksi degradasi, hingga pemantauan kesehatan ternak, IoT dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi sistem pertanian terpadu, sehingga mendukung kemandirian desa dan ketahanan pangan lokal (Dhanaraju et al., 2022; Quy et al., 2022; Pawar, 2024). Dengan pendekatan ini, desa tidak hanya lebih tahan terhadap fluktuasi iklim, tetapi juga mampu mengurangi ketergantungan pada pasokan eksternal.

Meski potensinya besar, penerapan IoT dalam pertanian di lahan kering tropis masih menghadapi sejumlah tantangan. Hambatan yang paling dominan adalah keterbatasan infrastruktur, biaya implementasi yang relatif tinggi, serta rendahnya literasi digital di kalangan petani (Mohamed et al., 2021; Islam et al., 2021). Selain itu, konektivitas internet yang belum merata di wilayah terpencil membuat adopsi teknologi ini sulit dilakukan. Oleh karena itu, pengembangan model inovatif yang adaptif, terjangkau, serta berbasis pada kebutuhan lokal sangat diperlukan.

Beberapa penelitian terbaru merekomendasikan penggunaan perangkat hemat energi serta jaringan komunikasi seperti LoRaWAN untuk menjangkau daerah marginal yang sulit terhubung dengan internet (Mowla et al., 2023; Quy et al., 2022). Dengan strategi ini, implementasi IoT diharapkan menjadi lebih inklusif dan relevan dengan kondisi pedesaan tropis kering. Wilayah Desa Rempek terletak di ketinggian 155 meter di atas permukaan laut, dengan curah hujan mencapai 458 mm dan suhu rata-rata harian 28°C. Adapun jumlah bulan hujan mencapai kurang lebih 7 bulan dalam setahun.

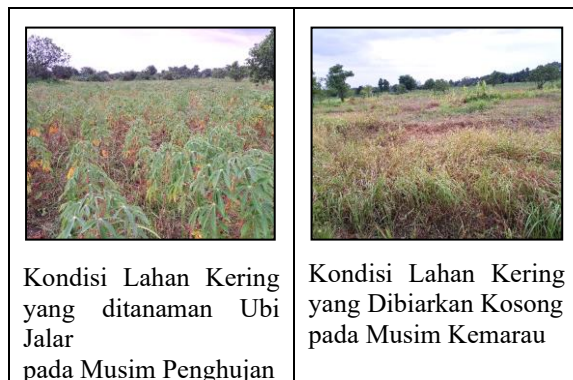
Jenis tanah di Desa Rempek berupa tanah Andisol dan Entisol. Tanah Andisol merupakan

salah satu jenis tanah vulkanik dimana terbentuk karena adanya proses vulkanisme pada gunung berapi. Untuk jenis tanah Entisol, sebagian besar berwarna kuning dan abu-abu dengan tekstur tanah lempung/debu. Sifat dan karakteristik tanah entisol cenderung memiliki tekstur yang kasar dengan kadar organik dan N rendah, tanah ini mudah teroksidasi dengan udara, kelembapan dan PH nya selalu berubah. Lahan dengan tanah entisol kurang baik untuk ditanami, karena memiliki kadar asam yang tinggi atau pH rendah.

Menurut topografinya, wilayah Desa Rempek memiliki ketinggian yang bervariasi dari 0 m dpl hingga 1450 m dpl berdasarkan hasil pemetaan wilayah. Berdasarkan data tersebut, sebaran lahan Desa Rempek mencakup ketinggian 0–25 m dpl seluas 136,4 hektare pada zona dataran rendah. Selain itu, wilayah desa Rempek menempati ketinggian 25–100 m dpl dengan luas 533,5 hektare di bagian tengah kawasan. Lebih jauh, bagian lain dari Desa Rempek menunjukkan ketinggian 100–500 m dpl seluas 847,2 hektare serta 500–800 m dpl seluas 500 hektare berdasarkan klasifikasi topografi setempat. Terakhir, wilayah dataran tinggi Desa Rempek mencakup ketinggian 800–1100 m dpl seluas 211,2 hektare dan 1100–1450 m dpl seluas 126,87 hektare pada bagian pegunungan desa. Berdasarkan penggunaan lahan ataupun pemanfaatan lahan yang berada di wilayah Desa Rempek yaitu hutan lindung, hutan produksi terbatas, hutan produksi tetap, Kawasan pertanian lahan kering, kawasan perkebunan, sawah tadah hujan, semak, dan Kawasan permukiman.

Wilayah Desa Rempek secara umum mempunyai ciri geologis berupa lahan sawah yang sangat cocok sebagai lahan pertanian dan perkebunan. Untuk lahan sawah yang ada di Desa Rempek terbagi menjadi 2 bagian yaitu Sawah Irigasi Teknis dan Sawah Irigasi Setengah Teknis, hal ini memungkinkan tanaman padi dan tanaman jenis palawija sangat cocok ditanam di sini. Jenis lahan sawah terbagi menjadi dua yaitu sawah irigasi teknis (151,51 ha) dan sawah irigasi setengah teknis (463,04 ha). Penggunaan tanah sawah yang berada di Desa Rempek ini sangat mendukung kegiatan di bidang sektor pertanian bagi masyarakat. Sedangkan penggunaan atau pemanfaatan lahan sebagai lahan kering, yaitu tegalan (658,02 ha), kebun (85,52 ha), dan untuk permukiman (16,34 ha).

Luas wilayah Dusun Lempenge adalah 198 ha, dengan topografi datar hingga agak curam. Sebagian besar adalah lahan kering berupa tegalan dan kebun, dengan kondisi tanah yang berpasir (porus). Masyarakat memanfaatkan lahan pertaniannya hanya pada musim penghujan, dengan menanam jagung, kacang tanah dan ubi kayu. Hanya sekitar 4 ha lahan saja yang digunakan untuk budidaya beberapa komoditas hortikultura. Pada musim kemarau sebagian besar lahan dibiarkan kosong.



Gambar 1. Kondisi Lahan Kering Dusun Lempenge Desa Rempek Kabupaten Lombok Utara

Sejak tahun 1990-an, pemerintah pusat telah membangun 4 (empat) unit sumur pompa air tanah, untuk meningkatkan produktifitas lahan kering di Dusun Lempenge. Masing-masing sumur pompa dilengkapi dengan lebih 7-15 outlet irigasi, dan masing-masing outlet dirancang untuk mampu mengairi 1-2 ha lahan sawah. Namun karena kondisi tanah yang berpasir, dan setiap outlet tidak dilengkapi dengan pipa atau saluran air, kurang lebih 75% outlet tidak dimanfaatkan oleh masyarakat. Air irigasi keluar dari outlet hanya mampu mengairi lahan di sekitar titik lokasi outlet, karena kondisi tanah yang sangat porus. Biaya operasional menggerakkan mesin pompa tidak sebanding dengan luas lahan yang dapat diari, Hal ini yang menyebabkan sebagian masyarakat tidak lagi memanfaatkan sumur pompa air tanah yang ada. Masyarakat mengolah lahan mereka hanya pada musim hujan, dengan menanam jagung dan ubi jalar. Setelah panen ubijalar dan jagung lahan dibiarkan kosong hingga tiba musim hujan berikutnya.

Oleh karena itu diperlukan penerapan suatu teknologi irigasi yang mudah dilakukan oleh masyarakat, yang berdampak pada

optimalisasi pemanfaatan lahan kering di luar musim hujan, sehingga bisa memberikan hasil dan pendapatan yang signifikan bagi masyarakat. Permasalahan lain sector pertanian yang dihadapi masyarakat petani Desa Rempek pada umumnya adalah kelangkaan pupuk bersubsidi dan mahalnya pestisida, yang mempengaruhi produktivitas pertanian. Secara spesifik permasalahan utama yang dihadapi oleh dua kelompok adalah sebagai berikut :

Permasalahan Kelompok Tani Milenial (KTM) Pada Patuh

Keberadaan petani milenial merupakan salah satu harapan masa depan pertanian di Indonesia. Petani milenial adalah tongkat estafet untuk memastikan ketahanan pangan dan keberkelanjutan sektor pertanian. Pemerintah telah berupaya meningkatkan partisipasi generasi muda dalam pertanian dengan menyediakan beberapa akses pendidikan pertanian, teknologi modern, serta pembiayaan yang terjangkau, yang diharapkan dapat menarik minat generasi muda untuk menggeluti sector pertanian.

Permasalahan utama KTM Pada Patuh dalam pengembangan pertanian adalah :

(a) Permasalahan pengairan lahan kering Seperti telah disampaikan sebelumnya, kondisi tanah yang porus menjadikan lahan tidak bisa menyimpan air dengan baik. Biaya operasional yang digunakan untuk menggerakkan mesin pompa air tanah, tidak sebanding dengan luas areal lahan yang dapat diairi. Hal ini karena air irigasi banyak yang hilang karena proses perkolasi yang cepat, dan evaporasi akibat teriknya matahari. Hanya petakan kecil lahan di sekitar *outlet* sumur pompa saja yang dapat terairi dengan baik, karena langsung mendapatkan air dari outlet. Sedangkan untuk petak-petak lahan di sebelahnya, tidak dapat terairi karena tidak adanya saluran irigasi. Ataupun jika ada saluran, air lebih banyak hilang karena perkolasi di sepanjang saluran.

(b) Kelangkaan pupuk subsidi

Kelangkaan pupuk bersubsidi di daerah pelosok merupakan masalah kompleks yang memerlukan perhatian serius dari semua pemangku kepentingan. Sebagian besar petani sangat bergantung pada

pupuk bersubsidi untuk menjaga produktivitas lahan mereka. Ketika terjadi kelangkaan, mereka tidak memiliki alternatif lain yang terjangkau. Pupuk non-subsidi sering kali terlalu mahal bagi petani kecil, yang mengakibatkan penurunan hasil panen dan pendapatan mereka.

(c) Mahalnya Pestisida.

Mahalnya pestisida memiliki dampak yang luas pada penurunan produktivitas pertanian. Saat harga pestisida naik, petani sering kali terpaksa mengurangi penggunaan atau bahkan berhenti menggunakan pestisida. Ini membuat tanaman lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit. Penggunaan pestisida yang tidak optimal akibat menurunnya daya beli petani, juga memicu percepatan penyebaran hama dan penyakit.

Oleh karena itu diperlukan inovasi dan teknologi yang mendukung akses petani terhadap pestisida yang terjangkau dan efektif, serta berkelanjutan, untuk memastikan ketahanan pangan dan kesejahteraan petani serta masyarakat luas.

Permasalahan Kelompok Wanita Tani (KWT) Melati

Kelompok Wanita Tani (KWT) memiliki potensi besar dalam mendukung sektor pertanian dan pemberdayaan ekonomi lokal. Namun, banyak KWT yang masih menghadapi permasalahan dalam memanfaatkan waktu luang mereka secara optimal. Banyak wanita tani yang belum mendapatkan akses yang memadai terhadap pelatihan dan pendidikan yang relevan dengan pertanian, kewirausahaan, dan keterampilan lainnya. Hal ini membuat mereka kurang terampil dalam mengelola usaha tani secara efektif dan mengembangkan usaha sampingan yang produktif. Minimnya keterampilan dan pengetahuan membuat para anggota KWT sulit mengembangkan potensi ekonomi mereka. Akibatnya, banyak waktu yang seharusnya bisa digunakan untuk kegiatan produktif menjadi terbuang percuma. Sejak pembentukan KWT Melati hingga saat ini, kegiatan anggota masih terbatas mendampingi dan membantu suami melakukan aktifitas di

sawah, ladang atau kebun. Masih sangat terbatas program-program desa maupun dari pihak luar yang mengarah pada pemberdayaan KWT dengan kegiatan ekonomi produktif.

Berdasarkan uraian di atas, pengembangan model Integrated Farming System berbasis IoT menjadi sangat penting. Model ini tidak hanya menawarkan efisiensi teknis dan peningkatan produktivitas, tetapi juga berpotensi memberikan dampak sosial-ekonomi berupa peningkatan pendapatan petani, penguatan kelembagaan desa, serta tercapainya kemandirian pangan berkelanjutan di wilayah lahan kering tropis Indonesia, namun penerapannya di Lempeng Desa Rempek masih memerlukan proses evaluasi agar dapat berfungsi sesuai yang diharapkan.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Dusun Lempeng, Desa Rempek, pada rentang waktu yang telah ditetapkan untuk menggambarkan kondisi agroekosistem berkelanjutan melalui penerapan *Integrated Farming System* (IFS). Desain penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan populasi seluruh unit usaha tani di dusun tersebut, sedangkan sampelnya ditentukan sebanyak sejumlah petani representatif melalui teknik *purposive sampling* berdasarkan kesesuaian karakteristik lahan, pengalaman bertani, serta penerapan komponen IFS. Variabel yang diamati mencakup kondisi biofisik lahan, komponen usaha tani terpadu, produktivitas tanaman dan ternak, efisiensi pemanfaatan limbah, serta indikator keberlanjutan sosial-ekonomi dan ekologi. Pengambilan data dilakukan melalui observasi lapang, wawancara terstruktur, dan pengukuran langsung menggunakan alat seperti GPS, soil tester, lembar observasi, serta instrumen kuisioner terstandar.

Prosedur penelitian disusun dalam beberapa tahapan, yaitu identifikasi awal sistem pertanian, pemetaan komponen IFS, pengumpulan data primer dan sekunder, verifikasi lapang, serta validasi informasi melalui diskusi kelompok terbatas. Setiap tahapan kemudian dianalisis untuk menilai keterpaduan antara tanaman, ternak, dan pengelolaan limbah sebagai dasar evaluasi keberlanjutan agroekosistem. Analisis data dilakukan secara

kuantitatif menggunakan statistik deskriptif dan indeks keberlanjutan, serta secara kualitatif melalui interpretasi pola interaksi antar komponen IFS untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas pengelolaan agroekosistem berkelanjutan di Dusun Lempenge.

Hasil dan Pembahasan

Permasalahan Pengelolaan Agroekosistem

Keterbatasan Air dan Degradasi Tanah

Air merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertanian, terutama di wilayah lahan kering tropis. Curah hujan yang rendah dan tidak merata sepanjang tahun membuat proses irigasi menjadi sulit dilakukan secara berkelanjutan. Ketergantungan pada air hujan menyebabkan pola tanam terbatas pada musim penghujan, sementara pada musim kemarau, lahan pertanian sering dibiarkan bera karena ketiadaan sumber air. Kondisi ini diperparah dengan terjadinya degradasi tanah akibat erosi, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan, dan minimnya praktik konservasi tanah. Erosi tidak hanya mengurangi ketebalan lapisan topsoil yang subur, tetapi juga mengangkut nutrisi esensial yang dibutuhkan tanaman. Akibatnya, kesuburan tanah menurun, daya simpan air melemah, dan produktivitas lahan semakin berkurang. Dalam konteks agroekosistem berkelanjutan, keterbatasan air dan degradasi tanah menjadi faktor paling kritis karena keduanya secara langsung membatasi kapasitas sistem pertanian untuk mempertahankan produktivitas jangka panjang.

Monokultur dan Kerentanan Ekologi

Sistem monokultur masih banyak dipraktikkan oleh petani di Dusun Lempenge Desa Rempek, khususnya pada tanaman pangan utama seperti padi, jagung, dan kedelai. Monokultur memberikan keuntungan jangka pendek berupa efisiensi pengelolaan, namun dalam jangka panjang menimbulkan kerentanan ekologi yang serius. Ketika satu jenis tanaman ditanam terus-menerus pada lahan yang sama, keanekaragaman hayati tanah berkurang, hama dan penyakit lebih mudah berkembang, serta siklus hara menjadi tidak seimbang. Hal ini mengakibatkan meningkatnya penggunaan pestisida dan pupuk kimia, yang justru

mempercepat degradasi lingkungan. Selain itu, monokultur membatasi diversifikasi pangan lokal. Ketika terjadi kegagalan panen akibat iklim ekstrem atau serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), petani kehilangan seluruh sumber pendapatannya. Dengan demikian, praktik monokultur bukan hanya membatasi produksi tanaman, tetapi juga meningkatkan kerentanan ekonomi dan pangan masyarakat desa di Desa Rempek.

Keterbatasan Sosial-Ekonomi

Dimensi sosial-ekonomi menyumbang hambatan yang substansial terhadap efektivitas pengelolaan agroekosistem berkelanjutan di luar pengaruh faktor ekologis. Kondisi sosial dan ekonomi petani mempengaruhi ketercapaian penerapan praktik pertanian berkelanjutan melalui variasi kapasitas sumber daya, akses informasi, dan struktur kelembagaan lokal. Berbagai variabel sosial-ekonomi berperan sebagai faktor pembatas dalam optimalisasi manajemen agroekosistem berkelanjutan selain kendala yang bersifat ekologis. Banyak petani kecil yang memiliki akses modal terbatas petani di Dusun Lempenge Desa Rempek, sehingga sulit untuk mengadopsi teknologi baru atau melakukan investasi dalam sarana produksi ramah lingkungan.

Rendahnya literasi digital memperparah masalah ini, terutama dalam konteks penerapan pertanian modern berbasis teknologi seperti Internet of Things (IoT). Petani di Dusun Lempenge Desa Rempek masih kesulitan memahami cara penggunaan perangkat digital untuk pemantauan kelembaban tanah, deteksi penyakit tanaman, maupun sistem irigasi otomatis. Selain itu, kelembagaan desa yang lemah membuat kolaborasi antarpetani tidak berjalan optimal. Ketiadaan kelompok tani yang kuat, koperasi, atau lembaga pengelola pangan lokal menyebabkan akses petani terhadap pasar, pembiayaan, maupun informasi teknologi menjadi terbatas. Akibatnya, produktivitas pertanian tetap rendah dan sulit berkembang menuju sistem yang berkelanjutan.

Hambatan Teknologi

Meskipun inovasi teknologi seperti IoT, sensor tanah, dan drone menjanjikan efisiensi tinggi dalam pertanian, adopsinya masih menghadapi banyak hambatan. Biaya perangkat

IoT relatif tinggi untuk ukuran petani kecil dan menengah, sehingga pemanfaatannya masih terbatas pada skala tertentu. Keterbatasan infrastruktur internet di daerah pedesaan juga menjadi penghalang utama. Oleh karena itu petani di dusun Lempenge Desa Rempek, belum terjangkau jaringan internet stabil, karena konektivitas menjadi syarat penting bagi sistem berbasis IoT. Selain itu, ketergantungan pada perangkat impor membuat ketersediaan alat terbatas dan biaya pemeliharaan mahal. Tanpa adanya dukungan pemerintah melalui subsidi atau insentif, adopsi teknologi sulit meluas di tingkat akar rumput. Hambatan ini menjadikan teknologi yang seharusnya menjadi solusi, justru menjadi pembatas baru dalam pengelolaan agroekosistem berkelanjutan terutama di pedesaan seperti petani di dusun Lempenge Desa Rempek.

Evaluasi Model IFS berbasis IoT

Keunggulan

Penerapan model agroekosistem berkelanjutan yang memadukan *Integrated Farming System* (IFS) dengan teknologi **Internet of Things (IoT)** memberikan sejumlah keunggulan yang signifikan. Pertama, dari sisi produktivitas, penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu **meningkatkan hasil panen hingga 15–50%**. Integrasi tanaman, ternak, dan perikanan menciptakan siklus produksi yang saling mendukung, sementara teknologi IoT membantu memantau kelembaban tanah, kebutuhan pupuk, dan kesehatan tanaman secara real-time, sehingga input dapat diberikan sesuai kebutuhan.

Kedua, sistem ini meningkatkan **efisiensi penggunaan input pertanian**, khususnya air dan pupuk. IoT melalui sensor kelembaban tanah memungkinkan irigasi otomatis hanya pada saat dibutuhkan, sehingga mampu menghemat air hingga 30%. Selain itu, pemantauan nutrisi tanah membuat penggunaan pupuk lebih presisi, mengurangi pemborosan, dan menekan ketergantungan pada pupuk kimia.

Ketiga, keunggulan lain terletak pada **pengurangan emisi dan dampak lingkungan**. Dengan memanfaatkan limbah ternak sebagai pupuk organik dan mengurangi penggunaan input kimia, sistem ini terbukti menurunkan jejak karbon hingga 17% dibandingkan monokultur. Integrasi berbagai komponen

pertanian juga membantu menjaga kesuburan tanah, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan memperbaiki siklus nutrisi.

Keempat, penerapan model ini berimplikasi langsung pada **penguatan kemandirian desa**. Diversifikasi produksi melalui IFS mengurangi ketergantungan pada satu komoditas, sementara teknologi IoT memberikan data akurat untuk pengambilan keputusan. Hal ini tidak hanya meningkatkan ketahanan pangan lokal, tetapi juga membuka peluang usaha baru di desa, seperti pengolahan produk, pemasaran digital, hingga pemanfaatan energi terbarukan.

Keterbatasan

Meskipun menjanjikan, penerapan IFS berbasis IoT menghadapi sejumlah keterbatasan. Pertama adalah faktor **biaya**. Pengadaan sensor, perangkat komunikasi, dan sistem pengolahan data masih tergolong mahal, sehingga sulit dijangkau petani kecil. Kedua, sistem ini relatif **rumit** untuk dioperasikan. Manajemen IFS sendiri sudah kompleks karena mencakup banyak komponen usaha tani, ditambah lagi dengan tuntutan keterampilan teknis untuk mengoperasikan perangkat IoT.

Ketiga, sistem ini **memerlukan pelatihan intensif**. Rendahnya literasi digital di pedesaan menjadi hambatan serius karena petani harus memahami cara membaca data, merawat perangkat, dan memanfaatkannya dalam pengambilan keputusan. Tanpa pelatihan yang berkelanjutan, potensi IoT sulit terealisasi. Keempat, penerapan model ini sangat **bergantung pada dukungan kebijakan**. Infrastruktur internet yang belum merata, biaya perangkat yang tinggi, serta minimnya subsidi membuat IoT belum bisa diakses secara luas oleh masyarakat desa.

Solusi

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dibutuhkan sejumlah solusi strategis. Pertama, **subsidi pemerintah** sangat penting dalam menurunkan biaya awal investasi perangkat IoT. Subsidi dapat diberikan dalam bentuk bantuan perangkat, akses kredit lunak, atau insentif bagi desa yang mengadopsi teknologi ramah lingkungan.

Kedua, **penguatan kelompok tani dan kelembagaan desa** menjadi kunci agar

penerapan sistem ini tidak bergantung pada individu. Dengan manajemen kolektif, biaya dapat ditanggung bersama, pelatihan lebih efektif, dan pemasaran hasil pertanian dapat dilakukan secara terorganisir.

Ketiga, penggunaan **jaringan komunikasi alternatif seperti LoRaWAN** menjadi solusi bagi daerah yang belum terjangkau internet. LoRaWAN memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan biaya rendah dan konsumsi energi minimal, sehingga sangat sesuai untuk pedesaan.

Keempat, **edukasi literasi digital** bagi petani harus ditingkatkan. Program pelatihan berbasis komunitas, kolaborasi dengan perguruan tinggi, maupun pendampingan berkelanjutan dapat memperkuat kapasitas petani dalam menggunakan teknologi. Dengan demikian, teknologi IoT tidak hanya hadir sebagai perangkat canggih, tetapi benar-benar dimanfaatkan untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Dengan keunggulan yang nyata, keterbatasan yang dapat diidentifikasi, serta solusi yang terarah, penerapan IFS berbasis IoT memiliki peluang besar untuk mewujudkan agroekosistem berkelanjutan di Indonesia.

Dampak Sosial-Ekonomi

Ketersediaan pangan merupakan aspek pertama dari ketahanan pangan. Melalui **diversifikasi produksi**, desa mampu menyediakan berbagai jenis pangan lokal secara berkelanjutan. Penerapan sistem pertanian terpadu memungkinkan adanya kombinasi tanaman pangan, hortikultura, peternakan, dan perikanan dalam satu ekosistem. Dengan demikian, pasokan sayur, buah, sumber protein, dan karbohidrat dapat tersedia sepanjang tahun. Diversifikasi ini tidak hanya memperkuat ketahanan pangan rumah tangga, tetapi juga menurunkan risiko kerugian akibat kegagalan panen pada satu komoditas.

Akses pangan berkaitan dengan kemampuan masyarakat untuk memperoleh pangan baik secara fisik maupun ekonomi. Melalui **pemberdayaan masyarakat**, petani didorong untuk meningkatkan kapasitas produksi, mengelola sumber daya secara efisien, dan mengakses peluang usaha baru. Pendekatan ini meningkatkan pendapatan keluarga, sehingga daya beli terhadap pangan lebih kuat. Selain itu, akses pangan juga diperkuat dengan adanya

kelembagaan ekonomi lokal, seperti koperasi atau kelompok tani, yang memfasilitasi pemasaran hasil pertanian dan distribusi pangan ke masyarakat.

Pemanfaatan pangan menekankan pada kualitas konsumsi, termasuk nilai gizi dan cara pengolahan. Edukasi gizi menjadi kunci penting agar hasil pertanian yang beragam benar-benar dimanfaatkan untuk memperbaiki kesehatan keluarga. Dengan pengetahuan yang baik, masyarakat dapat mengolah bahan pangan lokal menjadi menu sehat, bergizi, dan sesuai kebutuhan. Hal ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pangan instan, tetapi juga mendukung upaya penurunan stunting dan masalah gizi lainnya di pedesaan.

Stabilitas pangan menekankan konsistensi ketersediaan dan akses pangan dalam jangka panjang. **Kelembagaan desa** seperti kelompok tani, lumbung pangan, dan BUMDes berperan sebagai penguat sistem pangan lokal, terutama ketika terjadi fluktuasi iklim atau gejolak harga pasar. Dengan adanya cadangan pangan dan pengelolaan kolektif, desa lebih siap menghadapi risiko bencana, kekeringan, maupun krisis ekonomi. Dengan demikian, integrasi keempat aspek tersebut menjadikan agroekosistem berkelanjutan sebagai pilar penting dalam mewujudkan ketahanan pangan dan kemandirian desa.

Kesimpulan

Permasalahan utama pengelolaan agroekosistem berkelanjutan adalah keterbatasan air, degradasi tanah, monokultur, dan hambatan teknologi. Model IFS berbasis IoT terbukti meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan, meski masih terkendala biaya dan keterampilan. Dampak sosial-ekonomi signifikan terlihat pada peningkatan pendapatan petani, penguatan kelembagaan desa, dan ketahanan pangan lokal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak pemerintah yang telah menunjukkan komitmen dalam mendukung inovasi pertanian melalui upaya penyediaan subsidi perangkat IoT serta perluasan jaringan internet di wilayah pedesaan. Apresiasi yang

tulus juga penulis sampaikan kepada para petani yang telah berpartisipasi aktif dalam pengembangan kelembagaan kolektif sebagai landasan penting bagi pengelolaan *Integrated Farming System* (IFS) berbasis IoT yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, penulis berterima kasih kepada seluruh akademisi dan peneliti yang terus mendorong penguatan kajian ilmiah, khususnya yang berfokus pada aspek keberlanjutan finansial, sebagai pijakan bagi penelitian lanjutan yang mampu memperkaya pemahaman dan implementasi agroekosistem berkelanjutan di masa mendatang.

Referensi

- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>.
- Et-Taibi, B., Abid, M., Boufounas, E., Morchid, A., Bourhane, S., Hamed, T., & Benhaddou, D. (2024). Enhancing Water Management in Smart Agriculture: A Cloud and IoT-Based Smart Irrigation System. *Results in Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102283>.
- Islam, N., Rashid, M., Pasandideh, F., Ray, B., Moore, S., & Kadel, R. (2021). A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming. *Sustainability*.
<https://doi.org/10.3390/SU13041821>.
- Juwenie, J., R, M., Sumanto, R., Haeruddin, H., & Handayani, S. (2024). Analisis Hukum Kebijakan Pemerintah dalam Memajukan Kemandirian Lokal: Perspektif Ketahanan Pangan Nasional. *ASPIRASI : Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat*.
<https://doi.org/10.61132/aspirasi.v2i4.971>.
- Kelompok, P., Dalam, T., Pangan, K., Tangga, R., Kasus, S., Pangan, L., Kamubheka, D., Maukaro, K., Ende, K., Nindi, K., Pellokila, M., Ballo, F., & Kunci, K. (2024). Peran Kelompok Tani dalam Ketahanan Pangan Rumah Tangga. *Journal of Business, Finance, and Economics (JBFE)*.
<https://doi.org/10.32585/jbfe.v5i2.5716>.
- Kumar, V., Sharma, K., Kedam, N., Patel, A., Kate, T., & Rathnayake, U. (2024). A Comprehensive Review on Smart and Sustainable Agriculture Using IoT Technologies. *Smart Agricultural Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>.
- Manivannan, S., & Thilagam, V. (2022). Integrated Farming is an Effective Multiple Water use System to Enhance the Livelihood Security of Small and Marginal Farmers: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*.
<https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i930912>.
- Mir, M., Naikoo, N., Amin, Z., Bhat, T., Nazir, A., Kanth, R., Singh, P., Raja, W., Singh, L., Fayaz, S., Ahngar, T., Palmo, T., & Rehman, U. (2022). Integrated Farming System: A Tool for Doubling Farmer's Income. *Journal of Experimental Agriculture International*.
<https://doi.org/10.9734/jeai/2022/v44i330808>.
- Mohamed, E., Belal, A., Abd-Elmabod, S., El-Shirbeny, M., Gad, A., & Zahran, M. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>.
- Morchid, A., Alami, R., Raezah, A., & Sabbar, Y. (2023). Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509>.
- Mowla, M., Mowla, N., Shah, A., Rabie, K., & Shongwe, T. (2023). Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture Applications: A Survey. *IEEE Access*, 11, 145813–145852.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346299>.

- Natsir, N., Amirullah, I., Syafaruddin, S., Khaeriyah, K., Mursalin, M., & Mallawi, M. (2024). Kolaborasi Pemerintah Desa Kalukubodo Kec. Galesong Selatan Kab. Takalar dan Perguruan Tinggi Stia Yappi Kita Wujudkan Kemandirian Lokal dan Ketahanan Pangan. *MENGABDI : Jurnal Hasil Kegiatan Bersama Masyarakat*. <https://doi.org/10.61132/mengabdi.v2i4.811>.
- Ologunde, O., Bello, S., & Busari, M. (2024). Integrated agricultural system: A dynamic concept for improving soil quality. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.03.002>.
- Pawar, S. (2024). IoT Solutions in Agriculture: Enhancing Efficiency and Productivity. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24may2442>.
- Pranaja, K. (2023). Food Security at the Village Level: Learning from Hargorejo Village as a Village for Reducing Food Insecurity in the Special Region of Yogyakarta. *Dialogue : Jurnal Ilmu Administrasi Publik*. <https://doi.org/10.14710/dialogue.v5i2.17151>.
- Quy, V., Van Hau, N., Van Anh, D., Quy, N., Ban, N., Lanza, S., Randazzo, G., & Muzirafuti, A. (2022). IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app12073396>.
- Ramana, M., Kumari, C., Karthik, R., Alibaba, M., Reddy, G., Chiranjeevi, K., Kumar, M., Chandra, M., Ravisankar, N., Bhatt, R., Gaber, A., & Hossain, A. (2025). Integrated Farming Systems Improve the Income of Small Farm Holdings—An Overview of Earlier Findings in the Indian Context. *Food and Energy Security*. <https://doi.org/10.1002/fes3.70064>.
- Sari, E., & Agustina, I. (2024). Transforming Food Security for Economic Independence in Indonesia. *Indonesian Journal of Public Policy Review*. <https://doi.org/10.21070/ijppr.v25i3.1384>.
- Shanmugam, P., Sangeetha, S., Prabu, P., Varshini, S., Renukadevi, A., Ravisankar, N., Parasuraman, P., Parthipan, T., Satheeshkumar, N., Natarajan, S., & Gopi, M. (2024). Crop–livestock-integrated farming system: a strategy to achieve synergy between agricultural production, nutritional security, and environmental sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1338299>.
- Singh, J., Singh, B., Singh, A., & Rani, P. (2024). Integrated Farming System: A Sustainable Approach towards Modern Agriculture. *International Journal of Plant & Soil Science*. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i95012>.
- Singh, P., & Sharma, A. (2022). An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application. *Comput. Electr. Eng.*, 100, 107912. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107912>.
- Sopian, Y., Julianti, D., Nalurita, S., Selwina, S., & Masamah, S. (2023). Socialization and Assistance in Strengthening Food Security through Food Security Strategy Seminar Activities in Jambenenggang Village (Group 8 Food Security Division). *Indonesian Journal of Society Development*. <https://doi.org/10.55927/ijisd.v2i3.4511>.
- Sushanth, G., & Sujatha, S. (2018). IOT Based Smart Agriculture System. 2018 *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/WISPNET.2018.8538702>.
- Ullo, S., & Sinha, G. (2021). Advances in IoT and Smart Sensors for Remote Sensing and Agriculture Applications. *Remote. Sens.*, 13, 2585. <https://doi.org/10.3390/rs13132585>.
- Woditsch, G. (2019). Integrated Fish Farming. *Modern Perspectives in Economics, Business and Management Vol. 1*. <https://doi.org/10.4324/9781315807973>.