

PENERAPAN PERTANIAN PRESISI : STUDI KASUS PROGRAM PEMBERDAYAAN MASYARAKAT TAWANGARGO SMART-ECO FARMING VILLAGE (TAMENG)

Adi Candra Purnama^{1*}, Santi Nur Rahayu¹, Muhammad Riefqi Putra Juliesa¹

¹PT Petrokimia Gresik

*adicandra22@gmail.com

ABSTRAK

Program Tawangargo Smart-Eco Farming Village (TAMENG) yang diinisiasi PT Petrokimia Gresik merupakan solusi terintegrasi untuk mengatasi tantangan struktural pertanian di Desa Tawangargo, meliputi dampak perubahan iklim, degradasi tanah akibat penggunaan pupuk kimia berlebihan, polusi limbah pertanian, dan krisis regenerasi petani (95% petani berusia >40 tahun). Berbasis prinsip pertanian presisi, program ini mengadopsi teknologi IoT (pemantauan kondisi lahan, iklim), sistem irigasi presisi (drip system, sprinkle), dan pengelolaan limbah terpadu menjadi plant booster serta agensia hayati guna meningkatkan efisiensi sumber daya, produktivitas, dan keberlanjutan ekologis. Melalui pendekatan living lab berbasis partisipasi masyarakat, petani berperan sebagai koinovator dalam identifikasi masalah hingga pengambilan keputusan, didukung kolaborasi multipihak (akademisi, BPP Karangploso, BUMDes). Hasilnya, TAMENG tidak hanya memperkuat ketahanan iklim dan kapasitas petani, tetapi juga menarik generasi muda serta mengembangkan desa menjadi Climate Smart Agriculture Learning Center yang menuju sertifikasi P4S, menciptakan model pertanian presisi berkelanjutan yang replikabel di Kabupaten Malang.

Kata kunci : agrikultur, pertanian presisi, living lab

ABSTRACT

The Tawangargo Smart-Eco Farming Village (TAMENG) program, initiated by PT Petrokimia Gresik, provides an integrated solution to structural agricultural challenges in Tawangargo Village, addressing climate change impacts, soil degradation from excessive chemical fertilizer use, agricultural waste pollution, and farmer regeneration crises (95% of farmers >40 years old). Grounded in precision agriculture principles, the program employs IoT technology (for land/climate monitoring), precision irrigation systems (drip/sprinkler), and integrated waste conversion into plant growth promoters and biological agents to enhance resource efficiency, productivity, and ecological sustainability. Through a participatory living lab approach, farmers serve as co-innovators in problem identification and decision-making, supported by multistakeholder collaboration (academia, BPP Karangploso, village-owned enterprises). Results demonstrate TAMENG's success in strengthening climate resilience and farmer capacity while attracting youth engagement. The program has transformed the village into a Climate Smart Agriculture Learning Center progressing toward P4S (Certified Independent Agricultural Training Center) certification, establishing a replicable model for sustainable precision agriculture in Malang Regency.

Key words : agriculture, smart precision farming, living lab

PENDAHULUAN

Hortikultura merupakan salah satu komoditi yang mempunyai potensi serta peluang untuk dikembangkan sehingga menjadi produk unggulan yang mampu meningkatkan kesejahteraan petani di Indonesia, baik yang tergolong produk buah-buahan, sayuran, obat-obatan maupun tanaman hias. Luas wilayah Indonesia dengan keragaman Agroklimat memungkinkan pengembangan berbagai jenis tanaman hortikultura. Terdapat 323 jenis komoditas hortikultura yang terdiri dari 60 jenis buah-buahan, 80 jenis sayuran, 66 jenis biofarmaka, dan 117 jenis tanaman hias.

Saat ini pertanian hortikultura sedang menghadapi krisis yang dapat menghambat dari proses hulu ke hilir diantaranya perubahan iklim, alih fungsi lahan, efisiensi sumber daya, rendahnya regenerasi

petani dan literasi tentang teknologi pertanian tepat guna yang masih rendah. Salah satu pendekatan inovatif yang mulai dikembangkan untuk menjawab permasalahan tersebut adalah living lab, yaitu metode kolaboratif yang menggabungkan teknologi, peningkatan kapasitas petani dan eksperimen secara ilmiah oleh lembaga penelitian khususnya pertanian.

PT Petrokimia Gresik sebagai produsen pupuk yang mengusung slogan “Solusi Agroindustri” menginisiasi program tanggung jawab sosial dan lingkungan perusahaan dengan memberdayakan petani di Desa Tawangargo. Program *Tawangargo Smart-Eco Farming Village* (TAMENG) diarahkan menjadi salah satu pioner dalam penerapan konsep living lab pada skala desa yang berfokus pada pengembangan pertanian hortikultura dengan teknologi tepat guna. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana living lab dapat mengoptimalkan teknologi sekaligus meningkatkan partisipasi aktif petani dalam inovasi pertanian untuk mendukung kawasan tersebut menjadi research center.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji efektivitas penerapan *smart precision farming* pada program *Tawangargo Smart-Eco Farming Village* (TAMENG) dalam mengoptimalkan pemanfaatan teknologi tepat guna serta meningkatkan partisipasi aktif petani di Desa Tawangargo. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kontribusi penerapan *living lab* dalam mengembangkan kawasan pertanian sebagai pusat penelitian berbasis masyarakat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini disusun menggunakan desain penelitian kualitatif melalui analisis deskriptif. Metode kualitatif merupakan prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata tertulis maupun lisan dari individu-individu serta perilaku yang dapat diamati secara langsung (Taylor dalam Moleong, 2018). Metode ini dipilih karena mampu memberikan pemahaman mendalam mengenai konteks sosial, perilaku, dan dinamika dalam pelaksanaan Program TAMENG. Lokasi penelitian di Desa Tawangargo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur sebagai lokasi berjalannya program TAMENG. Pengambilan data dilakukan melalui wawancara informan dan observasi. Selain itu, data yang tersaji dalam penelitian ini juga diperoleh dari sumber sekunder sebagai pendukung berupa data statistik, catatan kelompok, jurnal, buku, dan sumber lainnya yang relevan. Pemilihan informan ditentukan menggunakan Teknik purposive sampling, yaitu pengambilan data yang difokuskan pada aktor-aktor yang dianggap memiliki informasi yang mendukung. Digunakan juga teknik snowball sampling untuk menemukan informan yang memiliki informasi relevan berdasarkan rekomendasi dari informan sebelumnya. Informan terdiri dari local hero, pengurus program, kelompok rentan penerima manfaat, dan pemerintah desa setempat. Jumlah informan yang diwawancarai dalam penelitian ini sebanyak 7 orang dengan rincian 2 *local hero*, 1 pengurus program, 4 kelompok penerima manfaat, dan 1 perwakilan pemerintah Desa. Penelitian dilakukan sepanjang bulan April-Mei 2025.

Untuk menjamin validitas data, dilakukan proses triangulasi sumber dan metode dengan membandingkan informasi dari berbagai informan untuk memperoleh perspektif yang seimbang. Triangulasi metode dilakukan dengan membandingkan hasil wawancara, observasi lapangan, dan dokumen pendukung seperti data atau catatan program. Ruang lingkup penelitian difokuskan pada program Tawangargo Smart-Eco Farming Village yang menasar kelembagaan BUMDES dan kelompok Agronova Vision. Analisis data dilakukan menggunakan teknik deskriptif kualitatif melalui 3 langkah: (a) reduksi data dengan menyaring dan memilah data mentah wawancara, observasi, dan dokumen agar fokus pada informasi yang relevan dengan tujuan penelitian, (b) penyajian data yang telah direduksi disusun dalam bentuk naratif untuk mempermudah penarikan hasil temuan, dan (c) verifikasi data dilakukan dengan menyusun keterkaitan antar temuan dan kesimpulan untuk menjawab rumusan

masalah serta tujuan penelitian. Kesimpulan yang dihasilkan diharapkan mampu menjawab tujuan penelitian yaitu mengkaji praktik Sustainability Agriculture melalui Pertanian Regeneratif pada program TAMENG.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertanian Presisi

Petani di Desa Tawangargo dihadapkan pada permasalahan struktural perubahan iklim dan isu kesejahteraan. Periode musim tidak lagi bisa diprediksi kapan datangnya dan menjadi salah satu faktor pemicu gagal panen. Penurunan hasil panen juga dipengaruhi oleh penggunaan pupuk kimia dan pestisida berlebihan yang berdampak pada degradasi tanah. Permasalahan limbah sayur menyebabkan bau busuk dan polusi udara ketika dibakar menuntut penyelesaian dengan segera. Kondisi pertanian hortikultura diperparah oleh rendahnya regenerasi petani muda. Tercatat 95 persen petani di Desa Tawangargo berusia lebih dari 40 tahun.

Melihat permasalahan di lapangan, PT Petrokimia Gresik turut berkontribusi melakukan berbagai upaya melalui program pemberdayaan masyarakat bernama Tawangargo Smart-Eco Farming Village (Tameng). Program dirumuskan berdasarkan kebutuhan masyarakat menggunakan prinsip pertanian presisi. Keterlibatan masyarakat sangat ditekankan pada setiap aspek pelaksanaan program meliputi proses identifikasi masalah, perencanaan program, dan pengambilan keputusan.

Program Tameng dirumuskan dengan tujuan mengembangkan Desa Tawangargo menjadi kawasan pertanian presisi dan berkelanjutan. Melalui pendampingan terhadap petani, Petrokimia Gresik mempromosikan pendekatan pertanian yang lebih mengoptimalkan sumber daya meliputi penggunaan pupuk, air, dan pestisida berdasarkan informasi akurat terkait kondisi lahan, tanaman, dan iklim dalam setiap pengambilan keputusan perlakuan terhadap tanaman sayur. Program fokus pada penerapan teknologi modern meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan memastikan keberlanjutan lingkungan. Program Tameng berjalan sejak tahun 2022, sementara rencana exit di tahun 2026 dengan strategi *phasing over*, yaitu menyerahkan pendampingan program kepada mitra perguruan tinggi untuk menjadi pusat riset pertanian hortikultura modern. Tahun 2022, program fokus pada pembangunan fasilitas mitigasi perubahan iklim berupa *greenhouse*. Kemudian, dilanjutkan pengembangan fasilitas *smart eco farming* seperti *drip system* dan *Internet of Things* pada tahun 2023. Pada tahun 2024, diinisiasi Loka Latihan Pertanian atau LOLAPER yang melibatkan seluruh lapisan masyarakat khususnya para pemuda dalam pengembangan usaha pertanian dan pengolahan limbah sayur oleh Kelompok Agronova Vision. Di tahun yang samai, program Tameng menggandeng BUMDES dalam memasarkan produk olahan limbah pertanian menjadi *plant booster* dan agensi hayati. Selanjutnya pada tahun 2025, program difokuskan pada optimalisasi usaha kelompok serta peningkatan branding *Climate Smart Agriculture Learning Center* melalui pengukuhan lokasi program sebagai *living lab*. Diharapkan tahun 2026, Tameng telah mendapatkan sertifikasi Pusat Pelatihan Pertanian Pedesaan Swadaya (P4S) dari Kementerian Pertanian.

TAMENG dapat dikategorikan menerapkan pertanian presisi berdasarkan praktik penggunaan teknologi dalam proses pertanian, melakukan manajemen lahan dan penggunaan sumber daya yang lebih efisien. Program TAMENG diharapkan menjadi contoh unggulan konsep kawasan pertanian presisi yang diterapkan di Kabupaten Malang. Dengan mengintegrasikan seluruh tahapan proses pertanian, termasuk pengolahan limbah secara terpadu, Tawangargo menjadi desa pionir yang menerapkan prinsip-prinsip *climate smart agriculture*. Berikut deskripsi penerapan pertanian presisi pada Program TAMENG di Desa Tawangargo:

1. Penerapan Sistem *Smart-Eco Farming*:
Praktik pertanian pada program TAMENG telah mengadopsi teknologi modern dengan menggunakan sensor *IoT (Internet of Things)* untuk memantau berbagai aspek lingkungan, seperti suhu, kelembaban tanah, dan ketersediaan air. Data yang terkumpul kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi yang mendalam tentang kondisi pertanian, memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih baik. Selain itu, penggunaan alat uji tanah membantu petani mengetahui tingkat kesuburan tanah dengan kemampuan membaca tingkat temperatur, kelembapan, konduktivitas hidrolis (kemampuan tanah mengalirkan air dalam kondisi jenuh atau hampir jenuh), PH tanah, Kandungan N, Kandungan P, Kandungan K, dan tingkat kesuburan sendiri. Petani di Dusun Ngudi Tawangargo menerapkan sistem irigasi tetep (*water drip system*) dan sprinkle sehingga penggunaan air lebih efisien. Kemudian, keberadaan *greenhouse* dimanfaatkan sebagai uji benih tanaman sayuran oleh petani.
2. Pengelolaan Limbah Pertanian Terpadu
Program TAMENG berhasil membantu petani mengolah limbah hasil panen menjadi *plant booster* dan *agensia hayati*. Pengolahan sisa hasil panen mampu mengurangi timbulan limbah yang menyumbang emisi gas kaca, serta menciptakan lingkungan pertanian yang lebih berkelanjutan di Desa Tawangargo.
3. Penerapan Prinsip *Climate Smart Agriculture*
Program TAMENG secara aktif menerapkan prinsip-prinsip *climate smart agriculture*. Hal ini mencakup penggunaan teknik pertanian ramah lingkungan, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan adaptasi perubahan iklim. Dengan demikian, pertanian di desa Tawangargo tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan hasil dan produktivitas, tetapi juga menjaga keseimbangan ekologi dan memperkuat ketahanan terhadap perubahan iklim.
4. Kemitraan dan Pendidikan
Desa Tawangargo melalui Program TAMENG aktif menjalin kemitraan dengan pihak-pihak terkait, termasuk lembaga pendidikan dan penelitian, pemerintah, dan organisasi non-pemerintah. Melalui kemitraan ini, desa dapat mengakses sumber daya tambahan, seperti pengetahuan dan teknologi terbaru, serta mendukung program-program pendidikan dan pelatihan bagi petani lokal. Hal ini membantu meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang praktik-praktik pertanian berkelanjutan di antara masyarakat lokal. Kerjasama berlangsung antara Petrokimia Gresik dan Politeknik Pembangunan Malang (Polbangtan Malang) dalam memberikan pelatihan meliputi: pembuatan pakan ternak (*wafer* dan *konsentrat*), pembuatan pupuk organik cair dan pupuk hayati (*agensia hayati*), pembuatan mie sayur, manajemen air dan *drip system*, motivasi dan petani *millennial*, analisis pupuk, dan budidaya hortikultura tanaman cabai semi organik. Kerjasama juga berlangsung antara Balai Penyuluhan Pertanian Karangploso (BPP Karangploso) dalam memberikan penyuluhan kepada petani. Selain itu, kerjasama juga berlangsung dengan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya dalam pengembangan *internet of thing*. Peluang kerjasama akan lebih besar dalam pengembangan program menjadi *living lab* yang akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

Hasil dari penerapan *smart precision farming* memberikan perbandingan data yang cukup signifikan. Berdasarkan data yang didapatkan, sistem pertanian tradisional yang sebelumnya dijalankan petani hanya mampu melakukan panen 3 hingga 4 kali per musim tanam dengan hasil paling banyak sebesar 30 kilogram dalam satu musim panen. Setelah penerapan *smart precision farming*, produktivitas meningkat hingga mampu melakukan panen sebanyak 14 hingga 18 kali dengan hasil sebesar 80

kilogram dalam satu musim panen. Selain itu, sebelum adanya program petani masih bergantung pada penggunaan pupuk kimia. Sementara alokasi pupuk subsidi di sektor hortikultura hanya menasar pada tanaman cabai, bawang, merah, dan bawang putih sehingga sebanyak 174 petani di Desa Tawangargo masih kekurangan pupuk. Setelah adanya program, kebutuhan pupuk petani terpenuhi dengan produksi mandiri pupuk organik dari limbah sayur. Pemanfaatan limbah ini juga mengurangi permasalahan limbah dengan menyerap 560 ton limbah sayur dan mengurangi biaya modal petani.

Implementasi pendekatan *smart precision farming* menghasilkan capaian manfaat lingkungan yang signifikan. Diversifikasi tanaman mencapai 16 jenis dan berkontribusi terhadap ketahanan pertanian. Program ini juga mencegah penurunan kualitas tanah seluas 12 hektara sekaligus menurunkan probabilitas alih fungsi lahan hingga 0% karena lokasi Desa Tawangargo yang berada di kawasan wisata. Pengolahan limbah sayur juga mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 818 ton CO_{2-e} per tahun serta pengurangan 560 ton limbah pertanian.

Program TAMENG memberikan dampak ekonomi yang nyata bagi kelompok dan penerima manfaat dengan peningkatan penghasilan sebesar Rp 63.900.000 serta menghemat biaya operasional sebesar Rp 4.500.000 per musim tanam atau setara dengan 50% biaya operasional sebelumnya. Selain itu, program ini juga memberikan dampak penghematan biaya listrik senilai Rp 280.692 per tahun melalui penggunaan *solar cell*. Dalam aspek sosial program ini mampu meningkatkan kapasitas 174 petani dalam pengelolaan pertanian berbasis *smart precision farming* dan meningkatkan kohesivitas sosial di tingkat desa. Sebanyak 10 pemuda dilibatkan secara aktif dalam pengolahan limbah pertanian sebagai bagian dari regenerasi petani dan melibatkan 26 buruh perempuan untuk mewujudkan inklusivitas serta kesetaraan gender.

Living Lab Berbasis Masyarakat

Tawangargo Smart-Eco Farming Village (TAMENG) adalah kawasan pertanian terintegrasi yang menggabungkan teknologi pertanian presisi (*smart farming*) dan prinsip ekologi (*eco-farming*) dalam satu ekosistem. Program ini berfungsi sebagai "*Living Laboratory*" (lab hidup) untuk menguji, mengembangkan, dan mendiseminasikan inovasi pertanian berkelanjutan berbasis data dan kearifan lokal.

Melalui pendekatan *living lab*, petani di Desa Tawangargo tidak hanya dipandang sebagai penerima manfaat program, namun petani dilibatkan dalam proses perancangan teknologi pertanian tepat guna, riset dan pengembangan mengenai pengolahan lahan serta perawatan tanaman pertanian hortikultura. Tahapan penerapan *living lab* yang dilakukan dalam Program TAMENG dilaksanakan dengan:

1. Melibatkan 35 orang petani yang tergabung dalam Kelompok Agronova Vision dalam proses pemetaan masalah pertanian, pemetaan lahan, dan perancangan inovasi teknologi tepat guna.
2. Selanjutnya kolaborasi multipihak menjadi elemen kunci dalam pendekatan *living lab* dengan melibatkan kelompok tani lokal, tim akademisi di Kabupaten Malang dalam penerapan startup teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) seperti Universitas Brawijaya Malang, Universitas Politeknik Pembangunan Pertanian Malang, dan sebagainya. Petrokimia Gresik berperan sebagai inisiator sekaligus pendamping pemberdayaan masyarakat di Desa Tawangargo telah mendapatkan dukungan kelembagaan dari Pemerintah Desa dan Pemerintah Daerah.

Program TAMENG dikembangkan tidak hanya sebagai model pemberdayaan masyarakat dan penerapan teknologi tepat guna, tetapi juga sebagai rujukan penelitian interdisipliner dalam

pengembangan pertanian hortikultura berkelanjutan bekerjasama dengan Universitas Brawijaya dan Politeknik Pembangunan Pertanian Malang. Dengan memfungsikan lokasi program sebagai *living lab*, lahan pertanian di Program TAMENG berperan sebagai pusat riset terapan (*research center*) dengan mengintegrasikan aspek agronomi, teknologi digital, dan ekologi sosial.

Sejumlah penelitian telah dilakukan oleh berbagai pihak, termasuk mahasiswa, dosen peneliti, dan mitra industri. Topik-topik penelitian yang telah dijalankan meliputi:

1. Analisis Dampak Usaha Tani Untuk Mendorong Kesejahteraan Petani Hortikultura Melalui Program Tawangargo *Smart Eco-Farming Village* (TAMENG)
2. Komunikasi Pembangunan Partisipatif Pada Program Tanggung Jawab Sosial Korporat PT Petrokimia Gresik (Studi Kasus Pada Kelompok Tani Agronova Vision Program Tawangargo *Smart-Eco Farming Village* Di Dusun Ngudi, Desa Tawangargo, Kecamatan Karangpulo, Kabupaten Malang,

Selain menjadi lokasi studi empiris, desa ini juga dimanfaatkan sebagai tempat magang, kuliah lapang, dan diseminasi hasil riset melalui workshop tematik yang melibatkan petani, mahasiswa, akademisi, dan dinas setempat. Keberadaan program ini diharapkan memperkuat posisi Desa Tawangargo sebagai rujukan akademik dan praktik, yang relevan bagi universitas, lembaga riset, serta pemerintah daerah dalam merancang model pertanian presisi dan adaptif terhadap perubahan iklim.

Salah satu manfaat dari penerapan *Living Lab* adalah terjadinya pergeseran paradigma petani dari penerima manfaat menjadi mitra dalam berinovasi melalui proses partisipatif. Sedari awal proses identifikasi masalah dilakukan melalui diskusi kelompok terfokus dan dialog terbuka dengan para petani, untuk menggali kebutuhan dan tantangan yang dihadapi dalam praktik budidaya hortikultura. Kebutuhan seperti efisiensi penggunaan air, pengendalian gulma, dan kestabilan harga panen menjadi titik masuk untuk perancangan solusi berbasis teknologi dan rekayasa sosial.

Partisipasi petani juga memperkuat proses pembelajaran karena terjadi pertukaran pengetahuan antara petani, pendamping teknologi, dan pihak akademisi. Proses ini membentuk ekosistem inovasi yang bersifat dinamis dan responsif terhadap perubahan. Salah satu dampak positif yang teridentifikasi adalah meningkatnya rasa kepemilikan petani terhadap inovasi yang dikembangkan sehingga berdampak pada tingkat replikasi teknologi maupun kegiatan. Tidak kalah penting, pendekatan ini juga berhasil menarik keterlibatan generasi muda desa untuk terlibat aktif dalam proses inovasi pertanian. Mereka berperan sebagai jembatan antara teknologi digital dan praktik pertanian lokal, memperkuat proses regenerasi petani dalam jangka panjang. Dengan demikian, partisipasi petani dalam *Living Lab* tidak hanya memperkaya proses inovasi teknologi, tetapi juga membentuk transformasi sosial yang memungkinkan petani menjadi aktor utama dalam pembangunan pertanian berbasis pengetahuan.

KESIMPULAN

Program Tawangargo Smart-Eco Farming Village (TAMENG) yang diinisiasi PT Petrokimia Gresik terbukti menjadi solusi terintegrasi bagi tantangan struktural pertanian di Desa Tawangargo. Program ini berhasil merespons kompleksitas masalah perubahan iklim, degradasi tanah akibat penggunaan pupuk kimia berlebihan, polusi limbah pertanian, serta krisis regenerasi petani melalui pendekatan pertanian presisi berbasis partisipasi masyarakat. Implementasi teknologi IoT untuk pemantauan lahan, sistem irigasi presisi (*drip system* dan *sprinkle*), serta pengelolaan limbah terpadu menjadi *plant booster* dan *agensia hayati* telah meningkatkan efisiensi sumber daya, produktivitas, dan keberlanjutan ekologis.

Kolaborasi multipihak dengan akademisi (Polbangtan Malang, Universitas Brawijaya), BPP Karangploso, dan BUMDes memperkuat dimensi kelembagaan program. Pendekatan Living Lab menjadi inovasi kunci yang mengubah paradigma petani dari penerima manfaat menjadi mitra aktif dalam proses inovasi—mulai dari identifikasi masalah hingga pengambilan keputusan. Transformasi ini tidak hanya meningkatkan kepemilikan lokal terhadap teknologi tetapi juga menarik partisipasi generasi muda, menjawab tantangan regenerasi petani.

Melalui tahapan strategis (2022–2026), TAMENG berkembang dari pembangunan infrastruktur mitigasi iklim (greenhouse) hingga penguatan kelembagaan sebagai Climate Smart Agriculture Learning Center dan calon Pusat Pelatihan Pertanian Pedesaan Swadaya (P4S). Keberhasilannya menjadikan Tangawargo sebagai desa percontohan pertanian presisi di Kabupaten Malang yang mengintegrasikan prinsip agronomi, ekologi, dan digitalisasi. Program ini tidak hanya memulihkan keseimbangan ekosistem pertanian tetapi juga menciptakan model replikabel bagi pengembangan kawasan pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim. Program Tameng dapat direplikasi pada wilayah yang memiliki potensi dan masalah yang serupa dengan pengembangan skema kemitraan untuk penerapan IoT dan greenhouse serta membangun kolaborasi multipihak dengan menerapkan pendekatan Living Lab untuk menciptakan inovasi yang bersifat co-creation.

Penelitian ini hanya mengevaluasi dampak program yang bersifat jangka pendek dan belum mencakup analisis perbandingan dengan wilayah yang memiliki karakteristik yang sama tanpa intervensi pihak luar di dalamnya. Selain itu, responden dalam penilitan ini hanya berfokus pada petani hortikultura. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut terkait perubahan jangka panjang dalam pertanian yang menerapkan smart precision farming ataupun living lab serta analisis keberlanjutan kelembagaan dan ekonomi program.

REFERENSI

- R. N. Patel.(2021). "Smart farming using IoT: Benefits and challenges," *Journal of Advances in Engineering and Technology*, Vol. 12, no. 3, pp. 37-42.
- Wisdianti, D., Sigit, F. F., Siswoyo, P., & Mujahidin, M. A. (2023). Living Lab Farm Area Building Design. *The International Conference on Education, Social Sciences and Technology (ICESST)*, 2(1), 35-41. <https://doi.org/10.55606/icesst.v2i1.259>.
- Natasha, D. (2022). Manifestasi Gerakan Sosial Baru dalam Krisis Iklim (Studi Kasus: Extinction Rebellion Indonesia). *Jurnal PolGov* 4(1), pp. 169–209. doi: 10.22146/ polgov.v4i1.3465.
- Helmi, A., Wibowo, A., Sujarnoko, T. U. P. (2023). Mendorong Model Pertumbuhan Ekonomi Sirkular melalui Penerapan Pertanian-Peternakan Regeneratif di Desa Sendangsari dalam Upaya Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB). *Policy Brief: Pertanian, Kelautan, dan Biosains Tropika*, Vol. 5, No. 3. Diakses dari <https://doi.org/10.29244/agro-maritim.5.3.644-649>.
- Jose, A., Sia, S. K. (2022). Theory of planned behavior in predicting the construction of eco-friendly houses. *Management of Environmental Quality: An International*.
- Moelong, L. J. (2018). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Prihatin, S. D., Budiono, M. F. (2022). Adaptasi Pemberdayaan Masyarakat Menuju Endemi. Dalam *Pembangunan Sosial dan Kesejahteraan: Jejak Pemikiran, Pendekatan, dan Isu Kontemporer*, p. 183. D.I. Yogyakarta: UGM Press.

Soetomo. (2022). Pembangunan Kelembagaan Desa di Era Pemberdayaan. Dalam *Pembangunan Sosial dan Kesejahteraan: Jejak Pemikiran, Pendekatan, dan Isu Kontemporer*, p. 128. D.I. Yogyakarta: UGM Press.