

Pengaruh Green Inovation, Kapasitas Operasional, Dan Limpahan Teknologi Terhadap Kinerja Usaha Tani Belimbing Di Kabupaten Tuban

The Influence of Green Innovation, Operational Capacity, and Technology Overflow on Starfruit Farming Performance in Tuban Regency

Defi Tristio Putri¹, Shafira Niken Sari², Amalia Adila Fitri³, Indah Novita Sari⁴

¹⁻⁴*Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi, Universitas Bojonegoro, Indonesia*

e-mail defi@unigoro.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh kapasitas operasional, inovasi hijau, dan spillover teknologi terhadap kinerja budidaya belimbing di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Sebanyak 137 petani dari Desa Glagahsari dan Tasikmadu dipilih sebagai responden karena daerah-daerah ini merupakan pusat produksi belimbing utama di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh langsung kapasitas operasional, inovasi hijau, dan spillover teknologi terhadap kinerja pertanian, serta untuk mengevaluasi peran mediasi inovasi hijau dalam memperkuat hubungan langsung dan tidak langsung antar variabel. Dengan menggunakan pendekatan Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) melalui aplikasi SmartPLS 3, penelitian ini memberikan penilaian komprehensif terhadap jalur kausal dan relevansi prediktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas operasional yang tercermin dalam kemampuan petani untuk mengelola sumber daya, meningkatkan keterampilan, dan menerapkan teknik budidaya yang efektif secara signifikan meningkatkan kinerja pertanian. Inovasi hijau, yang mencakup praktik ramah lingkungan dan pemanfaatan sumber daya yang efisien, juga menunjukkan pengaruh positif yang kuat dan berkontribusi pada keberlanjutan jangka panjang. Dampak limpasan teknologi muncul sebagai faktor paling dominan yang memengaruhi kinerja, menekankan pentingnya transfer pengetahuan, akses ke teknologi modern, kolaborasi eksternal, dan difusi inovasi di kalangan petani. Selain itu, inovasi hijau secara signifikan memediasi pengaruh kapasitas operasional dan limpasan teknologi terhadap kinerja pertanian, sehingga memperkuat efek totalnya. Temuan ini menggarisbawahi perlunya memperkuat keterampilan operasional petani, mendorong adopsi inovasi hijau yang lebih luas, dan meningkatkan akses ke teknologi pertanian modern. Para pembuat kebijakan, lembaga pertanian, dan pemerintah daerah didorong untuk memberikan dukungan yang lebih kuat untuk mendorong pertanian belimbing yang berkelanjutan, produktif, dan kompetitif di Kabupaten Tuban.

Kata Kunci: Budidaya Belimbing; Kinerja Pertanian; Inovasi Hijau; Kapasitas Operasional; Limpahan Teknologi

Abstract

This study analyzes the influence of operational capacity, green innovation, and technological spillover on the performance of starfruit farming in Tuban Regency, East Java. A total of 137 farmers from Glagahsari and Tasikmadu Villages were selected as respondents because these areas represent the primary starfruit production centers in the region. The research aims to

examine the direct effects of operational capacity, green innovation, and technological spillover on farming performance, as well as to evaluate the mediating role of green innovation in strengthening both direct and indirect relationships among the variables. Using the Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) approach through the SmartPLS 3 application, the study provides a comprehensive assessment of causal paths and predictive relevance. The results show that operational capacity reflected in farmers’ abilities to manage resources, improve skills, and apply effective cultivation techniques significantly enhances farming performance. Green innovation, which includes environmentally friendly practices and efficient resource utilization, also exhibits a strong positive effect and contributes to long-term sustainability. Technological spillover emerges as the most dominant factor influencing performance, emphasizing the importance of knowledge transfer, access to modern technologies, external collaboration, and the diffusion of innovation among farmers. Additionally, green innovation significantly mediates the influence of operational capacity and technological spillover on farming performance, thereby amplifying their total effect. These findings underscore the need to strengthen farmers’ operational skills, promote wider adoption of green innovation, and increase access to modern agricultural technologies. Policymakers, agricultural institutions, and local governments are encouraged to provide stronger support to foster sustainable, productive, and competitive starfruit farming in Tuban Regency.

Keywords: *Belimbing Cultivation; Farming Performance; Green Innovation; Operational Capacity; Technology Spillover*

PENDAHULUAN

Green innovation merupakan pendekatan inovasi yang dirancang untuk mengurangi dampak lingkungan melalui efisiensi penggunaan sumber daya, pengembangan teknologi bersih, dan praktik produksi berkelanjutan. Dalam konteks pembangunan modern, green innovation dipandang sebagai strategi penting yang tidak hanya mendorong efisiensi ekologis, tetapi juga meningkatkan daya saing produk serta memperkuat keberlanjutan jangka panjang. Dalam konteks pertanian, green innovation terbukti berkontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas hijau (*agricultural green total factor productivity*) serta efisiensi penggunaan input, terutama melalui adopsi teknologi ramah lingkungan (Huang & Ping, 2024). Kegiatan green innovation yang tepat tidak hanya bertujuan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga berpotensi meningkatkan keunggulan bersaing produk alami melalui pemanfaatan modal intelektual dan inovasi hijau (Chen et al., 2023)

Keberhasilan penerapan inovasi hijau pada tingkat usahatani sangat dipengaruhi oleh kapasitas operasional petani, yang mencakup kemampuan teknis, keterampilan manajerial, pemanfaatan informasi, serta kesiapan dalam mengadopsi teknologi baru. Menurut (Polgan et al., 2025) menyatakan bahwa kapasitas operasional yang kuat mampu meningkatkan efektivitas adopsi teknologi pertanian berkelanjutan serta mendorong efisiensi produksi. Selain itu, fenomena limpahan teknologi (*technological spillover*) baik melalui penyuluhan, kelompok tani, lembaga riset, maupun interaksi antarpetani berperan penting dalam mempercepat difusi inovasi ramah lingkungan. Studi empiris menunjukkan bahwa spillover teknologi memiliki dampak signifikan

terhadap peningkatan produktivitas hijau dan adopsi praktik pertanian berkelanjutan (Mendrofa et al., 2024).

Meskipun inovasi hijau telah menunjukkan tingkat adopsi yang tinggi pada sektor industri berskala besar, berbagai penelitian terbaru menegaskan bahwa perusahaan manufaktur global semakin mengimplementasikan teknologi dan praktik ramah lingkungan sebagai bagian dari strategi peningkatan efisiensi dan daya saing berkelanjutan sesuai dengan penelitian (Ren & Mia, 2025) menunjukkan bahwa perusahaan pada sektor industri kini secara konsisten memperluas penerapan green innovation untuk menekan emisi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan memperkuat kinerja keberlanjutan. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh (Ogiemwonyi et al., 2023), yang menemukan bahwa integrasi teknologi Industry 4.0 mendorong semakin banyak perusahaan melakukan inovasi hijau guna meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memperkuat keunggulan kompetitif. Namun demikian, kemajuan signifikan tersebut belum sepenuhnya tercermin dalam sektor pertanian, terutama pada usaha tani kecil dan menengah. Praktik tradisional seperti penggunaan pupuk dan pestisida kimia yang berlebihan, pengelolaan limbah organik yang kurang optimal, serta penggunaan air dan energi yang tidak efisien masih menjadi tantangan utama. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun inovasi hijau di tingkat industri terus berkembang, sektor pertanian masih membutuhkan penguatan dalam adopsi teknologi ramah lingkungan agar mampu mewujudkan sistem produksi yang lebih sehat, produktif, dan berkelanjutan.

Indonesia sebagai negara tropis merupakan salah satu produsen hortikultura terbesar di dunia, yang ditunjukkan oleh tingginya produksi buah nasional. Berdasarkan Angka Tetap Holtikultura, 2022, total produksi buah-buahan Indonesia mencapai pada tahun 2021 mencapai 28,17 juta ton, dengan komoditas utama seperti pisang 8,73 juta ton, mangga 3,03 juta ton, dan nanas 3,02 juta ton menjadi kontributor terbesar. Di antara berbagai komoditas buah tersebut, belimbing (*Averrhoa carambola L.*) merupakan salah satu buah tropis unggulan yang tersebar luas di berbagai wilayah Indonesia. Produksi belimbing nasional pada tahun 2021 tercatat mencapai 137.450 ton, meningkat 20,02% dari tahun sebelumnya yang sebesar 114.524 ton. Jawa Timur menjadi provinsi penghasil belimbing terbesar dengan produksi 75.970 ton, disusul Jawa Tengah 18.878 ton dan Jawa Barat 8.769 ton, sementara beberapa daerah lainnya berkontribusi dalam kisaran 1.400–6.400 ton.

Kabupaten Tuban, khususnya Desa Glagahsari dan Tasikmadu, merupakan salah satu sentra utama produksi belimbing di Jawa Timur yang memberikan kontribusi signifikan terhadap angka tersebut. Tingginya potensi produksi belimbing di Kabupaten Tuban menjadi peluang besar untuk mengembangkan model usaha tani yang tidak hanya produktif tetapi juga berkelanjutan secara ekologis. Namun, seperti daerah pertanian lainnya, usahatani belimbing di Tuban juga menghadapi berbagai tantangan. Permasalahan yang sering muncul di antaranya adalah penurunan kualitas tanah akibat penggunaan input kimia secara terus-menerus, ketergantungan terhadap pupuk subsidi, kurangnya diversifikasi produk olahan, serta minimnya penerapan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan. Di tengah tantangan tersebut, green innovation hadir sebagai pendekatan yang diyakini mampu meningkatkan keberlanjutan usahatani sekaligus mendongkrak daya saing produk belimbing dari daerah ini. Penerapan green innovation dalam usahatani belimbing dapat berupa penggunaan pupuk organik, pengendalian hama terpadu (PHT), pemanfaatan limbah pertanian menjadi kompos atau bioenergi, penggunaan irigasi hemat air, serta pengemasan produk

yang ramah lingkungan. Inovasi-inovasi ini tidak hanya berpotensi mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi produksi, kualitas produk, dan membuka akses pasar yang lebih luas (Nurlaela et al., 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa inovasi hijau memiliki peran penting dalam keberlanjutan pertanian, namun sebagian besar studi masih terfokus pada komoditas pangan dan belum menyentuh hortikultura tropis seperti belimbing. Sesuai dengan penelitian (Sulistiyawati & Rahayu, 2021) menegaskan bahwa keberhasilan teknologi ramah lingkungan sangat dipengaruhi kapasitas petani, tetapi konteksnya terbatas pada padi sawah.

Penerapan green innovation di tingkat petani tidak selalu berlangsung dengan mudah. Implementasi inovasi ramah lingkungan membutuhkan pemahaman, keterampilan teknis, serta dukungan berkelanjutan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, tenaga penyuluh, lembaga riset, dan pasar. Tidak semua petani memiliki akses yang memadai terhadap teknologi baru, informasi, maupun modal yang diperlukan untuk mengadopsi inovasi hijau. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih mendalam mengenai bagaimana green innovation diterapkan di tingkat usaha tani, serta sejauh mana penerapannya mampu memengaruhi kinerja usahatani dari perspektif ekonomi, lingkungan, dan sosial. (Rosanna et al., 2024) juga menunjukkan bahwa green technology mampu meningkatkan produktivitas tanaman pangan, namun tidak mengaitkan inovasi hijau dengan variabel spillover teknologi. Selanjutnya, (Fitrah et al., 2025) membuktikan bahwa teknologi pertanian modern seperti greenhouse IoT dapat meningkatkan kinerja petani, tetapi belum menghubungkannya dengan konsep inovasi hijau dalam hortikultura. Berdasarkan penelitian (Dewi et al., 2025) menunjukkan bahwa inovasi lingkungan dapat mendukung pemberdayaan petani, tetapi tidak membahas integrasi kapasitas operasional dan arus informasi teknologi. Keterbatasan penelitian terdahulu menunjukkan adanya kesenjangan penting, yaitu belum tersedianya model yang secara simultan menguji kapasitas operasional, inovasi hijau, dan limpahan teknologi terhadap kinerja usahatani belimbing, padahal ketiga variabel tersebut merupakan faktor kunci dalam penerapan pertanian berkelanjutan. Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengembangkan model terintegrasi yang dikaji secara empiris pada sentra produksi belimbing di Kabupaten Tuban, sebuah konteks yang belum banyak diteliti dalam literatur hortikultura tropis.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman empiris mengenai bagaimana strategi inovasi hijau dapat diintegrasikan dalam praktik usaha tani belimbing guna meningkatkan kinerja usaha secara keseluruhan sehingga diharapkan dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan pertanian yang lebih ramah lingkungan, sekaligus menjadi pedoman praktis bagi petani, penyuluh pertanian, dan pemangku kepentingan lainnya dalam mengembangkan model usaha tani yang berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjawab kebutuhan akademik dalam mengembangkan teori tentang inovasi hijau dan kinerja usaha tani, tetapi juga memberikan kontribusi nyata bagi pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia. Dalam jangka panjang, integrasi green innovation dalam sistem pertanian lokal akan menjadi salah satu kunci untuk menjaga ketahanan pangan sekaligus kelestarian lingkungan hidup.

KAJIAN TEORI

Green Innovation (Inovasi Hijau)

Inovasi hijau dalam pertanian didefinisikan sebagai pengembangan dan penerapan teknologi, proses, serta praktik produksi yang bertujuan meningkatkan efisiensi sumber daya sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Aditi & Cen, 2025)

Inovasi hijau merupakan pendekatan inovasi yang menekankan keseimbangan antara produktivitas ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Dalam sektor pertanian, inovasi hijau mencakup penggunaan teknologi ramah lingkungan, pengurangan input kimia, efisiensi air dan energi, serta praktik budidaya berkelanjutan. Inovasi ini menjadi semakin penting seiring meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam dan tuntutan pembangunan berkelanjutan.

Aditi & Cen, (2025) menjelaskan bahwa inovasi hijau pertanian merupakan bagian dari transformasi ekonomi hijau, di mana pertumbuhan sektor pertanian diarahkan untuk tetap menjaga kelestarian lingkungan. Inovasi hijau tidak hanya bersifat teknologis, tetapi juga mencakup inovasi proses dan manajemen usaha tani. Dengan demikian, inovasi hijau berperan sebagai sarana transformasi sistem pertanian menuju praktik yang lebih berkelanjutan

Kapasitas Operasional

Kapasitas operasional dalam usaha pertanian mengacu pada kemampuan petani atau unit usaha tani dalam mengelola seluruh sumber daya yang dimiliki secara efektif dan efisien untuk mencapai tujuan produksi. Kapasitas ini tidak hanya mencakup aspek teknis budidaya, tetapi juga kemampuan manajerial, perencanaan usaha, pengorganisasian tenaga kerja, pengelolaan input, serta pengambilan keputusan strategi. Dalam konteks pertanian modern, kapasitas operasional menjadi faktor krusial karena sektor pertanian dihadapkan pada keterbatasan sumber daya, perubahan iklim, serta kebutuhan efisiensi dan kemiskinan (Saleh, 2021).

Penelitian Hidayati et al., (2025) menunjukkan bahwa adopsi inovasi teknologi dalam pertanian sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal seperti akses informasi, literasi digital, serta dukungan kelembagaan. Dalam kajiannya, adopsi teknologi tidak hanya memerlukan ketersediaan teknologi itu sendiri, tetapi juga kapasitas petani meliputi kemampuan teknis, pemahaman manfaat teknologi, serta kesiapan mental untuk berubah dari praktik tradisional ke praktik yang lebih modern. Keterbatasan kapasitas tersebut menjadi hambatan utama bagi efektivitas inovasi teknologi dalam meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan petani di Indonesia.

Limpahan Teknologi (*Technology Spillover*)

Limpahan teknologi adalah proses penyebaran pengetahuan, teknologi, dan praktik inovatif dari satu aktor atau kelompok ke aktor lain secara tidak langsung melalui interaksi sosial, jaringan kelembagaan, dan kegiatan bersama dalam sistem pertanian (Markow et al., 2023).

Limpahan teknologi merupakan mekanisme penting dalam sistem inovasi pertanian karena memungkinkan teknologi dan pengetahuan menyebar melampaui pelaku atau lokasi awal inovasi. Dalam praktik pertanian, limpahan teknologi sering terjadi melalui kelompok tani, penyuluhan, proyek pendampingan, serta interaksi antarpetani. Mekanisme ini memberikan kesempatan bagi petani lain untuk mengadopsi teknologi tanpa harus melakukan investasi riset secara mandiri. Sehingga efek limpahan teknologi dari proyek atau inovasi pertanian mampu memperkuat kapasitas inovasi sistem pertanian secara keseluruhan. Inovasi yang awalnya diterapkan oleh sebagian pelaku dapat memberikan manfaat luas melalui proses pembelajaran, imitasi, dan

adaptasi. Oleh karena itu, limpahan teknologi berperan sebagai faktor eksternal yang mempercepat difusi inovasi dan mengurangi kesenjangan teknologi antarpetani.

Kinerja Usaha Tani

Kinerja usaha tani dipahami sebagai indikator keberhasilan petani dalam mengelola sumber daya produksi untuk mencapai tingkat produksi dan efisiensi yang optimal. Secara teoritis, kinerja usaha tani berkaitan erat dengan konsep efisiensi teknis dan ekonomi, yaitu kemampuan petani dalam memanfaatkan input seperti lahan, tenaga kerja, dan modal secara efisien untuk menghasilkan output maksimum dan keuntungan yang optimal. Usaha tani dengan tingkat efisiensi yang tinggi menunjukkan kemampuan pengelolaan yang baik dan menjadi cerminan efektivitas penerapan teknologi serta praktik produksi yang dijalankan oleh petani (Harudin, 2025)

Selain aspek efisiensi, kinerja usaha tani juga mencerminkan keberlanjutan sistem pertanian. Kerangka teori pertanian berkelanjutan menekankan bahwa kinerja usaha tani tidak hanya diukur dari hasil produksi dan pendapatan, tetapi juga dari kemampuan petani dalam menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan pasar. Dengan demikian, kinerja usaha tani dalam penelitian ini dipahami sebagai hasil integrasi antara produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan dalam kegiatan usaha tani yang dijalankan (Alonso-martínez et al., 2024).

METODOLOGI

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga Juni 2024, berlokasi di Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur, tepatnya di Desa Glagahsari dan Desa Tasikmadu. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposive karena kedua desa tersebut merupakan sentra utama pertanian belimbing di daerah tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menguji hipotesis serta menggambarkan hubungan kausal antarvariabel yang terlibat secara faktual dan sistematis. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik secara objektif melalui prosedur statistik, sementara pendekatan deskriptif memungkinkan peneliti untuk menjelaskan fenomena sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh petani belimbing yang tersebar di dua desa tersebut, dengan sampel sebanyak 137 responden yang ditentukan menggunakan teknik purposive sampling. Pemilihan sampel sebanyak 137 responden didasarkan pada kaidah metodologis PLS-SEM, terutama *10 times rule* yang dikemukakan (Ringle & Sarstedt, 2021) yaitu ukuran sampel minimum harus setara dengan sepuluh kali jumlah indikator terbanyak pada satu konstruk; dengan lebih dari 12 indikator, kebutuhan minimum sekitar 120 responden, sehingga 137 sudah sangat memadai. Selain itu, analisis *statistical power* menurut (Cohen, 1992) menunjukkan bahwa untuk model dengan tiga variabel prediktor dan efek sedang, diperlukan minimal 98–110 responden agar hasil signifikan secara statistik, sehingga jumlah 137 memberikan kekuatan analisis yang lebih kuat. Serta menempatkan ukuran sampel ideal pada kisaran 132–148 untuk populasi sekitar 200–250 petani, sehingga 137 responden sesuai dengan karakter populasi petani belimbing di lokasi penelitian.

Kriteria responden antara lain petani aktif yang telah menjalankan usaha tani belimbing minimal dua tahun dan memiliki pengalaman dalam menerapkan inovasi atau teknologi pertanian ramah lingkungan. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara terstruktur

menggunakan kuesioner, serta dokumentasi kegiatan petani. Selain itu, data sekunder diperoleh dari laporan dinas pertanian setempat, jurnal ilmiah, serta literatur pendukung lainnya.

Data dianalisis menggunakan pendekatan Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (PLS-SEM) melalui software SmartPLS 3.0. Analisis ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian model pengukuran (outer model) dan model struktural (inner model). Pada tahap outer model, validitas konvergen diuji menggunakan nilai *Average Variance Extracted (AVE)* dan outer loading, yang dinyatakan valid jika nilai outer loading $\geq 0,7$ dan $AVE \geq 0,5$. Validitas diskriminan diuji dengan membandingkan akar kuadrat AVE dengan korelasi antar konstruk menggunakan kriteria Fornell-Larcker. Reliabilitas konstruk diuji menggunakan nilai *Composite Reliability (CR)* dan *Cronbach's Alpha*, di mana konstruk dinyatakan reliabel jika nilai $CR \geq 0,7$.

Rumus *Average Variance Extracted (AVE)* dituliskan sebagai berikut:

$$AVE = (\Sigma(\lambda^2)) / (\Sigma(\lambda^2) + \Sigma(\text{Var}(\epsilon))) \quad (1)$$

Keterangan: λ = loading faktor, $\text{Var}(\epsilon)$ = varians error dari masing-masing indikator

Selanjutnya, pada model struktural (inner model), diuji nilai *R-Square (R²)* untuk mengetahui kontribusi variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen, serta dilakukan uji signifikansi jalur menggunakan statistik *t* dan nilai *p-value*. Untuk menilai relevansi prediktif model, digunakan nilai *Q²* yang dihitung dengan rumus:

$$Q^2 = 1 - (\text{SSE} / \text{SSO}) \quad (2)$$

Keterangan: SSE = *Sum of Squares of Prediction Error*, SSO = *Sum of Squares of Observations*

Sementara itu, pengujian kecocokan model dilakukan melalui *Standardized Root Mean Square Residual (SRMR)*, di mana model dianggap memiliki kecocokan yang baik apabila nilai $SRMR < 0,08$. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan kausal antara kapasitas operasional, limbah teknologi, inovasi hijau, dan kinerja usaha tani, serta mengevaluasi peran inovasi hijau sebagai variabel mediasi yang menghubungkan pengaruh tidak langsung antara variabel-variabel eksogen terhadap kinerja usaha tani.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Model Pengukuran (Measurement Model)

Nilai loading indikator merupakan elemen krusial dalam menentukan relevansi indikator terhadap konstruk. Indikator dengan nilai loading di atas ambang batas 0,7 dianggap signifikan dan relevan, sedangkan indikator yang memiliki nilai loading di bawah ambang batas mungkin tidak memberikan kontribusi yang substansial terhadap konstruk tersebut (Ghozali, 2015).

Tabel 2. Hasil Outer Loading Faktor

Konstruk	Indikator	Outer Loading
Kapasitas Operasional (X1)	X1.1 Tenaga Kerja Terampil	0.816
	X1.2 Memahami Kebutuhan Akan Green Innovation	0.774
	X1.3 Perencanaan dan Pengembangan Inovasi	0.807
	X1.4 Memiliki Waktu untuk Mengukur Produktivitas	0.824
	X1.5 Ketersediaan Biaya	0.755

	X1.6 Manajemen Keuangan	0.803
<hr/>		
Inovasi Hijau (X2)		
	X2.1 Pengurangan Penggunaan Pupuk Kimia	0.849
	X2.2 Daur Ulang	0.699
	X2.3 Penggunaan Kemasan Ramah Lingkungan	0.869
	X2.4 Penghematan Penggunaan Air dan Listrik Selama Budidaya	0.856
<hr/>		
Limpahan Teknologi (X3)		
	X3.1 Ketersediaan Petani untuk Mengadopsi Teknologi Baru Ramah Lingkungan	0.683
	X3.2 Petani Menciptakan Ide Baru dalam Produksi Belimbing	0.823
	X3.3 Menerapkan Penemuan-Penemuan Baru dalam Proses Produksi	0.880
	X3.4 Penerapan Teknologi Hijau di Lingkungan Sekitar	0.844
	X3.5 Kerjasama Kelompok Tani untuk Mendukung Penerapan Adopsi Inovasi	0.894
<hr/>		
Kinerja Usaha Tani (Y)		
	Y.1 Kinerja Pasar	0.794
	Y.2 Kinerja Keuangan	0.850
	Y.3 Kinerja Operasional	0.831
	Y.4 Pengelolaan Lingkungan	0.877
	Y.5 Efisiensi Sumber Daya	0.782
	Y.6 Pengendalian Lingkungan	0.871

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Teknologi Baru Ramah Lingkungan dalam konstruk Limpahan Teknologi (X3). Indikator Daur Ulang menunjukkan nilai outer loading sebesar 0,699, sedangkan Ketersediaan Petani untuk Mengadopsi Teknologi Baru Ramah Lingkungan memiliki nilai loading sebesar 0,683. sedangkan Ketersediaan Petani untuk Mengadopsi Teknologi Baru Ramah Lingkungan memiliki nilai loading sebesar 0,683. Kedua nilai ini berada di bawah ambang batas 0,7, yang mengindikasikan bahwa indikator-indikator ini mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan konstruk yang dimaksud dan dapat mempengaruhi keakuratan model.

Hasil Uji Validitas dan Reabilitas

a) Hasil Uji Reabilitas

Composite Reliability mengukur sejauh mana indikator-indikator dalam suatu konstruk berhubungan dan menjelaskan varians konstruk laten, sedangkan *Cronbach's Alpha* mengukur konsistensi internal item-item dalam suatu skala. Nilai CR dan *Cronbach's Alpha* yang umumnya dianggap memadai adalah di atas 0,7.

Tabel 3. Hasil Uji Reliabilitas

Konstruk	<i>Cronbach's Alpha</i>	<i>rho_A</i>	<i>Composite Reliability</i>	<i>Average Variance Extracted (AVE)</i>
Inovasi Hijau (X2)	0.821	0.825	0.893	0.736
Kapasitas Operasional (X1)	0.885	0.887	0.913	0.635
Kinerja Usaha Tani (Y)	0.913	0.914	0.932	0.697
Limpahan Teknologi (X3)	0.897	0.898	0.929	0.766

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2 (2024)

Berdasarkan tabel di atas, hasil uji reliabilitas menggunakan SmartPLS 3 menunjukkan nilai-nilai yang menggambarkan konsistensi dan keandalan konstruk-konstruk dalam model Inovasi Hijau (X2) memiliki Cronbach's Alpha sebesar 0.821 dan Composite Reliability sebesar 0.893, dengan Average Variance Extracted (AVE) sebesar 0.736. Kapasitas Operasional (X1) menunjukkan Cronbach's Alpha sebesar 0.885 dan Composite Reliability sebesar 0.913, dengan AVE sebesar 0.635. Kinerja Usaha Tani (Y) memiliki nilai Cronbach's Alpha sebesar 0.913 dan Composite Reliability sebesar 0.932, dengan AVE sebesar 0.697. Limpahan Teknologi (X3) menunjukkan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0.897 dan Composite Reliability sebesar 0.929, dengan AVE sebesar 0.766.

b) Hasil Uji Validitas

Validitas diskriminan mengevaluasi sejauh mana konstruk dapat dibedakan secara jelas satu sama lain. Uji validitas diskriminan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Fornell-Larcker*, yang membandingkan akar kuadrat AVE dari setiap konstruk dengan nilai korelasi antar konstruk

Tabel 4. Hasil uji Validitas diskriminan menggunakan *Fornell-Larcker*

Konstruk	Inovasi Hijau (X2)	Kapasitas Operasional (X1)	Kinerja Usaha Tani (Y)	Limpahan Teknologi (X3)
Inovasi Hijau (X2)	0.858			
Kapasitas Operasional (X1)	0.784	0.797		
Kinerja Usaha Tani (Y)	0.760	0.774	0.835	
Limpahan Teknologi (X3)	0.703	0.747	0.827	0.875

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa akar kuadrat AVE untuk setiap konstruk lebih tinggi dibandingkan dengan korelasi antara konstruk-konstruk lainnya dalam model. Hal ini memastikan bahwa instrumen pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini dapat diandalkan untuk mengukur konstruk yang dimaksud dengan akurat dan efektif, sehingga hasil penelitian dapat dipercaya dan memberikan kesimpulan yang valid.

Hasil Pengujian Model Pengukuran (Measurement Model)

Kecocokan Model (*Goodness Of Fit*)

1. R^2 (Koefisien Determinasi)

Tabel 5. Hasil Koefisien Determinasi

Variabel	<i>R Square</i>	<i>R Square Adjusted</i>
Inovasi Hijau (X2)	0.646	0.640
Kinerja Usaha Tani (Y)	0.761	0.755

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Nilai R^2 untuk Inovasi Hijau (X2) adalah 0,646, dengan nilai R^2 Adjusted sebesar 0,640. Untuk Kinerja Usaha Tani (Y), nilai R^2 adalah 0,761, dengan nilai R^2 Adjusted sebesar 0,755. Ini menunjukkan bahwa sekitar 76,1% dari variabilitas dalam Kinerja Usaha Tani dapat dijelaskan oleh Kapasitas Operasional (X1), Inovasi Hijau (X2), dan Limbangan Teknologi (X3). Secara keseluruhan, nilai R^2 menunjukkan bahwa model struktural ini memiliki kekuatan penjelasan yang baik. Nilai R^2 yang tinggi pada Inovasi Hijau dan sangat tinggi pada Kinerja Usaha Tani mengindikasikan bahwa model ini mampu menjelaskan sebagian besar variabilitas dalam kedua variabel dependen dengan baik.

2. SRMR (*Standardized Root Mean Square Residual*)

Tabel 6. SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)

Model	SRMR
Saturated Model	0.069
Estimated Model	0.069

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Nilai SRMR untuk model saturated dan estimated adalah 0,069. Nilai ini berada di bawah ambang batas umum 0,08 (Ghozali, 2017; Hair et al., 2010), yang menunjukkan bahwa model memiliki kesesuaian yang baik dengan data. SRMR yang rendah menandakan bahwa model mampu mereproduksi data dengan akurat, dengan perbedaan minimal antara matriks kovarians yang diobservasi dan yang diprediksi.

Lebih lanjut, nilai SRMR yang rendah mencerminkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat kecil antara matriks kovarians hasil prediksi model dan matriks kovarians yang diperoleh dari data aktual. Artinya, struktur model yang dibangun mampu menjelaskan data yang ada secara akurat, dan kesalahan prediksi model terhadap data nyata sangat minim. Hal ini menjadi indikator bahwa hubungan antara konstruk-konstruk dalam model dapat diinterpretasikan secara lebih dapat diandalkan.

3. Q (*Predictive Relevance*)

Tabel 7. Hasil Q² (*Predictive Relevance*)

	SSO	SSE	Q ² (=1-SSE/SSO)
Inovasi Hijau	408.000	218.736	0.464
Kapasitas Operasional	816.000	816.000	
Kinerja Usahatani	816.000	393.634	0.518
Limpahan Teknologi	544.000	544.000	

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Berdasarkan hasil penghitungan yang disajikan dalam Tabel di atas, nilai Q² untuk variabel Inovasi Hijau dan Kinerja Usahatani adalah masing-masing 0.464 dan 0.518. Nilai Q² yang lebih besar dari nol mengindikasikan bahwa model memiliki relevansi prediktif yang baik. Dengan nilai Q² sebesar 0.464 untuk Inovasi Hijau dan 0.518 untuk Kinerja Usahatani, dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan mampu menjelaskan dan memprediksi variabilitas dari kedua variabel tersebut dengan tingkat akurasi yang memadai.

Hasil Pengujian Hipotesa

1. Pengaruh Langsung

Tabel 8. Nilai Path coefficients Hipotesis

Variabel	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Inovasi Hijau (X2) -> Kinerja Usaha Tani (Y)	0.247	0.248	0.072	3.403	0.001
Kapasitas Operasional (X1) -> Inovasi Hijau (X2)	0.585	0.579	0.085	6.854	0.000
Kapasitas Operasional (X1) -> Kinerja Usaha Tani (Y)	0.211	0.209	0.086	2.456	0.014
Limpahan Teknologi (X3) -> Inovasi Hijau (X2)	0.266	0.276	0.091	2.919	0.004
Limpahan Teknologi (X3) -> Kinerja Usaha Tani (Y)	0.496	0.496	0.082	6.059	0.000

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Koefisien jalur sebesar 0.211 menunjukkan bahwa kapasitas operasional berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani. Nilai *T-Statistics* (4.715) jauh lebih besar dari T-tabel (2.0025), dan P-Value (0.000) jauh di bawah 0.05, yang menandakan bahwa pengaruh ini signifikan secara statistik. Koefisien jalur sebesar 0.247 menunjukkan bahwa inovasi hijau berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani. Nilai *T-Statistics* (3.403) lebih besar dari T-tabel (2.0025), dan P-Value (0.001) kurang dari 0.05, yang menandakan bahwa

hubungan ini signifikan secara statistik. Koefisien jalur sebesar 0.496 menunjukkan bahwa limpahan teknologi berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani.

2. Pengaruh Tidak Langsung

Tabel 9. Hasil analisis *Path Coefficients*

Variabel	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Inovasi Hijau -> Kinerja Usahatani_					
Kapasitas Operasional -> Inovasi Hijau					
Kapasitas Operasional -> Kinerja Usahatani_	0.144	0.146	0.042	3.426	0.001
Limpahan Teknologi -> Inovasi Hijau					
Limpahan Teknologi -> Kinerja Usahatani_	0.066	0.067	0.030	2.196	0.029

Sumber: Hasil penelitian, diolah dengan SmartPLS 3.0, 2024

Koefisien jalur tidak langsung untuk hubungan antara kapasitas operasional dan kinerja usaha tani melalui inovasi hijau adalah 0.144. Nilai *T-Statistics* sebesar 3.426 dan P-Value sebesar 0.001 menunjukkan bahwa pengaruh tidak langsung ini signifikan secara statistik.

Dengan demikian, inovasi hijau berfungsi sebagai variabel mediasi yang signifikan dalam hubungan antara kapasitas operasional dan kinerja usaha tani. Koefisien jalur tidak langsung untuk hubungan antara limpahan teknologi dan kinerja usaha tani melalui inovasi hijau adalah 0.066. Nilai *T-Statistics* sebesar 2.196 dan P-Value sebesar 0.029 menunjukkan bahwa pengaruh ini signifikan pada tingkat signifikansi 5%. Dengan demikian, inovasi hijau berfungsi sebagai variabel mediasi yang signifikan dalam hubungan antara limpahan teknologi dan kinerja usaha tani.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kapasitas operasional terhadap Kinerja Usahatani

Hasil analisis menunjukkan bahwa Kapasitas operasional memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani belimbing di Kabupaten Tuban. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien jalur untuk hubungan antara kapasitas operasional (X1) dan kinerja usaha tani (Y) adalah 0,211. Nilai *T-Statistics* untuk hubungan ini adalah 2,586 dengan P-Value sebesar 0,010. Nilai *T-Statistics* yang melebihi ambang batas 1,65 dan P-Value yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Koefisien jalur sebesar 0,211 menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara kapasitas operasional dan kinerja usaha tani dalam konteks ekonomi hijau. Kapasitas operasional memiliki pengaruh positif terhadap kinerja usaha tani belimbing di Kabupaten Tuban. Inovasi hijau memiliki pengaruh positif terhadap kinerja usaha tani belimbing di Kabupaten Tuban. Hal ini sejalan dengan penelitian (Koehuan et al., 2025), yang menekankan bahwa kapasitas petani dalam sistem pertanian cerdas

berbasis energi hijau tidak hanya mencakup aspek manajerial, tetapi juga kemampuan adaptasi terhadap teknologi cerdas, yang berdampak pada produktivitas dan kinerja pertanian secara menyeluruh. Demikian pula, (Sawitri et al., 2020), menunjukkan bahwa kapasitas teknis dan manajerial petani secara signifikan mempengaruhi keberhasilan pengelolaan usahatani di lahan marjinal, menegaskan pentingnya intervensi yang memperkuat kemampuan operasional petani agar kinerja usahatani dapat meningkat secara optimal

Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien jalur untuk hubungan antara inovasi hijau (X2) dan kinerja usaha tani belimbing (Y) adalah 0,247. Nilai T-Statistics untuk hubungan ini adalah 3,273 dengan P-Value sebesar 0,001. Nilai T-Statistics yang melebihi ambang batas 1,65 dan P-Value yang jauh lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Dengan demikian, hipotesis yang menyatakan bahwa inovasi hijau memiliki pengaruh positif terhadap kinerja usaha tani belimbing diterima. Praktik inovasi hijau, seperti pengurangan penggunaan pupuk kimia, penggunaan kemasan ramah lingkungan, dan efisiensi penggunaan air dan energi, berkontribusi pada peningkatan efisiensi operasional dan hasil panen. Temuan sesuai dengan penelitian (Chi, 2022), yang menunjukkan bahwa inovasi pertanian hijau secara signifikan meningkatkan kinerja ekonomi dan lingkungan sektor pertanian, serta dalam penelitian (Huang & Ping, 2024), juga menyatakan bahwa inovasi teknologi pertanian yang mempertimbangkan aspek lingkungan meningkatkan produktivitas total faktor hijau. Hal ini menegaskan bahwa integrasi praktik hijau dalam usahatani bukan hanya penting untuk menjaga lingkungan, tetapi juga strategis untuk meningkatkan kinerja ekonomi petani secara berkelanjutan.

Inovasi hijau mencakup berbagai praktik yang berfokus pada pengurangan dampak lingkungan dan peningkatan efisiensi operasional. Implementasi inovasi hijau, seperti pengurangan penggunaan pupuk kimia, penggunaan kemasan ramah lingkungan, dan penghematan dalam penggunaan air dan energi, dapat berkontribusi pada peningkatan kinerja usaha tani. Penerapan inovasi hijau berpotensi meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, serta memperbaiki dampak lingkungan dari usaha tani, yang pada akhirnya berkontribusi pada hasil pertanian yang lebih baik.

Pengaruh Limpahan Teknologi terhadap Kinerja Usaha Tani

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Limpahan teknologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien jalur untuk hubungan antara limbah teknologi (X3) dan kinerja usaha tani (Y) adalah 0,496. Nilai T-Statistics untuk hubungan ini adalah 6,070 dengan P-Value yang sangat kecil, yaitu kurang dari 0,001. Nilai T-Statistics yang jauh melebihi ambang batas 1,65 dan P-Value yang jauh di bawah 0,05 mengindikasikan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Dengan demikian, hipotesis yang menyatakan bahwa limbah teknologi mempengaruhi kinerja usaha tani secara positif dapat diterima. Koefisien jalur sebesar 0,496 menunjukkan bahwa limbah teknologi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja usaha tani. Koefisien yang tinggi ini menegaskan bahwa kemampuan petani dalam menerima dan memanfaatkan teknologi pertanian secara langsung berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan efisiensi usahatani. Teknologi yang dialirkan melalui pelatihan, kelompok tani, atau institusi eksternal memungkinkan petani mengoptimalkan penggunaan input, meningkatkan efisiensi budidaya, serta memperbaiki pengolahan hasil panen, sehingga kinerja usaha tani meningkat secara signifikan. Hal ini konsisten dengan temuan (Mendrofa et al., 2024), yang menyatakan bahwa teknologi pertanian modern

berperan penting dalam mengurangi biaya tenaga kerja dan meningkatkan output pertanian secara efisien.

Selain itu, limpahan teknologi berkontribusi pada adaptasi petani terhadap tantangan agribisnis modern, seperti perubahan iklim, fluktuasi harga, dan keterbatasan input produksi. Sesuai dengan penelitian (Salawati et al., 2024) yang menunjukkan bahwa penerapan teknologi pertanian ramah iklim (*climate smart agriculture*) meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan, sehingga kinerja ekonomi dan lingkungan usahatani dapat meningkat secara simultan. Dengan demikian, teknologi tidak hanya berfungsi sebagai alat produksi, tetapi juga sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan daya adaptif dan kapasitas pengelolaan usaha tani secara menyeluruh. Efektivitas limpahan teknologi sangat bergantung pada dukungan kelembagaan, seperti penyuluh pertanian dan kelompok tani, yang menjadi penghubung dalam proses transfer pengetahuan dan adopsi praktik inovatif. Sesuai dengan penelitian (Sibuea et al., 2023), dimana dalam penelitian tersebut menekankan bahwa keberadaan penyuluh meningkatkan kemampuan petani dalam menginternalisasi teknologi baru dan mengaplikasikannya secara tepat pada kegiatan usahatani. Oleh karena itu, intervensi kebijakan yang efektif sebaiknya tidak hanya menyediakan teknologi modern, tetapi juga program pelatihan, pendampingan, dan penguatan kerja sama antara peneliti, penyuluh, dan petani. Kombinasi transfer teknologi yang tepat dan dukungan kelembagaan ini memungkinkan limpahan teknologi memberikan dampak maksimal terhadap kinerja usaha tani, baik dari sisi produktivitas, efisiensi, maupun keberlanjutan lingkungan.

Temuan ini memperkuat argumen bahwa keberadaan dan penerapan teknologi baru yang relevan di sektor pertanian dapat memberikan manfaat langsung terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi usahatani. Teknologi yang dialirkan melalui pelatihan, kolaborasi kelompok tani, atau pengaruh dari institusi eksternal berpotensi memperbaiki cara kerja petani dalam berbagai aspek, mulai dari teknik budidaya yang lebih efisien, penggunaan sumber daya yang lebih hemat, hingga pengolahan hasil panen yang bernilai tambah. Petani yang memperoleh akses terhadap inovasi teknologi biasanya akan lebih adaptif dalam menghadapi tantangan agribisnis modern, seperti perubahan iklim, fluktuasi harga, atau keterbatasan input produksi. Oleh karena itu, adopsi teknologi yang berkelanjutan tidak hanya memperkuat kapasitas individu petani, tetapi juga mampu mendorong daya saing usaha tani secara menyeluruh. Bukti empiris dari koefisien yang tinggi dan signifikan dalam analisis ini menunjukkan bahwa semakin besar kemampuan petani dalam menyerap dan memanfaatkan teknologi ramah lingkungan, maka semakin tinggi pula kualitas kinerja usaha tani yang dicapai, baik dari sisi ekonomi, sosial, maupun lingkungan.

Pengaruh Inovasi Hijau sebagai Variabel Mediasi antara Kapasitas Operasional, Limpahan Teknologi, dan Kinerja Usaha Tani

Hasil analisis menunjukkan bahwa inovasi hijau berperan sebagai variabel mediasi yang signifikan dalam hubungan antara kapasitas operasional, limpahan teknologi, dan kinerja usaha tani. Efek tidak langsung (*specific indirect effects*) yang diukur melalui inovasi hijau menunjukkan bahwa kapasitas operasional mempengaruhi kinerja usaha tani dengan koefisien sebesar 0,144, sementara limpahan teknologi mempengaruhi kinerja usaha tani dengan koefisien sebesar 0,066. Kedua nilai ini memiliki P-Value masing-masing 0,001 dan 0,029, yang menunjukkan signifikansi statistik pada tingkat $\alpha < 0,05$. Ini menegaskan bahwa inovasi hijau

secara signifikan memperkuat pengaruh kapasitas operasional dan limbah teknologi terhadap kinerja usaha tani. Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi hijau tidak hanya meningkatkan kinerja secara langsung, tetapi juga memperkuat pengaruh kapasitas operasional dan limbah teknologi, sehingga kontribusi faktor-faktor tersebut terhadap kinerja usaha tani menjadi lebih optimal. Dengan kata lain, praktik pertanian ramah lingkungan berperan sebagai penghubung yang meningkatkan efektivitas strategi manajerial dan transfer teknologi di lapangan.

Peran inovasi hijau (*green Inovation*) sebagai mediator telah didukung oleh berbagai penelitian terkini. Berdasarkan Penelitian (Syamsiyah et al., 2024) menekankan bahwa adopsi praktik pertanian hijau, seperti penggunaan pupuk organik dan efisiensi air, mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan, serta memperkuat dampak kapasitas operasional petani terhadap hasil panen. Selanjutnya pada penelitian (Yanfika et al., 2025) juga menambahkan bahwa keberhasilan penerapan inovasi hijau sangat dipengaruhi oleh efektivitas penyuluh dan pelatihan, sehingga mediasi oleh inovasi hijau memungkinkan transfer teknologi dan kapasitas operasional berimplikasi lebih besar terhadap kinerja usaha tani. Dengan kata lain, inovasi hijau bukan hanya praktik tambahan, tetapi instrumen strategis yang memperkuat hubungan antara sumber daya internal petani dan teknologi eksternal.

Dalam konteks ini, efek total dari limbah teknologi terhadap kinerja usaha tani, yang mencakup efek langsung dan tidak langsung melalui inovasi hijau, mencapai 0,562. Koefisien jalur langsung dari limbah teknologi terhadap kinerja usaha tani adalah 0,496, sedangkan efek tidak langsung melalui inovasi hijau sebesar 0,066. Mediasi oleh inovasi hijau meningkatkan total efek limbah teknologi terhadap kinerja usaha tani, menunjukkan bahwa adopsi teknologi canggih dan inovatif, ketika dipadukan dengan inovasi hijau, memberikan dampak yang lebih besar dan signifikan terhadap kinerja usaha tani. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa teknologi pertanian yang canggih dan inovatif akan memberikan dampak maksimal bila diintegrasikan dengan inovasi hijau. Temuan ini sejalan dengan prinsip *green technology adoption*, di mana sinergi antara teknologi modern dan praktik pertanian ramah lingkungan mampu meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan secara simultan (Huang & Ping, 2024). Dengan demikian, inovasi hijau tidak hanya memperkuat pengaruh kapasitas operasional dan limbah teknologi, tetapi juga menjadi strategi penting dalam pengembangan usahatani yang berkelanjutan dan kompetitif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh Kapasitas Operasional, Limbah Teknologi, dan Inovasi Hijau (Green Innovation) terhadap Kinerja Usaha Tani belimbing di Kabupaten Tuban. Hasil analisis PLS-SEM menunjukkan bahwa Kapasitas Operasional (Koefisien jalur 0,211), Limbah Teknologi (Koefisien jalur 0,496), dan Inovasi Hijau (Koefisien jalur 0,247) secara signifikan dan positif berpengaruh terhadap Kinerja Usaha Tani. Secara khusus, Limbah Teknologi muncul sebagai faktor paling dominan yang memengaruhi kinerja usaha tani, yang menekankan pentingnya transfer pengetahuan dan adopsi teknologi modern di kalangan petani. Model ini memiliki kekuatan penjelasan yang tinggi karena mampu menjelaskan sekitar 76,1% variabilitas Kinerja Usaha Tani, dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,761.

Ditemukan pula bahwa variabel Inovasi Hijau (Green Innovation) berfungsi sebagai variabel mediasi yang signifikan, yang secara statistik memperkuat pengaruh baik dari Kapasitas Operasional (koefisien tidak langsung 0,144) maupun Limbah Teknologi (koefisien tidak langsung 0,066) terhadap Kinerja Usaha Tani. Temuan ini mendukung literatur yang menyatakan

bahwa integrasi praktik ramah lingkungan adalah kunci untuk memperkuat efektivitas sumber daya internal (kapasitas) dan eksternal (teknologi) petani. Kesimpulan ini menegaskan bahwa penerapan praktik pertanian ramah lingkungan (Green Innovation) tidak hanya memberikan manfaat langsung, tetapi juga bertindak sebagai instrumen strategis yang mengoptimalkan transfer teknologi dan kemampuan manajerial petani, sehingga sangat penting untuk mewujudkan sistem usaha tani yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan.

REFERENSI

- Aditi, B., & Cen, C. C. (2025). *Research on World Agricultural Economy Agricultural Green Innovation and Food Security in Indonesia : Exploring Green Economy Transformation*. 06(04), 310–331.
- Alonso-martínez, D., Jim, B., & Cabeza-garcía, L. (2024). *Environmental and Sustainability Indicators Theoretical framework to foster and assess sustainable agriculture practices : Drivers and key performance indicators*. 23(January). <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100434>
- Angka Tetap Holtikultura. (2022). Direktorat Jenderal Hortikultura, Kementerian Pertanian.
- Chen, Y., Hu, S., & Wu, H. (2023). *The Digital Economy , Green Technology Innovation , and Agricultural Green Total Factor Productivity*. 1–15.
- Chi, N. T. K. (2022). Driving factors for green innovation in agricultural production: An empirical study in an emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 368(132965). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132965>
- Cohen, J. (1992). *QUANTITATIVE METHODS IN PSYCHOLOGY*. 112(1), 155–159.
- Dewi, S. U., Gunawan, T., Prasetya, D., Taufik, G., Solohin, M., & Azzahra, P. (2025). *Greenpreneurship Desa Mulyosari : Pemberdayaan Masyarakat melalui Inovasi Limbah dan Pertanian Berkelanjutan*. 6(2), 149–165.
- Fitrah, M. A., Thahir, M. T., Hardyanti, H., Studi, P., Perawatan, T., Komunitas, A., Manufaktur, I., Komunitas, A., Manufaktur, I., Studi, P., Kimia, A., Komunitas, A., & Manufaktur, I. (2025). *Jurnal Balireso: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. xx(xx), 87–96.
- Harudin, L. (2025). *Technical and Economic Efficiency in Farming : A Literature Study Using the DEA and Frontier Production Approaches*. 1(April), 28–37.
- Hidayati, F., Syahni, R., Suliansyah, I., & Tanjung, H. B. (2025). *ADOPTION OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY INNOVATION IN INDONESIA: CHALLENGES AND ALTERNATIVE SOLUTIONS Filya*. 12(1), 329–348.
- Huang, L., & Ping, Y. (2024). *The Impact of Technological Innovation on Agricultural Green Total Factor Productivity : The Mediating Role of Environmental Regulation in China*.
- Koehuan, V. A., Adoe, D. G. H., Mulyantini, N. G. A., & Timuneno, A. Y. W. (2025). *pertanian termasuk pasca panen dapat meningkatkan pengetahuan dan Desa Pukdale yang termasuk dalam wilayah kecamatan Kupang Timur , musim hujan air melimpah , namun saat musim panas cenderung mengalami*. 9(1), 1295–1307.

- Markow, J., Fieldsend, A. F., Münchhausen, S. Von, & H, A. M. (2023). *Building agricultural innovation capacity from the bottom up : Using spillover effects from projects to strengthen agricultural innovation systems*. 209(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103670>
- Mendrofa, J. S., Zentrato, M. W., Halawa, N., & Elwin, E. (2024). *Peran Teknologi dalam Meningkatkan Efisiensi Pertanian*. 3.
- Nurlaela, S., Sujono, S., Lestari, T., Damayanti, E. R., & Panicara, S. (2024). Adoption Innovation Strategy in Organic Farming Innovation Based on Sustainable Extension on Dry Land in Gunungkidul Regency. *Agrisocionomics: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 8(3), 793–806. <https://doi.org/10.14710/agrisocionomics.v8i3.21752>
- Ogiemwonyi, O., Nurul, M., Hago, I. E., Azlinna, N., Hashim, F., & Hossain, S. (2023). Heliyon Green innovation behaviour : Impact of industry 4 . 0 and open innovation. *Heliyon*, 9(6), e16524. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16524>
- Polgan, J. M., Ravel, M. A., Ginting, H. S., Nababan, J., Sinaga, R., Satya, U., Bhinneka, T., Pemerintah, K., Berkelanjutan, P., & Pasok, R. (2025). *Manajemen Pertanian Pasca Covid-19 : Variabel Penentu Keberlanjutan Sektor Pertanian*. 14(September), 1921–1929.
- Ren, X., & Mia, A. (2025). The determinants of green innovations in manufacturing industries : a systematic literature review. *Future Business Journal*. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00461-6>
- Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R*.
- Rosanna, R., Yunandar, D. T., Djufri, F., Aryawiguna, M. I., & Rosanna, R. (2024). *Analisis peningkatan produktivitas tanaman pangan melalui penerapan green teknologi di provinsi Sulawesi-Selatan*. 10(2), 961–972.
- Salawati, U., Rusmayadi, G., Pareira, M. S., Tahir, U., & Sutiharni. (2024). *OPTIMIZING THE USE OF TECHNOLOGY IN CREATING CLIMATE*. 08(02), 1–7.
- Saleh, K. (2021). *Model Kapasitas Petani Padi Sawah dalam Mendukung Ketahanan Pangan Berkelanjutan di Kabupaten Tangerang Model Capacity the Paddy Sawah of Farmers to Support Sustainable Food Security in Tangerang District*. 17(01), 40–51.
- Sawitri, B., Amanah, S., Saleh, A., & Hubeis, A. V. S. (2020). Membangun Kapasitas Petani Lahan Marjinal di Perbatasan Darat Indonesia (Kasus di Belu , Nusa Tenggara Timur) Building Capacity of Marginal Land Farmer ' s in Indonesian Cross Border (Cases in Belu District , East Nusa Tenggara). *Jurnal Agriekstensi*, 19(1), 8–17.
- Sibuea, F. A., Sibuea, M. B., & Harahap, G. (2023). *Eksistensi Penyuluh Pertanian Dan Tingkat Adopsi Teknologi Dalam Peningkatan Produktivitas Padi Sawah di Kabupaten Deli Serdang Existence of Agricultural Extension Role and Technology Adoption on The Paddy Productivity Improvement in Deli Serdang Regency*. 2, 175–188.
- Sulistiyawati, H., & Rahayu, P. (2021). *Keberlanjutan Penerapan Teknologi Padi Sawah Ramah Lingkungan dalam Aspek Kapasitas Petani dan Sifat Inovasi di Sulawesi Tengah Sustainability of the Friendly Environment Lowland Rice Technology Application in Farmer Capacity and Nature of Innovation Aspects in Central Sulawesi*. 17(02).



- Syamsiyah, J., Herdiansyah, G., Hartati, S., & Dewi, W. S. (2024). Pendampingan Pengembangan Pertanian Organik melalui Teknologi Pupuk Hijau Azolla. *SEMAR*, 13(2), 205–212.
- Yanfika, H., Gitosaputro, S., Ranga, K. K., & Safitri, Y. (2025). *Tingkat Efektivitas Penyuluh dalam Meningkatkan Keterampilan Petani Sayuran yang Ramah Lingkungan dalam Mendukung Ketahanan Pangan The Level of Effectiveness of Extension Workers in Improving Environmentally Friendly Vegetable Farming Skills to Support Food Security*. 21(September 2022), 62–73.