

Pemberdayaan Petani Alpukat di Desa Pempatan Bali melalui Inovasi Tongkat Panen Teleskopik Cerdas dan Sistem Monitoring Digital

I Made Surya Kumara^{1*}, Gde Wikan Pradnya Dana², Ni Luh Putu Putri Setianingsih³

^{1,2}Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa

suryakumara@warmadewa.ac.id, wikanpdana8044@warmadewa.ac.id

³Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi, Universitas Warmadewa

putriamecell@gmail.com

Abstrak

Pertanian memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional, khususnya di negara agraris seperti Indonesia. Salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi adalah alpukat, yang di Bali banyak dibudidayakan di Desa Pempatan, Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem. Desa ini dikenal sebagai sentra produksi alpukat dengan hasil melimpah, namun masih menghadapi sejumlah permasalahan, seperti metode panen tradisional yang berisiko tinggi terhadap keselamatan kerja, terdapatnya tingkat kerusakan buah akibat jatuh, serta ketiadaan sistem pencatatan digital untuk mendukung pengambilan keputusan. Tujuan dari program pengabdian ini adalah untuk memberdayakan petani alpukat di Desa Pempatan melalui penerapan inovasi tongkat panen teleskopik cerdas sebagai pengganti metode panen manual, serta mengimplementasikan sistem pencatatan hasil panen berbasis digital. Program pengabdian ini dirancang untuk memberdayakan petani melalui penerapan inovasi tongkat panen teleskopik cerdas dan sistem monitoring panen berbasis web. Evaluasi efektivitas program dilakukan dengan metode pre-test dan post-test terhadap 16 kelompok tani. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan pada aspek produksi, ditandai dengan percepatan waktu panen (56,2% responden menilai panen menjadi jauh lebih cepat), penurunan tingkat kesulitan (68,8% menyatakan cukup mudah dan 31,2% sangat mudah), serta berkurangnya kerusakan buah (87,5% responden melaporkan kerusakan sangat berkurang). Pada aspek manajemen, terjadi peningkatan kemampuan pencatatan digital, dengan 50% responden mulai mandiri atau dengan sedikit bantuan, serta penguatan persepsi manfaat pencatatan untuk akuntabilitas usaha tani. Temuan ini menunjukkan bahwa inovasi teknologi panen mampu meningkatkan efisiensi, kualitas hasil, dan tata kelola produksi alpukat.

DOI:

<https://doi.org/10.47134/comdev.v6i1.1733>

*Correspondensi: I Made Surya Kumara

Email: suryakumara@warmadewa.ac.id

Received: 04-06-2025

Accepted: 19-07-2025

Published: 28-08-2025



Copyright: © 2021 by the authors.

Submitted for possible open access

publication under the terms and conditions of

the Creative Commons Attribution (CC BY)

license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Kata Kunci: Alpukat, Desa Pempatan, teknologi panen, tongkat teleskopik, sistem monitoring

Abstract

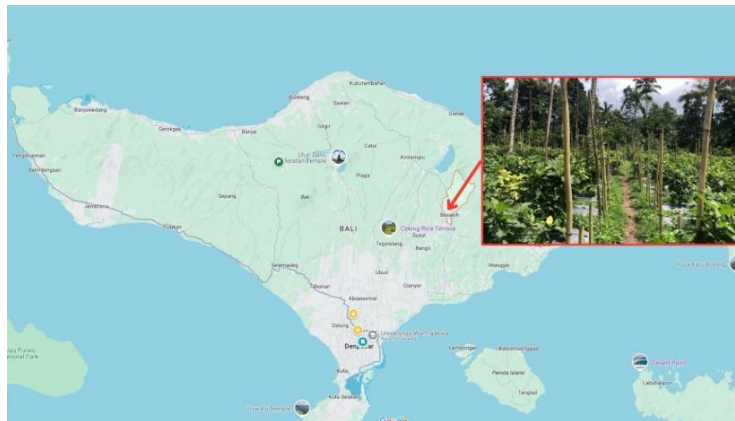
Agriculture plays a strategic role in the national economy, particularly in agrarian countries like Indonesia. One of the high-value horticultural commodities is avocado, which is widely cultivated in Pempatan Village, Rendang District, Karangasem Regency, Bali. This village is known as a major avocado production center with abundant yields; however, farmers still face several challenges, such as traditional harvesting methods that pose safety risks, a high rate of fruit damage due to falls, and the absence of accurate digital recording systems to support decision-making. The objective of this community service program is to empower avocado farmers in Pempatan Village through the implementation of an innovative smart telescopic harvesting stick as a replacement for manual harvesting methods, as well as to introduce a digital-based harvest recording system. This community service program was designed to empower farmers through the implementation of an innovative smart telescopic harvesting pole

and a web-based harvest monitoring system. The program's effectiveness was evaluated using pre-test and post-test methods involving 16 farmer groups. The analysis showed improvements in production aspects, including faster harvesting (56.2% of respondents reported a significant increase in speed), reduced difficulty (68.8% reported it was fairly easy and 31.2% very easy), and decreased fruit damage (87.5% reported a significant reduction). In terms of management, 50% of respondents became more independent in digital recordkeeping and showed an improved perception of its importance for farm accountability. These findings indicate that harvesting technology innovations can enhance efficiency, product quality, and avocado production management.

Keywords: Avocado, Pempatan Village, harvesting technology, telescopic pole, monitoring system

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor yang memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional, khususnya di negara agraris seperti Indonesia (Burhan, 2018; Afriyadi et al., 2022; Winarno et al., 2025 & Widyastutik et al., 2025). Salah satu komoditas hortikultura yang memiliki potensi ekonomi tinggi adalah buah alpukat (Sina et al., 2024; Collantes-Barturen and Morán-Santamaría, 2025; Velázquez-Torres et al., 2025). Wilayah pertanian di lereng Gunung Agung, Bali bagian timur, memiliki karakteristik tanah vulkanik yang subur dan sangat mendukung kegiatan budidaya pertanian. Salah satu kawasan yang menyimpan potensi besar adalah Desa Pempatan, Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem. Desa ini telah dikenal sebagai sentra penghasil alpukat lokal dengan jumlah produksi yang melimpah. Dalam satu kali musim panen, petani di desa tersebut dapat memanen buah alpukat dalam jumlah besar. Namun demikian, besarnya potensi pertanian alpukat ini belum diimbangi dengan sistem pencatatan hasil panen yang memadai, karena hingga kini masih dilakukan secara manual, sehingga sering menimbulkan ketidakteraturan dalam pendataan, evaluasi, dan perencanaan hasil tani. Kelompok petani di Desa ini tergabung dalam budidaya dan panen alpukat secara musiman. Dalam praktiknya, proses pemanenan alpukat masih dilakukan secara manual dan konvensional dengan cara memanjat pohon atau menggunakan galah bambu tanpa kendali presisi (Vásconez and Auat Cheein, 2022; Zhou et al., 2024; Girma et al., 2021). Metode ini menimbulkan risiko keselamatan kerja, kerusakan buah akibat jatuh, serta kehilangan hasil panen akibat keterlambatan pemetikan. Proses pencatatan hasil panen juga masih bersifat manual dan tidak terdokumentasi dengan baik, sehingga menyulitkan dalam pengambilan keputusan usaha tani dan evaluasi produktivitas (Basir et al., 2024; Resti et al., 2024; Wulandari et al., 2023). Kondisi eksisting ini menggambarkan adanya kesenjangan antara potensi wilayah dan kapasitas teknologi yang dimiliki (Kasemi et al., 2022; Geffersa and Agbola, 2024; Hameed et al., 2025). Secara hulu, mitra memiliki sumber daya alam yang mendukung namun terbatas dalam akses terhadap teknologi panen modern. Secara hilir, hasil panen sering tidak optimal secara kuantitas maupun kualitas, dan tidak terhubung dengan data produktivitas yang terdokumentasi. Permasalahan tersebut menjadi penghambat utama dalam peningkatan kapasitas produksi, efisiensi kerja, serta pengambilan keputusan berbasis data.



Gambar 1. Lokasi Desa Pempatan di Kabupaten Karangasem Bali

Pengembangan alat serupa oleh Manikandan & Krishnan (2022) melakukan evaluasi ergonomis terhadap ergo refined fruit harvester, sebuah alat panen yang dirancang untuk mengurangi beban fisik pada pekerja buah. Selain itu, penggunaan alat panen berbasis tongkat atau tiang panjang tetap menjadi solusi populer karena fleksibilitasnya menjangkau buah di pohon tinggi tanpa menyentuh batang secara langsung (Kaur et al., 2023; Zhang et al., 2024; Thamarai Selvi et al., 2025). Pengembangan alat panen terkini juga menyoroti bahwa adopsi alat panen berbasis teknologi mampu menurunkan tingkat kerusakan buah dibandingkan metode panjat konvensional (Zeeshan et al., 2025; Fu et al., 2024; Jiang et al., 2025; Ranjan et al., 2024 & Xu et al., 2023). Inovasi alat panen modern kini banyak memanfaatkan kombinasi material ringan seperti aluminium dan serat karbon, serta integrasi sensor atau kamera sederhana untuk mendeteksi kematangan buah (Huang et al., 2025; Han et al., 2024 & Zeeshan et al., 2024). Dengan demikian, tren pengembangan teknologi panen menuju arah mekanisasi cerdas dan otomatisasi terukur tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja, tetapi juga berpotensi mendukung keberlanjutan sistem pertanian di kawasan tropis seperti Indonesia (Getahun et al., 2024; Hoque & Padhiary, 2024 & Sanyaolu & Sadowski, 2024).

Kelompok Tani di Desa Pempatan menjalankan aktivitas agrikultur secara kolektif dengan fokus pada komoditas alpukat jenis lokal. Luas lahan yang dikelola secara kolektif oleh anggota mencapai ± 80 are. Sistem usaha tani dilakukan secara tradisional dengan siklus panen satu kali dalam setahun. Namun, keterbatasan alat panen membuat proses pengambilan buah alpukat dari pohon yang tinggi menjadi tantangan tersendiri. Tidak jarang buah yang telah siap panen jatuh dan mengalami kerusakan fisik yang mengurangi mutu dan harga jual di pasar.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi pada Kelompok Tani Desa Pempatan, Kecamatan Rendang, Karangasem, khususnya dalam aspek produksi dan manajemen usaha, tim pengusul merumuskan dua solusi utama yang saling terintegrasi serta berbasis pada hasil riset dan pengalaman multidisiplin. Melalui kegiatan ini, diharapkan terwujud pemberdayaan petani alpukat di Desa Pempatan melalui penerapan inovasi tongkat panen teleskopik cerdas dan sistem monitoring panen berbasis web. Integrasi kedua solusi tersebut dirancang untuk meningkatkan efisiensi kerja serta mendukung pencatatan hasil panen secara digital dan berkelanjutan.

II. METODE

Metodologi dalam program pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk menjawab permasalahan mitra secara sistematis dan terukur. Kegiatan dilaksanakan di Desa Pempatan, Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem, yang merupakan salah satu sentra produksi alpukat di Bali. Subjek kegiatan melibatkan 16 ketua kelompok tani yang aktif mengelola usaha pertanian alpukat di wilayah tersebut. Untuk menilai efektivitas intervensi, digunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif melalui pelaksanaan pre-test dan post-test. Instrumen ini bertujuan mengukur perubahan pengetahuan, keterampilan, serta persepsi petani sebelum dan sesudah program, sehingga diperoleh gambaran komprehensif mengenai dampak kegiatan baik pada aspek produksi maupun manajemen.



Gambar 2. Metoda Pelaksanaan Pengabdian

a) Sosialisasi Program

Tahap awal kegiatan dimulai dengan sosialisasi program kepada mitra, yaitu Kelompok Tani Sari Pertiwi di Desa Pempatan, yang melibatkan seluruh pengurus dan anggota kelompok. Sosialisasi dilakukan secara langsung di balai kelompok tani dengan pendekatan dialogis untuk menjelaskan tujuan, manfaat, bentuk kegiatan, serta peran aktif yang diharapkan dari mitra.

Pada tahap ini juga akan dijelaskan jadwal pelaksanaan program, serta mekanisme pelaporan hasil kegiatan. Sosialisasi bertujuan menciptakan rasa memiliki (sense of ownership) dan memperkuat komitmen mitra untuk berpartisipasi aktif dalam seluruh proses program.

b) Pelatihan Alat Panen dan Sistem Pencatatan

Setelah sosialisasi, kegiatan dilanjutkan dengan pelatihan teknis yang dibagi ke dalam dua sesi utama:

- Pelatihan penggunaan tongkat teleskopik cerdas dan portable

Disampaikan oleh tim dari bidang teknik, pelatihan ini akan mengajarkan cara penggunaan alat panen yang aman dan efektif, pengaturan panjang tongkat, sistem pemotongan, hingga cara merawat alat pasca-panen.

- Pelatihan sistem pencatatan hasil panen berbasis web

Disampaikan oleh tim dari bidang teknologi informasi, pelatihan ini akan menjelaskan fungsi dasar dari sensor infrared proximity, cara kerja pencatatan otomatis dengan ESP32, serta cara mengakses dan membaca data jumlah panen melalui web interface.

Setiap sesi pelatihan akan dilengkapi dengan modul pelatihan, simulasi langsung di lapangan, dan sesi tanya jawab.

c) Penerapan Teknologi

Setelah pelatihan, mitra akan langsung menerapkan teknologi dalam proses panen yang sesungguhnya. Pada tahap ini, mitra akan menggunakan alat panen cerdas untuk mengambil buah alpukat dari pohon berkanopi tinggi secara aman dan efisien. Penghitungan jumlah buah akan dilakukan secara otomatis menggunakan sensor proximity yang terhubung ke sistem pencatatan berbasis web. Data hasil panen akan terakumulasi dan dapat diakses oleh kelompok untuk dievaluasi. Penerapan teknologi akan dilakukan secara bergilir oleh anggota kelompok tani, dengan pendampingan dari tim pengusul dan mahasiswa yang bertugas di lapangan.

d) Pendampingan dan Evaluasi

Selama proses penerapan berlangsung, tim pengusul akan melakukan pendampingan intensif selama tiga minggu berturut-turut, terutama pada masa panen aktif. Pendampingan mencakup:

1. Pengawasan penggunaan alat secara langsung
2. Bantuan teknis apabila terjadi kendala dalam penggunaan sensor atau sistem web
3. Monitoring pencatatan data panen harian

Evaluasi awal dilakukan setiap akhir minggu untuk menilai efektivitas penggunaan alat, keberhasilan pencatatan otomatis, serta respons mitra terhadap teknologi yang diterapkan. Evaluasi akhir dilakukan menjelang akhir program melalui kuesioner dan diskusi kelompok.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil wawancara dengan Ketua Kelompok Tani Sari Pertiwi, diketahui bahwa proses panen masih menggunakan tongkat bambu, sedangkan tempat penampungan buah menggunakan karung. Permasalahan yang muncul adalah belum adanya sistem pencatatan digital selama proses panen, serta buah yang terkumpul terkadang jatuh dan mengalami kerusakan akibat jatuh dari ketinggian. Oleh karena itu, perlu dirumuskan dua aspek analisis, yaitu aspek produksi dan aspek manajemen.

3.1 Kondisi Awal Mitra

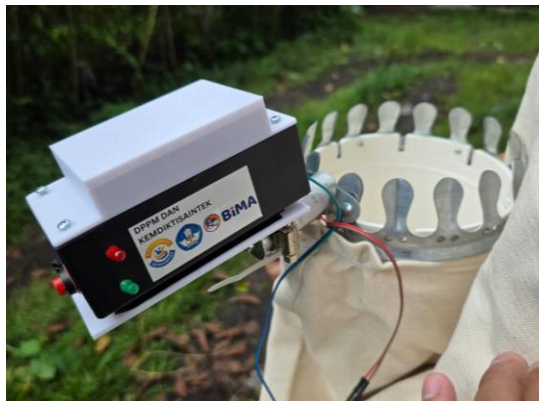
Ketua kelompok tani menyampaikan bahwa kondisi pohon alpukat lokal yang cukup tinggi perlu adanya tongkat, selain itu saat ini untuk panen buah alpukat masih menggunakan tongkat bambu dan karung seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kekurangan menggunakan karung adalah buah akan jatuh ke karung sehingga tongkat akan menjadi berat, terkadang tongkat karung yang penuh bisa terjatuh hingga jatuh.



Gambar 3. Kondisi tongkat panen manual yang sebelumnya digunakan oleh Kelompok Tani Sari Pertiwi

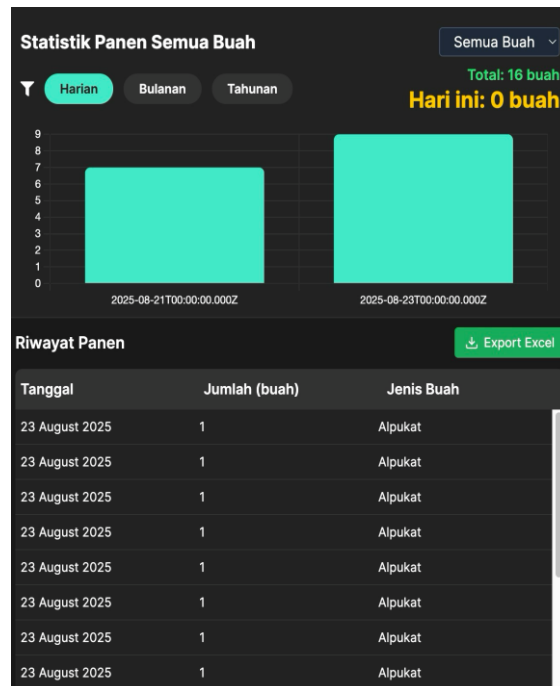
3.2 Proses Perancangan & Implementasi Teknologi

Dalam proses perancangan dan implementasi teknologi, dibuat suatu alat untuk mendeteksi dan menghitung jumlah buah yang dipanen secara otomatis. Gambar 4 memperlihatkan prototype teknologi penghitung buah alpukat yang dirancang sebagai bagian dari inovasi alat panen cerdas.



Gambar 4. *Prototype* teknologi penghitung buah alpukat

Untuk dapat memantau jumlah buah alpukat di website, perangkat harus terlebih dahulu terkoneksi. Proses panen dilakukan dengan memasang perangkat pada tongkat teleskopik. Setelah buah berhasil dipanen, buah akan masuk melalui kain lorong sehingga tidak langsung jatuh ke bawah. Petani perlu mengisi daya perangkat agar tetap dapat terkoneksi.

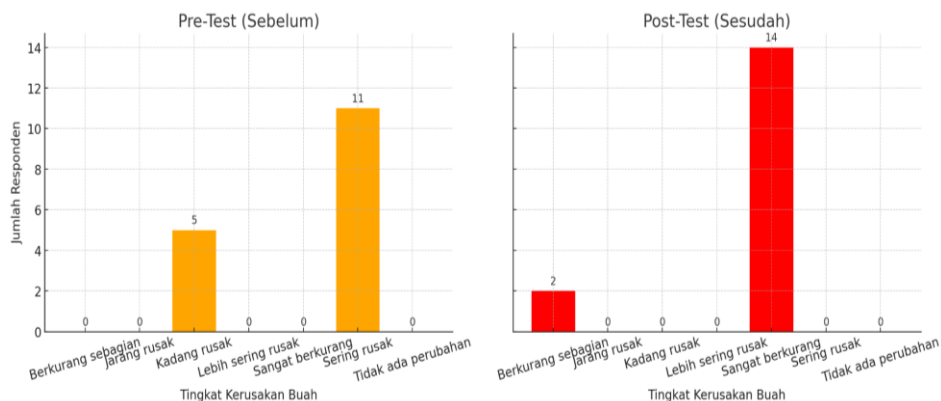


Gambar 5. *Prototype teknologi penghitung buah alpukat*

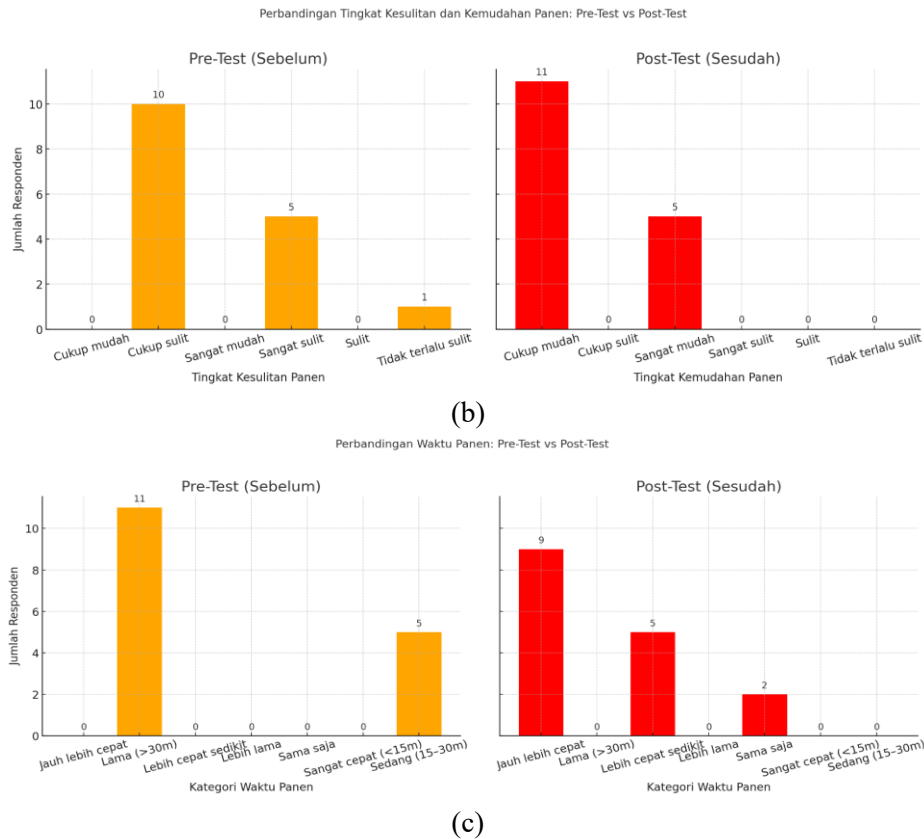
Pada bagian website Gambar 5, para petani dapat memantau hasil panen buah alpukat secara interaktif. Data panen dapat difilter berdasarkan periode waktu, seperti harian, bulanan, maupun tahunan, sehingga memudahkan analisis produktivitas dari waktu ke waktu. Selain itu, sistem juga menampilkan total hasil panen serta perhitungan jumlah buah secara real-time yang terhubung langsung dengan perangkat penghitung di lapangan. Seluruh data yang terekam dapat diekspor ke dalam format Excel untuk keperluan pelaporan, dokumentasi, maupun evaluasi kinerja produksi secara lebih komprehensif.

3.3 Analisis Aspek Produksi

Dalam analisis aspek produksi dilakukan perbandingan pada level produksi untuk menilai efektivitas program. Gambar 6. di bawah ini menunjukkan kondisi produksi sebelum dan sesudah implementasi inovasi tongkat panen teleskopik cerdas.



(a)

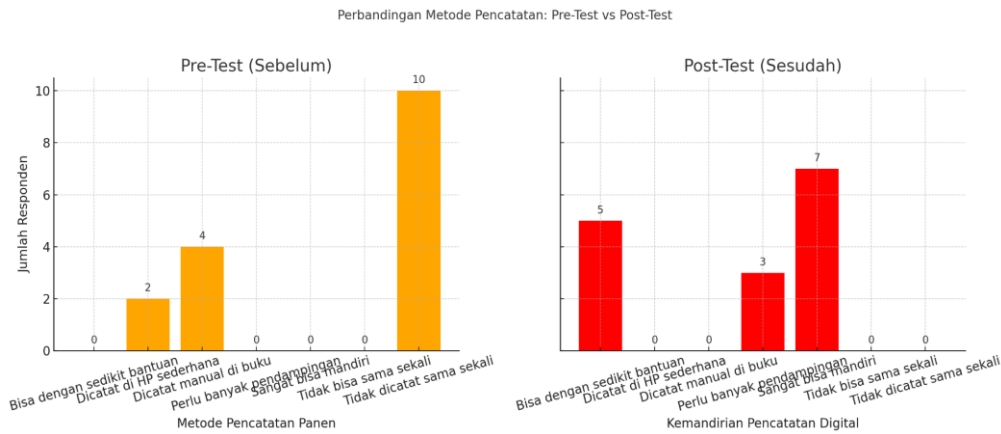


Gambar 6. (a) Perbandingan tingkat kerusakan buah sebelum dan sesudah menggunakan tongkat panen
 (b) Perbandingan tingkat kesulitan panen buah sebelum dan sesudah menggunakan tongkat panen
 (c) Perbandingan waktu panen buah sebelum dan sesudah menggunakan tongkat panen

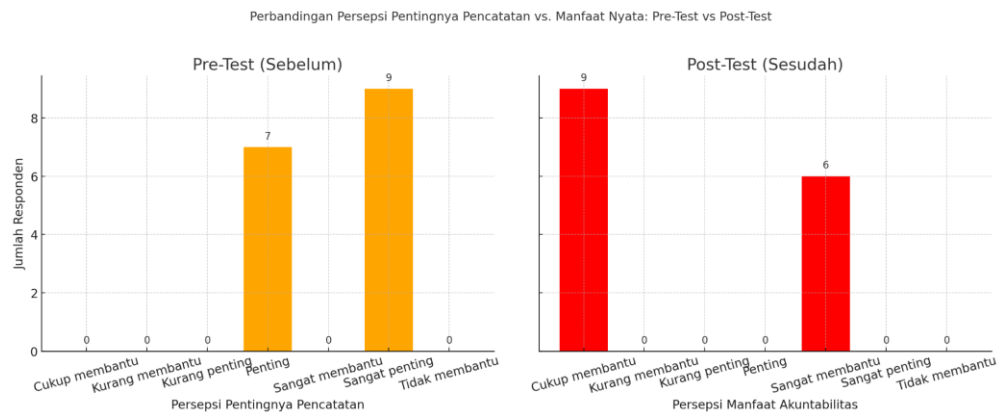
Hasil evaluasi menunjukkan bahwa inovasi tongkat panen teleskopik cerdas memberikan dampak nyata pada aspek produksi. Sebelum program, 68,8% responden menilai waktu panen tergolong lama (>30 menit), namun setelah penggunaan alat, 56,2% responden menyatakan panen menjadi jauh lebih cepat. Tingkat kesulitan panen yang sebelumnya dinilai cukup sulit hingga sangat sulit oleh 93,7% responden, berubah drastis setelah intervensi, di mana seluruh responden menilai panen menjadi mudah. Pada aspek kualitas buah, kondisi awal menunjukkan 68,8% responden melaporkan buah sering rusak akibat jatuh, sedangkan setelah penggunaan tongkat panen teleskopik cerdas, 87,5% responden menyatakan kerusakan buah sangat berkurang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa inovasi tongkat panen teleskopik cerdas tidak hanya meningkatkan efisiensi dan mempermudah proses panen, tetapi juga berperan signifikan dalam menjaga kualitas hasil panen alpukat.

3.4 Analisis Aspek Manajemen

Dalam analisis aspek produksi dilakukan perbandingan pada level manajemen untuk menilai efektivitas program. Gambar 7. di bawah ini menunjukkan kondisi produksi sebelum dan sesudah implementasi inovasi tongkat panen teleskopik cerdas.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Metode pencatatan panen (b) Persepsi manfaat akuntabilitas dan pentingnya pencatatan

Analisis aspek manajemen difokuskan pada penerapan pencatatan hasil panen serta persepsi petani terhadap pentingnya pencatatan digital. Hasil pre-test menunjukkan bahwa sebagian besar responden (62,5% atau 10 orang) tidak melakukan pencatatan sama sekali, sementara hanya sebagian kecil (12,5% atau 2 orang) yang mulai mencoba mencatat dengan telepon genggam dan 25% (4 orang) mencatat manual di buku. Setelah intervensi dengan sistem pencatatan digital, terjadi peningkatan signifikan, di mana 31,2% (5 orang) responden sudah mampu mencatat dengan sedikit bantuan, 18,8% (3 orang) mulai mandiri menggunakan perangkat digital, dan 43,8% (7 orang) menyatakan masih perlu pendampingan. Hal ini menegaskan bahwa penerapan pencatatan digital dapat meningkatkan kemandirian kelompok tani dalam manajemen data produksi, meskipun sebagian masih membutuhkan pendampingan lebih lanjut.

Dari sisi persepsi, pada tahap awal 56,2% (9 orang) responden menganggap pencatatan sangat penting dan 43,8% (7 orang) menyatakan penting, menandakan kesadaran tinggi akan urgensi dokumentasi. Setelah intervensi, terjadi penguatan persepsi manfaat, di mana 37,5% (6 orang) responden menilai pencatatan sangat membantu akuntabilitas, sementara 56,2% (9 orang) menyatakan cukup membantu. Temuan ini menunjukkan adanya pergeseran dari sekadar kesadaran menuju pemahaman manfaat nyata pencatatan digital dalam mendukung transparansi dan pengambilan keputusan.

IV. KESIMPULAN

Program pengabdian masyarakat yang mengimplementasikan tongkat panen teleskopik cerdas dan sistem monitoring panen berbasis web terbukti memberikan dampak positif terhadap peningkatan kapasitas dan kemandirian kelompok tani alpukat di Desa Pempatan, Bali. Dari aspek produksi, penerapan teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi proses panen. Waktu panen menjadi lebih singkat, tingkat kesulitan berkurang secara drastis, dan kerusakan buah akibat jatuh dapat diminimalkan. Hal ini menunjukkan bahwa inovasi tongkat panen teleskopik cerdas tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap peningkatan kualitas hasil panen. Sementara dari aspek manajemen, sistem pencatatan digital yang dikembangkan telah mendorong petani untuk lebih mandiri dalam mendokumentasikan hasil panen dan mengelola data produksi. Terjadi peningkatan signifikan dalam kemampuan pencatatan serta kesadaran terhadap pentingnya akuntabilitas dan evaluasi berbasis data. Penerapan sistem ini juga memperkuat transparansi dan mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih berbasis bukti. Secara keseluruhan, hasil kegiatan menunjukkan bahwa integrasi teknologi panen cerdas dan sistem monitoring digital berperan penting dalam mewujudkan pertanian yang lebih modern, efisien, dan berkelanjutan, sekaligus menjadi model pemberdayaan petani berbasis inovasi teknologi yang dapat direplikasi di daerah lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, Universitas Warmadewa serta Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Universitas Warmadewa atas dukungan yang diberikan dalam pengabdian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Tim Smart Farm Universitas Warmadewa atas kerja sama dan kontribusinya yang sangat berarti dalam penyelesaian pengabdian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyadi, A., Saputra, E. K., Ramadhan, M. F., & Dinata, O. (2022). Permata Pemberdayaan ekonomi masyarakat melalui tanaman alpukat di desa air glubi. *Journal of Maritime Empowerment*, 5(1), 5–11. <https://doi.org/10.31629/jme.v5i1.5431>
- Basir, Md. S., Buckmaster, D., Raturi, A., & Zhang, Y. (2024). From pen and paper to digital precision: a comprehensive review of on-farm recordkeeping. *Precision Agriculture*, 25(5), 2643–2682. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10172-7>
- Burhan, A. B. (2018). Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Pengembangan Ekonomi Pertanian dan Pengentasan Kemiskinan. *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, 16(2), 233–247. <https://doi.org/10.46937/16201826338>
- Collantes-Barturen, F. J. A., & Morán-Santamaría, R. O. (2025). Impact of Avocado Exports on Peruvian Economic Growth. *Sustainability*, 17(10), 4460. <https://doi.org/10.3390/su17104460>
- Fu, M., Guo, S., Chen, A., Cheng, R., & Cui, X. (2024). Design and experimentation of multi-fruit envelope-cutting kiwifruit picking robot. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1338050>
- G, M., & Krishnan, A. (2022). Ergonomic evaluation of ergo refined fruit harvester. *Madras Agricultural Journal*, 109(Special). <https://doi.org/10.29321/maj.10.000641>
- Geffersa, A. G., & Agbola, F. W. (2024). Technical Efficiency and Technology Gaps Among Smallholder Maize

- Farmers in Ethiopia. Elsevier BV. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5043824>
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production and environmental sustainability: A systematic review. *The Scientific World Journal*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Girma, A., Ayalew, M., & Erchafo, A. (2021). Development of an Autonomous Multifunctional Fruits Harvester. *Open Access Journal of Agricultural Research*, 6(2). <https://doi.org/10.23880/oajar-16000270>
- Hameed, R. U., Meade, C., & Lacey, G. (2025). Technology Advancements and the Needs of Farmers: Mapping Gaps and Opportunities in Row Crop Farming. *Agriculture*, 15(15), 1664. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151664>
- Han, C., Lv, J., Dong, C., Li, J., Luo, Y., Wu, W., & Abdeen, M. A. (2024). Classification, advanced technologies, and typical applications of end-effector for fruit and vegetable picking robots. *Agriculture*, 14(8), 1310. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081310>
- Hoque, A., & Padhiary, M. (2024). Automation and AI in precision agriculture: Innovations for enhanced crop management and sustainability. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 17(10), 95–109. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2024/v17i10512>
- Huang, Y., Xu, S., Chen, H., Li, G., Dong, H., Yu, J., Zhang, X., & Chen, R. (2025). A review of visual perception technology for intelligent fruit harvesting robots. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1646871>
- Jiang, Y., Chen, J., Wang, Z., & Hu, G. (2025). Research progress and trend analysis of picking technology for korla fragrant pear. *Horticulturae*, 11(1), 90. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010090>
- Kasemi, R., Lammer, L., & Vincze, M. (2022). The gap between technology and agriculture, barrier identification and potential solution analysis. *IFAC-PapersOnLine*, 55(39), 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.042>
- Kaur, B., Mansi, Dimri, S., Singh, J., Mishra, S., Chauhan, N., Kukreti, T., Sharma, B., Singh, S. P., Arora, S., Uniyal, D., Agrawal, Y., Akhtar, S., Rather, M. A., Naik, B., Kumar, V., Gupta, A. K., Rustagi, S., & Preet, M. S. (2023). Insights into the harvesting tools and equipment's for horticultural crops: From then to now. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100814. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100814>
- Ranjan, A., Machavaram, R., & Patidar, P. (2024). Design and development of a peduncle-holding end effector for robotic harvesting of mango. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2403706>
- Sanyaolu, M., & Sadowski, A. (2024). The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable agriculture. *MDPI AG*. <https://doi.org/10.20944/preprints202407.0428.v1>
- Sina, B., Demissie, H., & Rezene, Y. (2024). Assessment of the Constraints and Challenges in Avocado (*Persea Americana* Mill.) Production and Marketing in Southern Ethiopia. *International Journal of Fruit Science*, 24(1), 60–72. <https://doi.org/10.1080/15538362.2024.2317775>
- Thamarai selvi, G., Suthakar, B., Surendrakumar, A., Kavitha, R., & Masilamani, P. (2025). Tree fruit harvesting: Recent developments and future challenges for robotic harvesting. *Plant Science Today*, 12(sp3). <https://doi.org/10.14719/pst.8239>
- Vásconez, J. P., & Auat Cheein, F. A. (2022). Workload and production assessment in the avocado harvesting process using human-robot collaborative strategies. *Biosystems Engineering*, 223, 56–77. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.08.010>
- Velázquez-Torres, A. L., Martínez-Castañeda, F. E., Rogers-Montoya, N. A., Callejas-Juárez, N., & Hernandez, E.

- (2025). Economic analysis of avocado production systems: Market failures and policy distortions. *PLOS One*, 20(8), e0330326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330326>
- Widyastutik, Meliany, B. S., Amaliah, S., Hotsawadi, & Rifin, A. (2025). Linking global CGE models and sectoral analysis to evaluate the impact of trade openness in service sector towards indonesia agricultural and agroindustry. *Economies*, 13(7), 199. <https://doi.org/10.3390/economies13070199>
- Winarno, K., Sustiyo, J., Aziz, A. A., & Permani, R. (2025). Unlocking agricultural mechanisation potential in Indonesia: Barriers, drivers, and pathways for sustainable agri-food systems. *Agricultural Systems*, 226, 104305. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104305>
- Wulandari, E., Karyani, T., Ernah, & Alamsyah, R. T. P. (2023). What Makes Farmers Record Farm Financial Transactions? Empirical Evidence from Potato Farmers in Indonesia. *International Journal of Financial Studies*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.3390/ijfs11010019>
- Xu, Z., Shi, W., Zhao, D., Li, K., Li, J., Dong, J., Han, Y., Zhao, J., & Bai, Y. (2023). Research progress on low damage grasping of fruit, vegetable and meat raw materials. *Foods*, 12(18), 3451. <https://doi.org/10.3390/foods12183451>
- Zeeshan, S., Aized, T., & Riaz, F. (2024). In-Depth evaluation of automated fruit harvesting in unstructured environment for improved robot design. *Machines*, 12(3), 151. <https://doi.org/10.3390/machines12030151>
- Zeeshan, S., Aized, T., & Riaz, F. (2025). Analysis of the impact of damage rate on the performance of orange fruit harvesting robot. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(11), 103735. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103735>
- Zhang, J., Kang, N., Qu, Q., Zhou, L., & Zhang, H. (2024). Automatic fruit picking technology: A comprehensive review of research advances. *Artificial Intelligence Review*, 57(3). <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10674-2>
- Zhou, J., Song, X., & Karydis, K. (2024). Design of an End-effector with Application to Avocado Harvesting. 2024 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 1241–1246. <https://doi.org/10.1109/aim55361.2024.10637052>