

Implementasi *Smart Tree Tagging* Untuk Monitoring dan Pemeliharaan Pohon Alpukat Dalam Program Pemberdayaan Masyarakat

I Made Surya Kumara^{1*}, Gde Wikan Pradnya Dana², I Nengah Sinarta³, Depandi Enda⁴

^{1,2,3} Universitas Warmadewa
suryakumara@warmadewa.ac.id

⁴ Politeknik Negeri Bengkalis
depandienda@polbeng.ac.id

Abstrak

Desa Pempatan di Kabupaten Karangasem, Bali, memiliki potensi besar dalam budidaya alpukat, namun masih menghadapi kendala dalam pencatatan dan pemantauan tanaman yang sebagian besar dilakukan secara manual. Kondisi ini menyebabkan rendahnya efisiensi dan akurasi data dalam pengelolaan kebun. Program pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan digitalisasi pencatatan serta kemandirian petani melalui penerapan teknologi *Smart Tree Tagging* berbasis Barcode dan Near Field Communication (NFC) yang terintegrasi dengan Dashboard Smart Farm Warmadewa dan sistem kecerdasan buatan. Metode pelaksanaan meliputi lima tahapan: sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan, dan evaluasi keberlanjutan, dengan melibatkan 16 ketua kelompok tani sebagai responden utama. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam kemandirian pencatatan digital, di mana 56,25% responden yang sebelumnya belum melakukan pencatatan kini beralih menggunakan sistem digital, dan 25% di antaranya mampu mencatat secara mandiri. Sebanyak 31 unit *Smart Tree Tagging* berhasil dipasang pada pohon alpukat dengan integrasi data mikroklimat (suhu 16,98°C, kelembapan 93%, dan kecepatan angin 1,45 m/s). Model AI Gemma 3:1B menghasilkan rekomendasi adaptif terkait kesehatan pohon, penggunaan pestisida, serta pengelolaan lingkungan. Evaluasi menunjukkan 81,25% responden menilai sistem ini sangat membantu dalam efisiensi pencatatan dan transparansi data. Teknologi ini berpotensi direplikasi ke desa lain sebagai model pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Desa Pempatan, Alpukat, Pemberdayaan Masyarakat, *Smart Tree Tagging*, *Internet of Things*.

Abstract

Pempatan Village in Karangasem Regency, Bali, has great potential for avocado cultivation but still faces challenges in plant monitoring and recordkeeping, which are mostly conducted manually. This condition leads to low efficiency and data accuracy in farm management. This community service program aims to enhance farmers' digital literacy and independence in agricultural recordkeeping through the implementation of Smart Tree Tagging technology based on Barcode and Near Field Communication (NFC), integrated with the Smart Farm Warmadewa Dashboard and artificial intelligence systems. The implementation consisted of five stages: socialization, training, technology application, mentoring, and sustainability evaluation, involving 16 farmer group leaders as primary respondents. The results indicate a significant improvement in digital recording independence, where 56.25% of respondents who previously did not record farm data have now adopted digital systems, and 25% are able to record independently. A total of 31 Smart Tree Tagging units were installed on avocado trees, integrating microclimate data such as temperature (16.98°C), humidity (93%), and wind speed (1.45 m/s). The AI model Gemma 3:1B generated adaptive recommendations related to tree health, pesticide usage, and environmental management. Evaluation results show that 81.25% of respondents found the system highly beneficial in improving recording efficiency and data transparency. This technology has the potential to be replicated in other villages as a sustainable smart agriculture model for community empowerment.

Keywords: *Pempatan Village, Avocado, Community Empowerment, Smart Tree Tagging, Internet of Things.*

DOI:
<https://doi.org/10.47134/comdev.v6i1.1728>
*Correspondensi: I Made Surya Kumara
Email: suryakumara@warmadewa.ac.id

Received: 30-06-2025
Accepted: 30-07-2025
Published: 30-08-2025



Copyright: © 2025 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/>
).

I. PENDAHULUAN

Pohon alpukat memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan berpotensi menjadi komoditas unggulan di berbagai daerah di Indonesia (Adreina et al, 2022) (Septiadi & Sudjtmiko, 2023) (Widiyastuti & Priyono, 2024). Namun, permasalahan yang dihadapi oleh para petani dan pelaku usaha di sektor ini masih cukup kompleks. Salah satu tantangan utama adalah rendahnya tingkat pemantauan dan pemeliharaan pohon alpukat, yang berimbas pada rendahnya produktivitas dan kualitas hasil panen. Faktor lain yang berkontribusi terhadap permasalahan ini meliputi keterbatasan akses terhadap teknologi, kurangnya pencatatan data pertumbuhan pohon, serta kesulitan dalam melakukan identifikasi pohon secara efisien (Mendrofa et al, 2024) (Afriansyah & Womsiwor, 2022). Temuan serupa juga dilaporkan oleh Sihombing et al. (2024), Geng W. et al (2024), Aziz M (2023) dan Abdul Sakti et al. (2024), yang menyebutkan bahwa petani kecil di Indonesia masih mengalami kesulitan dalam menerapkan sistem monitoring digital secara berkelanjutan. Di banyak daerah, termasuk di wilayah mitra yang menjadi fokus kegiatan ini, pemantauan pohon alpukat masih dilakukan secara manual.



Gambar 1. Potensi Perkebunan Alpukat di Desa Pempatan, Karangasem

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), produksi alpukat nasional mencapai 874.046 ton per tahun, dengan tingkat produktivitas rata-rata 10,5 ton per hektar. Provinsi Bali menyumbang sekitar 3,6% dari total produksi nasional, dengan sentra utama berada di Kabupaten Bangli, Karangasem, dan Tabanan. Meskipun demikian, produktivitas alpukat di Bali masih tergolong rendah, yakni sekitar 6,8 ton per hektar, akibat keterbatasan pencatatan pertanian berbasis data dan penerapan teknologi modern (Dinas Pertanian Provinsi Bali, 2023). Para petani biasanya mengandalkan pengalaman subjektif dalam menentukan kondisi pohon, kesehatan tanaman, serta waktu yang tepat untuk melakukan pemupukan dan penyiraman (Mamilianti, 2020) (Effendy & Diantoro, 2020). Metode ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga rentan terhadap kesalahan, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan ketidakseimbangan dalam pemeliharaan pohon dan penurunan hasil produksi. Studi oleh Gadanakis Y. et al. (2015), Chebil A. (2019)

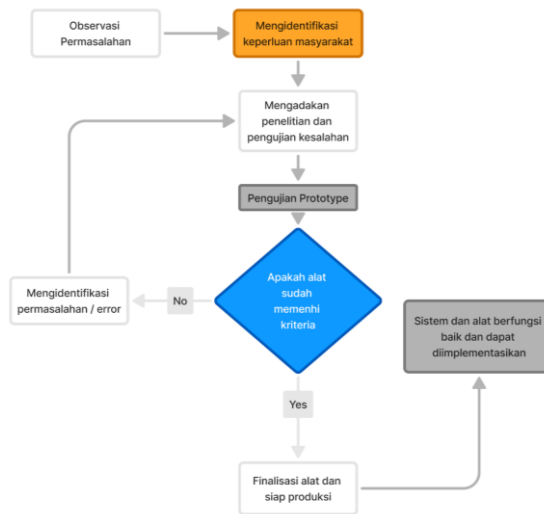
dan Begho T. et al. (2022) menunjukkan bahwa ketergantungan pada pengalaman subjektif sering kali menyebabkan inefisiensi penggunaan pupuk dan air.

Mitra yang terlibat dalam program ini adalah kelompok petani yang bergerak di bidang perkebunan alpukat. Berdasarkan survei awal, ditemukan bahwa sebagian besar petani masih menghadapi kesulitan dalam pencatatan data pertumbuhan pohon serta riwayat pemupukan dan penyiraman. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Basir M.d et al. (2024), Yeo M. et al (2024) dan Zhai Z. et al. (2020), yang menemukan bahwa kurangnya sistem pencatatan berbasis digital menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan manajemen pertanian. Selain itu, kurangnya akses terhadap teknologi monitoring yang canggih menyebabkan ketergantungan yang tinggi pada metode tradisional (Hasibuan, 2023; Hundal G. et al., 2023; Drewy J. et al, 2019). Kondisi eksisting mitra menunjukkan bahwa terdapat kebutuhan mendesak akan sistem yang dapat membantu mereka dalam mengelola perkebunan alpukat secara lebih efektif. Berdasarkan observasi awal menunjukkan bahwa petani mitra tidak memiliki sistem pencatatan yang terdigitalisasi. Hal ini berdampak pada kesulitan dalam melakukan perencanaan pemeliharaan jangka panjang, yang berimbas pada rendahnya efisiensi produksi (Simarmata et al, 2024) (Simamarta, 2024).

Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, perlu diimplementasikan teknologi yang dapat membantu petani dalam melakukan pemantauan dan pemeliharaan pohon secara lebih efektif. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah Warmadewa Smart Tree Tagging, sebuah sistem berbasis teknologi Barcode dan Near Field Communication (NFC) yang memungkinkan petani untuk mengakses informasi pohon secara instan hanya dengan menggunakan perangkat seluler. Teknologi serupa telah terbukti efektif dalam meningkatkan produktivitas pada tanaman hortikultura lainnya (Wan et al, 2019) (Yang et al, 2018) (Qian et al, 2015). Dengan sistem ini, setiap pohon akan diberi tag berupa Barcode dan NFC yang berisi data pertumbuhan, riwayat perawatan, serta rekomendasi pemeliharaan berbasis kecerdasan buatan. Secara spesifik, tujuan kegiatan ini mencakup: meningkatkan efisiensi monitoring pohon alpukat melalui penggunaan teknologi Barcode dan NFC untuk pencatatan data pertumbuhan dan perawatan pohon secara real-time; memfasilitasi petani dalam pengambilan keputusan berbasis data dengan menyediakan informasi yang akurat dan terstruktur mengenai kondisi pohon mereka; meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen melalui pemeliharaan yang lebih terencana dan terukur; serta meningkatkan literasi teknologi di kalangan petani dengan memberikan pelatihan mengenai penggunaan sistem Warmadewa Smart Tree Tagging.

II. METODE

Metode pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan utama, yaitu observasi permasalahan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi, serta keberlanjutan program. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan implementasi solusi dapat berjalan efektif dan memberikan manfaat jangka panjang bagi mitra sasaran. Ditunjukkan dengan Gambar No. 2.



Gambar 2. Alur metode pelaksanaan pengabdian

Pengabdian ini dilakukan melalui tahapan sistematis yang dijelaskan sebagai berikut

1) Sosialisasi Program

Tahap awal dimulai dengan mengobservasi permasalahan yang dihadapi oleh mitra. Proses ini mencakup diskusi dengan mitra untuk mengidentifikasi kebutuhan serta tantangan yang mereka hadapi. Informasi yang diperoleh kemudian dijadikan dasar dalam merancang solusi yang sesuai.



Gambar 3. Pelaksanaan sosialisasi tentang *smart tree tagging* kepada Desa Pempatan Karangasem

2) Pelatihan

Setelah sosialisasi dan peralatan sudah selesai dikerjakan, dilakukan pelatihan kepada mitra mengenai penggunaan teknologi atau metode baru yang akan diterapkan. Untuk mitra yang produktif secara ekonomi, pelatihan difokuskan pada bidang permasalahan yang dihadapi, seperti: Bidang Produksi dan Bidang Manajemen meliputi pelatihan tentang peningkatan efisiensi produksi dan keunggulan Smart Tree Tagging.



Gambar 4. Pelaksanaan sosialisasi tentang *smart tree tagging* kepada Desa Pempatan Karangasem

3) Penerapan Teknologi

Setelah tahap pelatihan, teknologi yang telah dikembangkan mulai diterapkan secara langsung di lapangan. Proses implementasi dilakukan melalui pemasangan dan penggunaan alat maupun sistem yang sebelumnya telah diuji pada tahap laboratorium. Selanjutnya, dilakukan pendampingan intensif oleh tenaga ahli untuk memastikan pengguna mampu mengoperasikan teknologi sesuai prosedur. Sebelum diterapkan secara lebih luas, dilakukan pula uji coba skala kecil pada kelompok sasaran terbatas untuk menilai efektivitas dan reliabilitas solusi yang ditawarkan. Tahapan ini menjadi dasar evaluasi sekaligus penyesuaian agar teknologi dapat diadaptasi secara optimal oleh masyarakat mitra.



Gambar 5. Prototype Smart Tree Tagging pada Pohon Alpukat

4) Pendampingan dan Evaluasi

Pada tahap ini dilakukan pendampingan intensif untuk memastikan mitra dapat menggunakan teknologi dengan optimal. Evaluasi dilaksanakan secara berkala guna mengidentifikasi kendala yang dihadapi serta merumuskan langkah perbaikan yang diperlukan. Evaluasi mencakup: (1) monitoring

efektivitas solusi melalui pengukuran indikator keberhasilan, (2) pengumpulan umpan balik dari mitra untuk penyempurnaan program, dan (3) penyesuaian strategi berdasarkan hasil evaluasi di lapangan.



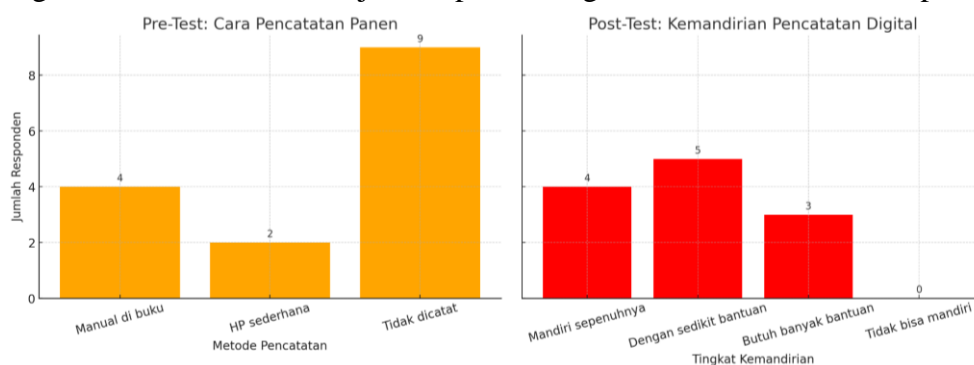
Gambar 6. Pendampingan dan Evaluasi smart tree tagging

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui efektivitas kegiatan pelatihan dan penerapan sistem Smart Tree Tagging di Desa Pempatan, dilakukan pengukuran melalui penyebaran kuesioner pre-test dan post-test kepada 16 ketua kelompok tani mitra. Kuesioner ini bertujuan untuk menilai perubahan tingkat pemahaman, kemampuan, dan kemandirian petani dalam melakukan pencatatan hasil panen serta pemanfaatan sistem digital setelah program diterapkan. Data yang diperoleh kemudian diolah dan divisualisasikan dalam bentuk diagram batang untuk mempermudah analisis perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah intervensi teknologi.

Analisis Sistem Pencatatan Digital dan Manfaat

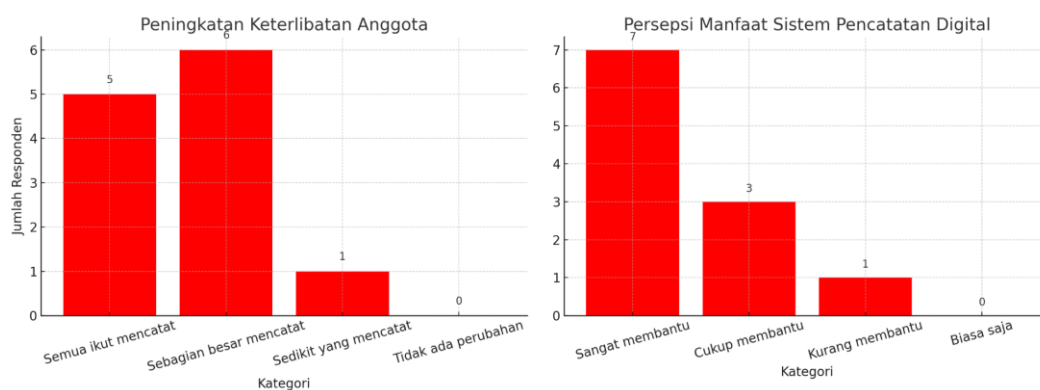
Pelaksanaan pre-test dan post-test dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan sistem Smart Tree Tagging dalam meningkatkan kemampuan pencatatan digital dan kemandirian petani di Desa Pempatan, Karangasem. Gambar 7. menunjukkan perbandingan cara dan kemandirian pencatatan



Gambar 7. Perbandingan cara dan kemandirian pencatatan

Hasil pre-test menunjukkan bahwa sebagian besar responden 56,25% masih belum melakukan pencatatan hasil panen, sementara hanya 25% orang yang menggunakan metode manual di buku, dan 12,5% orang yang menggunakan telepon genggam sederhana. Kondisi ini menggambarkan rendahnya tingkat digitalisasi dan kesadaran pencatatan data pertanian sebelum program diterapkan.

Setelah kegiatan pelatihan dan penerapan sistem Smart Tree Tagging, hasil post-test menunjukkan peningkatan dalam aspek kemandirian pencatatan digital. Sebanyak 25% responden mampu melakukan pencatatan secara mandiri tanpa bantuan, 31,25% responden mampu mencatat dengan sedikit bantuan, dan 18,75% responden masih memerlukan pendampingan intensif. Tidak ada responden yang menyatakan tidak mampu menggunakan sistem. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar petani telah mampu beradaptasi dengan teknologi baru, dengan tingkat kemandirian mencapai lebih dari 50% setelah program berjalan.



Gambar 8. Analisis sistem pencatatan digital: keterlibatan dan manfaat.

Hasil survei menunjukkan adanya peningkatan terhadap keterlibatan anggota kelompok tani setelah penerapan sistem Smart Tree Tagging. Sebanyak 31,25% responden menyatakan bahwa semua anggota kelompok tani ikut mencatat data hasil panen, sementara 37,5% responden menyebut bahwa sebagian besar anggota kelompok telah aktif melakukan pencatatan digital. Hanya 6,25% yang menyebut bahwa hanya sedikit anggota yang mencatat, dan tidak ada responden yang menyatakan tidak ada perubahan keterlibatan. Hal ini menegaskan bahwa sistem Smart Tree Tagging tidak hanya mempermudah proses pencatatan bagi ketua kelompok, tetapi juga mendorong partisipasi aktif anggota dalam dokumentasi hasil pertanian, yang menunjukkan adanya transformasi perilaku dari metode konvensional menuju keterlibatan kolektif dalam sistem digital. Selain itu, pada aspek persepsi terhadap manfaat sistem, mayoritas responden memberikan penilaian positif, di mana 43,75% menyatakan bahwa sistem Smart Tree Tagging sangat membantu dalam kegiatan pencatatan hasil panen, 18,75% menilai cukup membantu, dan hanya 6,25% (1 orang) yang menilai kurang membantu. Tidak ada responden yang menyatakan sistem ini biasa saja atau tidak membantu sama sekali. Hal ini menggambarkan bahwa penerapan sistem digital memberikan manfaat nyata dalam meningkatkan efisiensi pencatatan, kemudahan akses data, dan transparansi hasil produksi antar anggota kelompok tani. Persepsi positif ini juga menunjukkan tingkat penerimaan teknologi yang tinggi di kalangan petani, terutama karena sistem dinilai relevan dan mudah diadaptasikan dengan kebutuhan operasional sehari-hari.

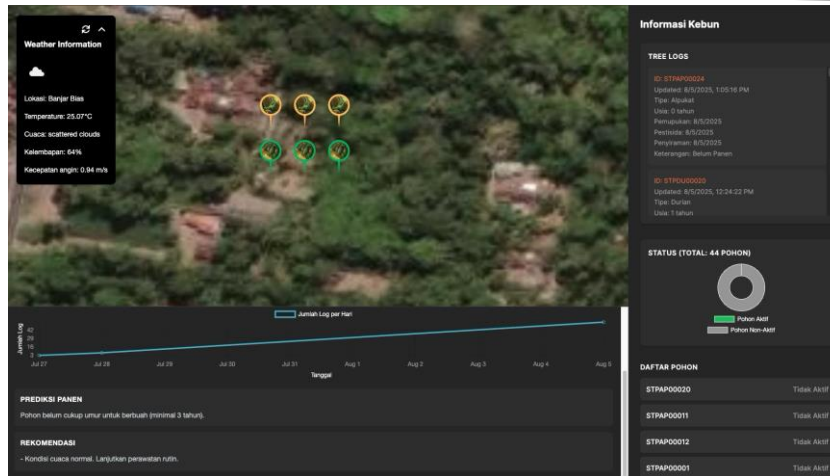
8 Rekomendasi AI terhadap hasil pencatatan

Berdasarkan hasil pencatatan (Tabel 1), diketahui bahwa usia pohon alpukat bervariasi antara 3 bulan hingga 4 tahun, seluruhnya berstatus “Belum Panen”, dengan riwayat penggunaan pestisida Imida Plus dan Mokosen pada 1 Mei 2025. Data mikroklimat menunjukkan suhu udara 16,98°C, kelembapan 93%, kecepatan angin 1,45 m/s, serta kondisi cuaca berawan sebagian.

Tabel 1. Hasil Pencatatan Smart Tree Tagging

Variabel	Keterangan
Jumlah tag yang dipasang	31 buah
Jenis Alpukat	Manalagi, Aligator, Lokal
Tanggal Pestisida Terakhir	1 Mei 2025
Keterangan	Belum Panen
Usia	3 bulan - 4 tahun
Jenis Pestisida	Imida Plus dan Mokosen
Temperatur	16.98°C
Kelembapan	93%
Kecepatan angin	1.45 m/s
Cuaca	Berawan sebagian

Data detail tanaman alpukat yang dicatat di Smart Tree Tagging oleh petani sehingga mendapatkan data-data diatas. Kemudian pada dashboard akan ditampilkan rekomendasi model AI yang dipergunakan yaitu model Gemma 3:1B. Dalam kegiatan pengabdian ini, digunakan model AI Gemma 3:1B untuk memberikan rekomendasi perawatan pohon alpukat berbasis data dari sistem Smart Tree Tagging. Pemilihan model ini bukan hanya karena performanya yang memadai, tetapi juga didasari oleh pertimbangan efisiensi, keberlanjutan, dan kemudahan implementasi di lapangan. Ukuran model yang relatif kecil memungkinkan pengolahan data dilakukan lebih ringan sehingga dapat dijalankan pada perangkat dengan spesifikasi menengah tanpa memerlukan server berkapasitas besar. Hal ini sangat penting dalam konteks pengabdian masyarakat di wilayah pedesaan, di mana infrastruktur teknologi dan akses internet berkecepatan tinggi masih terbatas.



Gambar 9. Tampilan Dashboard Smart Tagging

Berdasarkan data tersebut, AI model Gemma 3:1B menghasilkan beberapa rekomendasi pengelolaan pohon alpukat sebagai berikut:

1. Perhatikan Kondisi Kesehatan Pohon
 - a) Pada fase *belum panen*, penggunaan *Imida Plus* dan *Mokosen* perlu dikendalikan agar tidak berdampak negatif terhadap perkembangan buah.
 - b) Pohon disarankan dipantau secara berkala untuk mendeteksi gejala penyakit (bintik, bercak, daun menguning) maupun serangan hama (kutu, ulat).
 - c) Pemberian pupuk yang seimbang perlu dilakukan untuk memastikan kecukupan nutrisi.
 - d) Ventilasi lahan perlu ditingkatkan karena penyemprotan pestisida dapat mengurangi pencahayaan alami.
2. Optimalkan Kondisi Pertumbuhan
 - a) Suhu 16,98°C dikategorikan optimal bagi pertumbuhan dan pematangan alpukat. Kondisi ini perlu dipertahankan.
 - b) Kelembapan 93% mendukung perkembangan buah, namun ventilasi harus dijaga agar tidak menimbulkan kelembapan berlebih yang memicu penyakit jamur.
3. Perhatikan Faktor Angin
 - a) Kecepatan angin 1,45 m/s masih dalam kategori moderat dan menguntungkan untuk sirkulasi udara.
 - b) Pada area rawan petir, diperlukan proteksi tambahan sebagai langkah mitigasi.

Dengan demikian, integrasi Smart Tree Tagging dan rekomendasi dari AI model Gemma 3:1B menunjukkan potensi besar dalam mendukung pengambilan keputusan petani secara data-driven. Teknologi ini tidak hanya memudahkan pencatatan riwayat pemeliharaan, tetapi juga memberikan masukan adaptif yang dapat meningkatkan kesehatan pohon, produktivitas, serta keberlanjutan kebun alpukat secara keseluruhan.

IV. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat melalui penerapan Smart Tree Tagging yang terintegrasi dengan model AI Gemma 3:1B terbukti mampu memberikan manfaat nyata bagi petani alpukat di Desa Pempatan. Sistem ini memfasilitasi pencatatan digital yang akurat dan terstruktur, mencakup data usia pohon, status pertumbuhan, riwayat pestisida, serta kondisi mikroklimat seperti suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan cuaca. Data tersebut kemudian diolah secara cerdas oleh model AI untuk menghasilkan rekomendasi adaptif mengenai kesehatan pohon, kebutuhan nutrisi, serta pengelolaan pestisida dan lingkungan. Pemilihan model Gemma 3:1B yang berukuran ringan menjadikan sistem ini efisien, hemat sumber daya, dan mudah diimplementasikan di daerah pedesaan dengan keterbatasan infrastruktur.

Untuk mendukung keberlanjutan program, beberapa langkah strategis direkomendasikan. Pertama, perlu disusun skema perawatan alat dan sistem secara berkala, meliputi pengecekan tag NFC/barcode, kalibrasi sensor, serta pembaruan perangkat lunak secara terjadwal agar sistem tetap berfungsi optimal. Kedua, kegiatan ini memiliki potensi besar untuk direplikasi ke desa-desa lain yang memiliki karakteristik pertanian serupa, dengan pendekatan pelatihan dan pendampingan yang menyesuaikan kondisi sosial dan teknologinya. Ketiga, dibutuhkan kerja sama jangka panjang dengan Dinas Pertanian Kabupaten Karangasem atau instansi terkait, agar pengelolaan data hasil pertanian dapat terintegrasi dalam sistem monitoring pertanian daerah dan menjadi bagian dari kebijakan digitalisasi sektor pertanian.

Dengan dukungan kolaboratif antara perguruan tinggi, pemerintah daerah, dan kelompok tani, penerapan Smart Tree Tagging dapat menjadi model inovasi pertanian cerdas (smart agriculture) yang berkelanjutan, efisien, dan mampu meningkatkan kesejahteraan petani serta daya saing produk alpukat lokal di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Warmadewa, Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Universitas Warmadewa dan Desa Pempatan Karangasem Bali 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

- Adreina, S., Yoesdiarti, A., & Arsyad, A. (2022). Strategi Pengembangan Agribisnis Pembibitan Alpukat (*Persea Americana*) Di Kelurahan Sukahati Kecamatan Cibinong Kabupaten Bogor. *Jurnal Agribisains*, 8(2), 42–53. <https://doi.org/10.30997/jagi.v8i2.6439>
- Afriansyah, & Womsiwor, I. (2022). Analisis Faktor-Faktor Penghambat Pengembangan Kelompok Tani. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 1(2), 105–113. <https://doi.org/10.55606/jurrit.v1i2.834>

- Azis, M., & Suryana, E. A. (2023). Komparasi Dan Implementasi Kebijakan Digitalisasi Pertanian: Peluang Dan Tantangan. *Risalah Kebijakan Pertanian Dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian Dan Lingkungan*, 10(3), 179–198. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v10i3.51083>
- Bali, P. P. (2023, January 1). Produksi buah-buahan menurut jenisnya. Retrieved October 5, 2025, from Satu Data Indonesia Provinsi Bali website: <https://balisatudata.baliprov.go.id/laporan/produksi-buah-buahan-menurut-jenisnya?year=2021>
- 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>
- Begho, T., Eory, V., & Glenk, K. (2022). Demystifying risk attitudes and fertilizer use: A review focusing on the behavioral factors associated with agricultural nitrogen emissions in South Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.991185>
- Chebil, A., Souissi, A., Frija, A., & Stambouli, T. (2019). Estimation of the economic loss due to irrigation water use inefficiency in Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11), 11261–11268. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04566-8>
- Drewry, J. L., Shutske, J. M., Trechter, D., Luck, B. D., & Pitman, L. (2019). Assessment of digital technology adoption and access barriers among crop, dairy and livestock producers in Wisconsin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104960. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104960>
- Effendy, L., & Diantoro, R. (2020). Partisipasi Petani Dalam Penerapan Pemupukan Berimbang Padi Sawah Di Kecamatan Sindangwangi Majalengka. *AGRIEKSTENSIA*, 19(1). <https://doi.org/10.34145/agriekstensia.v19i1.587>
- Gadanakis, Y., Bennett, R., Park, J., & Areal, F. J. (2015). Improving productivity and water use efficiency: A case study of farms in England. *Agricultural Water Management*, 160, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.020>
- Geng, W., Liu, L., Zhao, J., Kang, X., & Wang, W. (2024). Digital technologies adoption and economic benefits in agriculture: A mixed-methods approach. *Sustainability*, 16(11), 4431. <https://doi.org/10.3390/su16114431>
- Hasibuan, M. R. R. (2023). Inovasi Teknologi Irigasi Dalam Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Air Dalam Pertanian. Center for Open Science. Retrieved from Center for Open Science website: <https://doi.org/10.31219/osf.io/svcuy>
- Hundal, G. S., Laux, C. M., Buckmaster, D., Sutton, M. J., & Langemeier, M. (2023). Exploring barriers to the adoption of internet of things-based precision agriculture practices. *Agriculture*, 13(1), 163. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010163>
- Julvin Saputri Mendrofa, Martirah Warni Zentrato, Nisiyari Halawa, Elias Elwin Zalukhu, & Natalia Kristiani Lase. (2024). Peran Teknologi dalam Meningkatkan Efisiensi Pertanian. *Tumbuhan : Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian Dan Ilmu Kehutanan*, 1(3), 01–12. <https://doi.org/10.62951/tumbuhan.v1i3.111>
- Mamilianti, W. (2020). Persepsi Petani Terhadap Teknologi Informasi Dan Pengaruhnya Terhadap Perilaku Petani Pada Risiko Harga Kentang. *Agrika*, 14(2), 125. <https://doi.org/10.31328/ja.v14i2.1390>
- Qian, J., Yang, X., Wu, X., Xing, B., Wu, B., & Li, M. (2015). Farm and environment information bidirectional acquisition system with individual tree identification using smartphones for orchard precision management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.003>

- Sakti, A. (2024). Optimasi Kinerja Sistem Komputer: Pendekatan Ilmiah untuk Meningkatkan Produktivitas Teknologi. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 2(2), 25–31. <https://doi.org/10.61132/neptunus.v2i2.84>
- Septiadi, D., & Sudjatmiko, D. P. (2023). Analisis Prospek Budidaya Alpukat Di Kecamatan Pringgasela Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Agrisistem: Seri Sosek Dan Penyuluhan*, 19(1), 34–39. <https://doi.org/10.52625/j-agr-sosekpenyuluhan.v19i1.264>
- Sihombing, M. T., Hubeis, M., & Cahyadi, E. R. (2024). Analisis Adopsi dan Penggunaan Aplikasi Pertanian Digital oleh Petani Skala Kecil di Kabupaten Tuban dengan Model UTAUT. *MANAJEMEN IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 19(2), 78–90. <https://doi.org/10.29244/mikm.19.2.78-90>
- Simarmata, G., Suwilo, S., Sitompul, O. S., & Sutarman, S. (2024). Strategic plant maintenance planning in agriculture by integrating lean principles and optimization. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14(6), 6279. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.pp6279-6286>
- Simarmata, G., Suwilo, S., Sutarman, & Sitompul, O. S. (2024). Plant maintenance planning model based on smart farming. *AIP Conference Proceedings*, 3029, 060005. AIP Publishing. Retrieved from <https://doi.org/10.1063/5.0191796>
- Statistik, B. P. (2023, January 1). Produksi Tanaman Buah-buahan. Retrieved from Badan Pusat Statistik website: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjIjMg==/produksi-tanaman-buah-buahan.html>
- Wan, X., Zheng, T., Cui, J., Zhang, F., Ma, Z., & Yang, Y. (2019). Near field communication-based agricultural management service systems for family farms. *Sensors*, 19(20), 4406. <https://doi.org/10.3390/s19204406>
- Widiyastuti, A., & Priyono, S. (2024). Pemberdayaan Warga Melalui Penanaman Buah Alpukat pada Lahan Kritis untuk Penghijauan dan Peningkatan Ekonomi di Desa Giriasih Purwosari Gunung Kidul. *IBSE Jurnal Pengabdian Masyarakatnya*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.62708/ibsejpm.v2i1.33>
- Yang, F., Wang, K., Han, Y., & Qiao, Z. (2018). A cloud-based digital farm management system for vegetable production process management and quality traceability. *Sustainability*, 10(11), 4007. <https://doi.org/10.3390/su10114007>
- Yeo, M. L., & Keske, C. M. (2024). From profitability to trust: Factors shaping digital agriculture adoption. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1456991>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>