

Pengembangan Smart Tree-Tagging Berbasis AIoT untuk Monitoring Pemeliharaan Pohon Alpukat

I Made Surya Kumara¹, I Kadek Agus Wahyu Raharja², I Made Adi Bhaskara³, Depandi Enda⁴, Ni Putu Widya Yuniari⁵

^{1,2,3}Teknik Komputer, Universitas Warmadewa
Jl. Terompong No.24, Denpasar, Indonesia

⁴Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Bengkalis
Jl. Bathin Alam, Bengkalis, Indonesia

⁵Teknik Komputer, Universitas Warmadewa
Jl. Terompong No.24, Denpasar, Indonesia

e-mail: suryakumara@warmadewa.ac.id¹, raharja.wahyu.agus.kadek@gmail.com²,
adibhaskara39@gmail.com³, depandienda@polbeng.ac.id⁴, widyayuniari2010@gmail.com⁵

Received : July, 2025

Accepted : August, 2025

Published : August, 2025

Abstract

Avocado cultivation often faces challenges in monitoring tree maintenance, particularly in achieving efficient irrigation, fertilization, and pest control. This study developed a Smart Tree Tagging system based on a Progressive Web App (PWA) integrated with NFC and barcode technologies to digitally and in real time document tree conditions and maintenance history. Each tree is assigned a unique tag that can be scanned using a mobile device to record data on fertilization, watering, pesticide spraying, and micro-environmental conditions. A field trial involving 31 avocado trees of various varieties (Manalagi, Aligator, and Local) in Pempatan Village, Bali, demonstrated that the system can accurately and consistently record data, display information through an interactive dashboard, and provide agronomic recommendations generated by the Gemma 3:1B AI model. These recommendations include growth monitoring, moisture-based irrigation management, pesticide effectiveness evaluation, and fungal disease prevention relevant to humid environmental conditions (93% humidity, 16.98 °C temperature). An evaluation of 16 farmer group leaders revealed a high level of interest (86.7%) in adopting the digital system, with most respondents finding the automatic record and time-filter features particularly useful. These findings indicate that the proposed system not only improves record-keeping efficiency but also promotes digital agriculture adoption and technological literacy among farmers.

Keywords: *avocado trees, progressive web application, artificial intelligence, crop monitoring, digital agriculture*

Abstrak

Pertanian alpukat sering menghadapi kendala dalam pemantauan pemeliharaan pohon, khususnya terkait penyiraman, pemupukan, dan pengendalian hama yang efisien. Penelitian ini mengembangkan sistem Smart Tree Tagging berbasis Progressive Web App (PWA) yang terintegrasi dengan teknologi NFC dan barcode untuk mendokumentasikan kondisi serta riwayat pemeliharaan pohon secara digital dan waktu nyata. Setiap pohon diberi tag unik yang dapat dipindai menggunakan perangkat seluler untuk mencatat data pemupukan, penyiraman, penyemprotan pestisida, serta kondisi lingkungan mikro. Uji coba dilakukan pada 31 pohon alpukat dari berbagai varietas (Manalagi, Aligator, dan Lokal) di Desa Pempatan, Bali, dan menunjukkan bahwa sistem mampu merekam data secara akurat dan konsisten, menampilkan informasi melalui dashboard interaktif, serta memberikan rekomendasi agronomis berbasis model AI Gemma 3:1B. Rekomendasi tersebut meliputi pemantauan pertumbuhan tanaman, manajemen irigasi berbasis kelembapan tanah, evaluasi efektivitas pestisida, serta pencegahan penyakit jamur yang relevan dengan kondisi lingkungan lembap (kelembapan 93%, suhu 16,98°C). Evaluasi terhadap 16 ketua kelompok tani menunjukkan tingkat ketertarikan yang tinggi (86,7%) dalam menggunakan sistem digital

ini, dengan mayoritas responden merasa terbantu oleh fitur rekap otomatis dan filter waktu. Hal ini membuktikan bahwa sistem yang diusulkan tidak hanya meningkatkan efisiensi pencatatan, tetapi juga mendorong adopsi pertanian digital dan literasi teknologi di kalangan petani.

Kata Kunci: pohon alpukat, aplikasi web progresif, kecerdasan buatan, pemantauan tanaman, pertanian digital

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor yang memiliki peran penting dalam perekonomian, terutama di negara agraris seperti Indonesia [1], [2]. Salah satu komoditas yang memiliki potensi ekonomi tinggi adalah alpukat [3], [4], [5]. Permintaan terhadap alpukat terus meningkat, baik di pasar lokal maupun internasional, karena kandungan gizinya yang tinggi serta manfaat kesehatannya. Namun demikian, dalam praktik budidaya alpukat, petani masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal pemeliharaan pohon, seperti penyiraman dan pemupukan yang optimal.

Salah satu kendala utama dalam pemeliharaan pohon alpukat adalah ketiadaan sistem pencatatan dan pemantauan kondisi pohon yang akurat dan sistematis. Hingga kini, banyak petani masih mengandalkan metode konvensional seperti buku catatan manual atau ingatan pribadi untuk mencatat jadwal penyiraman dan pemupukan [6], [7], [8]. Pendekatan ini sangat rentan terhadap kelalaian dan kesalahan pencatatan, yang dapat menyebabkan pohon mengalami stres akibat perlakuan yang tidak konsisten. Akibatnya, produktivitas pohon dapat menurun secara signifikan [9], [10].

Seiring berkembangnya teknologi digital, berbagai solusi berbasis teknologi informasi telah mulai diterapkan dalam bidang pertanian untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan. Salah satu pendekatan yang relevan untuk diterapkan adalah pengembangan sistem Smart Tree Tagging berbasis Progressive Web App (PWA). Sistem ini memungkinkan setiap pohon diberi tanda unik yang dapat dipindai menggunakan perangkat seluler, sehingga proses pencatatan dan pemantauan riwayat penyiraman, pemupukan, serta kondisi pohon dapat dilakukan secara digital, real-time, dan terstruktur. Data pemeliharaan yang dikumpulkan melalui pemindaian tag tersebut disimpan secara otomatis di sistem cloud, sehingga petani dapat mengaksesnya kapan saja menggunakan perangkat apa pun yang mendukung aplikasi

web. Dengan adanya sistem ini, diharapkan petani dapat mengelola pemeliharaan pohon alpukat dengan lebih terstruktur dan efisien. Selain itu, data yang dikumpulkan secara digital memungkinkan analisis pola pemeliharaan yang lebih baik, sehingga pengambilan keputusan dalam pertanian dapat lebih berbasis data (data-driven) [11].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dalam bidang pertanian, seperti penggunaan sensor tanah dan sistem otomatisasi irigasi untuk memantau kelembaban dan kebutuhan air tanaman. Namun, pendekatan tersebut umumnya memerlukan biaya investasi yang tinggi serta infrastruktur teknologi yang kompleks, sehingga kurang sesuai untuk diterapkan di tingkat petani kecil dan menengah di daerah rural. Novelty dari smart tree tagging ini terletak pada kebutuhan akan sistem monitoring yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah dioperasikan tanpa mengurangi akurasi serta kemampuan analisisnya. Sistem Smart Tree Tagging yang diusulkan menutup celah ini dengan memadukan teknologi identifikasi murah (NFC dan barcode) dengan kecerdasan buatan berbasis inferensi yang mampu memberikan rekomendasi agronomis secara kontekstual dan adaptif terhadap kondisi lapangan. Dengan demikian, pendekatan ini menawarkan solusi praktis yang menjembatani kesenjangan antara teknologi canggih dan keterjangkauan bagi petani kecil.

Keunggulan sistem ini tidak hanya terletak pada efisiensi pencatatan, tetapi juga pada integrasi dengan dashboard berbasis kecerdasan buatan, yang mampu menganalisis data historis pemeliharaan dan memberikan rekomendasi pemupukan dan penyiraman yang lebih presisi. Hal ini menghadirkan sebuah pendekatan data-driven agriculture yang mudah diakses oleh petani, namun tetap berbasis analitik dan prediktif.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem Smart Tree-Tagging berbasis AIoT untuk memonitor pemeliharaan pohon alpukat melalui pencatatan data lapangan, analisis kecerdasan buatan, dan visualisasi dalam

dashboard interaktif. Penelitian ini juga bertujuan menyediakan prediksi hasil panen, deteksi dini kesehatan pohon, serta rekomendasi pemeliharaan.

1.1 Tinjauan Pustaka

Budidaya alpukat menghadapi berbagai tantangan yang dapat mempengaruhi produktivitas dan kualitas hasil panen. Salah satu permasalahan utama adalah ketidaktepatan dalam penyiraman dan pemupukan, yang dapat menyebabkan pertumbuhan pohon yang tidak optimal, defisiensi nutrisi, serta menurunkan hasil panen. Selain itu, kurangnya sistem pencatatan dan pemantauan pohon secara real-time membuat petani kesulitan dalam menentukan waktu yang tepat untuk melakukan perawatan, sehingga berpotensi meningkatkan risiko gagal panen.

Faktor lingkungan seperti perubahan iklim, serangan hama, dan penyakit tanaman juga menjadi ancaman serius bagi kebun alpukat. Penyebaran penyakit seperti busuk akar akibat jamur *Phytophthora cinnamomi* sering kali sulit terdeteksi secara dini tanpa adanya sistem monitoring yang akurat. Selain itu, keterbatasan tenaga kerja dan efisiensi manajemen lahan juga menjadi kendala dalam mengoptimalkan hasil pertanian.

Dengan adanya teknologi Smart Tree-Tagging, diharapkan petani dapat lebih mudah dalam memantau kondisi setiap pohon secara lebih sistematis. Sistem ini memungkinkan pencatatan riwayat pemeliharaan, mendukung pengambilan keputusan berbasis data, serta meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan kebun alpukat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas implementasi sistem tagging pada tanaman dan pohon untuk meningkatkan efisiensi pemantauan dan pengelolaan kebun:

Penelitian oleh G.Binary et al. [12] Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan peternakan babi berbasis kode QR yang memungkinkan petani mengumpulkan data real-time mengenai pertumbuhan, kesehatan, dan produksi ternak, sehingga meningkatkan efisiensi dan profitabilitas.

Studi yang dilakukan oleh Y. Peng et al. [13] memperkenalkan metode pelacakan kualitas daging babi segar dalam rantai dingin menggunakan kode QR, yang bertujuan untuk mencapai rekam jejak dan penelusuran proses dari pertanian hingga meja konsumen

Penelitian oleh I. F. Astuti [14] penelitian ini mengembangkan sistem geolokasi berbasis Android untuk membantu pemantauan lahan kelapa sawit. Sistem ini memudahkan pengguna dalam mengetahui luas lahan dan jumlah pohon sawit, serta membantu navigasi di area perkebunan yang kompleks.

Kajian oleh A. N. Am, et al. [15] membahas pengembangan sistem monitoring truk pengangkut kelapa sawit menggunakan GPS dan platform web. Sistem ini memungkinkan pemantauan posisi truk secara real-time, meningkatkan efisiensi logistik dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

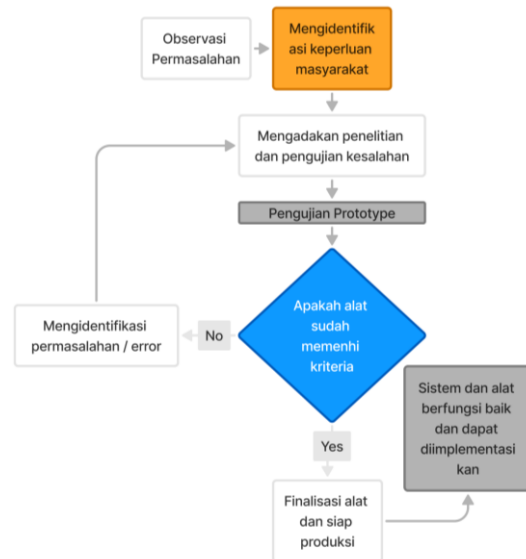
Penelitian oleh A. Stefano [16] mengkaji penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan teknologi drone dengan sensor visible dan inframerah untuk memantau kesehatan tanaman kelapa sawit. Pendekatan ini memungkinkan analisis luas kanopi dan identifikasi kondisi kesehatan tanaman secara efisien.

Pada sistem Smart Tree-Tagging berbasis barcode dan NFC, setiap pohon diberi identitas unik yang dapat dipindai menggunakan perangkat seperti smartphone, dengan data yang tersimpan dalam database cloud untuk memungkinkan akses dan pembaruan informasi secara real-time. Integrasi dengan dashboard analitik berbasis kecerdasan buatan mendukung deteksi pola pertumbuhan dan pemeliharaan tanaman, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan optimal [17]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem tagging digital mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan perkebunan dan memberikan informasi berbasis waktu nyata kepada petani [17]. Selain itu, studi-studi terkait implementasi AI dalam dashboard pertanian menunjukkan potensi analisis tren pertumbuhan dan kesehatan tanaman untuk meningkatkan produktivitas secara berkelanjutan [18]-[21]. Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada pengembangan sistem Smart Tree-Tagging yang tidak menggunakan sensor otomatis atau mikrokontroler, namun tetap dapat memberikan analisis presisi melalui pendekatan sederhana dan terjangkau. Sistem ini juga memperkenalkan fitur geotagging dan pemetaan digital kebun yang memberikan visualisasi distribusi dan status pohon dalam satu sistem terpusat. Dengan demikian, sistem ini menjadi solusi inovatif yang low-cost,

scalable, dan mendukung pertanian presisi berbasis data secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan secara dengan menerapkan Smart Tree Tagging, yaitu sistem yang memberikan identitas unik pada setiap pohon melalui tag (NFC atau barcode) yang dipindai oleh petani menggunakan web app secara langsung di lapangan. Data hasil panen seperti kondisi tanah, kesehatan daun, maupun pemupukan dicatat lalu dikirim ke server untuk disimpan dan diproses, kemudian dianalisis oleh kecerdasan buatan (*model AI Gemma 3:1B*) guna memprediksi hasil panen, mendeteksi anomali kesehatan, serta memberikan rekomendasi perawatan. Seluruh informasi divisualisasikan dalam dashboard AI berbasis web yang interaktif untuk menampilkan peta lokasi pohon, tren produksi, indikator kesehatan, serta laporan yang dapat diunduh, sehingga memudahkan monitoring dan pengambilan keputusan secara cepat dan akurat. Sebagai bagian dari evaluasi dan mekanisme umpan balik (feedback), dilakukan penyebaran kuesioner kepada 16 ketua kelompok tani di Desa Pempatan. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai tingkat kebermanfaatan sistem Smart Tree Tagging dan membandingkan efektivitas antara metode pencatatan lama (manual) dengan sistem pencatatan digital berbasis AIoT. Parameter penilaian mencakup kemudahan penggunaan, kecepatan pencatatan, akurasi data, serta peningkatan efisiensi dalam pemeliharaan pohon alpukat. Tahapan metode ini mencakup observasi permasalahan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi, hingga keberlanjutan program sebagaimana ditunjukkan pada Gambar No. 1.



Gambar 1. Alur metode pelaksanaan penelitian

2.1 Pengembangan Prototipe

Pada tahap desain, fokus utama adalah merancang sistem Smart Tree-Tagging yang berbasis tag unik sebagai identitas setiap pohon alpukat. Desain sistem mencakup struktur data, mekanisme pemindaian tag, serta integrasi dengan aplikasi berbasis web (Progressive Web App - PWA) untuk pencatatan manual penyiraman dan pemupukan. Selain itu, perancangan dashboard dilakukan untuk memungkinkan analisis tren kesehatan pohon berdasarkan data historis. Gambar 2 menunjukkan rancangan prototype produk. Pada tahap ini, aspek user experience (UX) dan user interface (UI) juga diperhatikan agar sistem mudah digunakan oleh petani, dengan tampilan sederhana namun informatif.



Gambar 2. Rancangan prototype produk

2.2 Pembuatan Software

Pembuatan perangkat lunak Smart Tree-Tagging dilakukan melalui pendekatan Software Development Life Cycle (SDLC) dengan model Prototype. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem secara bertahap berdasarkan umpan balik pengguna, sehingga memastikan perangkat lunak yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan petani dan pengelola kebun alpukat.

2.3 Tahap Implementasi

Pada tahap implementasi, langkah pertama adalah pembuatan prototipe awal dari sistem Smart Tree-Tagging, yang menggunakan tag unik sebagai identitas setiap pohon alpukat. Prototipe ini mencakup beberapa komponen utama, yaitu pembuatan dan pemasangan tag fisik pada pohon, pengembangan aplikasi berbasis web (PWA), serta integrasi database untuk penyimpanan data pemantauan pohon. Tag unik ini akan berisi kode identifikasi yang dapat dipindai menggunakan perangkat mobile, memungkinkan petani untuk mencatat dan memperbarui informasi terkait penyiraman, pemupukan, serta riwayat perawatan pohon. Sistem ini juga akan dirancang agar dapat berfungsi secara offline dengan fitur sinkronisasi data ke cloud ketika koneksi internet tersedia, sehingga tetap dapat digunakan di daerah perkebunan dengan akses jaringan yang terbatas.

Setelah pembuatan prototipe awal, dilakukan pengujian fungsional untuk memastikan bahwa setiap komponen sistem dapat beroperasi dengan baik, termasuk kemudahan pemindaian tag, kecepatan akses data, serta integrasi antara aplikasi dan database. Pengujian dilakukan dalam skala kecil

di lingkungan perkebunan alpukat untuk mengevaluasi efisiensi pencatatan data, pengalaman pengguna, serta efektivitas sistem dalam membantu petani mengelola tanaman. Umpan balik dari petani dan pemilik kebun akan dikumpulkan untuk menyempurnakan sistem sebelum implementasi dalam skala yang lebih luas. Jika diperlukan, tahap iterasi pengembangan akan dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan fungsionalitas sistem agar lebih akurat, efisien, dan mudah digunakan dalam pengelolaan perkebunan alpukat.

2.3 Metode Pengujian

Subjek penelitian dalam pengujian sistem Smart Tree-Tagging ini adalah pohon alpukat yang telah diberi tag unik, serta petani atau pengelola kebun alpukat yang akan menggunakan sistem tersebut. Pohon alpukat dipilih sebagai objek utama karena memiliki siklus pertumbuhan yang memerlukan pemantauan berkala terkait penyiraman dan pemupukan untuk meningkatkan hasil panen. Dalam penelitian ini, beberapa blok perkebunan alpukat dengan kondisi tanah dan iklim yang berbeda akan dijadikan lokasi uji coba guna mengamati efektivitas sistem dalam berbagai lingkungan.

Selain itu, partisipasi petani atau pengelola kebun sangat penting dalam pengujian ini. Mereka akan menggunakan sistem Smart Tree-Tagging untuk memindai tag unik, memperbarui data pemeliharaan pohon, serta mengakses informasi riwayat penyiraman dan pemupukan melalui aplikasi berbasis web. Pengujian ini akan mengevaluasi kemudahan penggunaan sistem, akurasi pencatatan data, serta dampaknya terhadap efisiensi manajemen perkebunan. Umpan balik dari pengguna akan dikumpulkan untuk menyempurnakan desain dan fungsionalitas sistem sebelum diimplementasikan dalam skala yang lebih luas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem smart tagging yang dikembangkan dalam penelitian ini secara umum terdiri atas dua komponen utama, yakni hardware berupa tag identitas (dengan teknologi NFC dan barcode) serta software berupa sistem informasi berbasis web Progressive Web App (PWA) yang berfungsi untuk monitoring dan pencatatan data tanaman. Integrasi kedua komponen ini bertujuan untuk memberikan kemudahan

dalam pencatatan data tanaman secara digital, cepat, dan akurat di lapangan

3.1 Proses Scanning dan Rekam Data

Pada sistem smart tagging yang dikembangkan, komponen hardware memiliki peran penting sebagai identitas fisik dari setiap pohon alpukat yang dipantau. Tag yang digunakan memanfaatkan dua teknologi utama, yaitu NFC (Near Field Communication) dan barcode (QR code), yang keduanya bertujuan untuk memfasilitasi proses identifikasi pohon secara cepat dan akurat di lapangan. Tag dicetak menggunakan bahan tahan air dan dilaminasi agar mampu bertahan dalam kondisi lingkungan kebun tropis, seperti hujan, panas, dan kelembapan tinggi. Tag NFC memungkinkan pemindaian tanpa sentuhan hanya dengan mendekatkan smartphone pada jarak 1 - 3 cm, dan terbukti sangat efisien karena proses scanning hanya membutuhkan waktu kurang dari 2 detik. Sebagai alternatif, barcode juga disediakan agar tetap dapat digunakan pada perangkat yang tidak mendukung NFC. Dalam uji coba lapangan di Kebun Alpukat Desa Pempatan, sebanyak 31 tag dipasang dan diuji secara langsung oleh petani, dengan hasil menunjukkan bahwa seluruh tag dapat terbaca dengan baik tanpa kendala teknis. Desain penempatan tag pun disesuaikan agar mudah dijangkau oleh petani namun tetap aman dari kerusakan akibat faktor lingkungan. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa aspek hardware dalam sistem smart tagging telah memenuhi kriteria ketahanan, kepraktisan, dan kemudahan penggunaan, serta memberikan dasar kuat untuk integrasi lebih lanjut dengan sistem monitoring digital berbasis web.



Gambar 3. Pemasangan Smart Tree Tagging pada Pohon Alpukat Kebun Desa Pempatan Bali

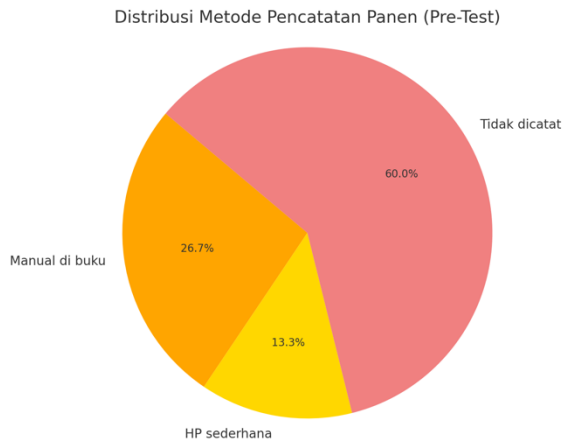
3.2 Pembahasan

Bagian ini membahas hasil implementasi dan evaluasi sistem Smart Tree Tagging berbasis AIoT pada kelompok tani di Desa Pempatan. Analisis difokuskan pada perubahan perilaku pencatatan petani sebelum dan sesudah penerapan sistem, serta tingkat kemandirian mereka dalam menggunakan aplikasi digital.

3.2.1 Analisis Persepsi Petani terhadap smart tree tagging

Berdasarkan hasil survei awal sebelum penerapan sistem Smart Tree Tagging, mayoritas petani belum melakukan pencatatan panen secara terstruktur. Sebanyak 60% responden tidak melakukan pencatatan sama sekali, 26,7% masih menggunakan buku manual, dan hanya 13,3% yang mencatat dengan HP secara sederhana (misalnya lewat catatan pesan atau aplikasi bawaan) ditunjukkan pada Gambar 4.

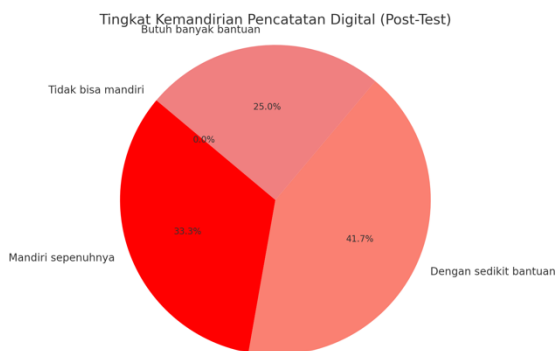
Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat digitalisasi pencatatan panen masih sangat rendah, dan proses dokumentasi yang dilakukan secara manual menyebabkan risiko kehilangan data, kesalahan pencatatan, serta tidak adanya riwayat panen yang dapat dianalisis lebih lanjut. Kondisi ini memperkuat kebutuhan akan sistem pencatatan digital yang sederhana, terintegrasi, dan mudah digunakan di lapangan seperti Smart Tree Tagging berbasis AIoT.



Gambar 4. Distribusi Metode Pencatatan Panen

Setelah pelatihan dan penerapan sistem Smart Tree Tagging, terjadi peningkatan signifikan dalam kemampuan petani melakukan pencatatan digital secara mandiri. Dari hasil post-test, sebanyak 33,3% responden telah mandiri sepenuhnya dalam melakukan pencatatan melalui web app, 41,7% mampu mencatat dengan sedikit bantuan, dan 25% masih memerlukan pendampingan intensif ditunjukkan pada Gambar 5. Menariknya, tidak ada responden yang sepenuhnya tidak bisa menggunakan sistem (0%), yang berarti semua peserta telah memahami dasar operasional aplikasi.

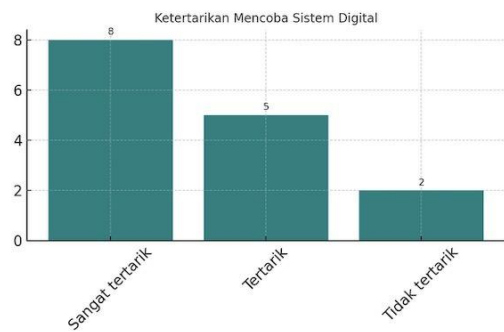
Hasil ini menandakan bahwa tingkat adopsi teknologi di kalangan petani meningkat pesat setelah diberikan pelatihan dan pendampingan. Selain itu, sistem Smart Tree Tagging terbukti mudah dipahami, tidak memerlukan perangkat tambahan, serta kompatibel dengan kondisi lapangan di daerah rural.



Gambar 5. Tingkat Kemandirian Pencatatan Digital

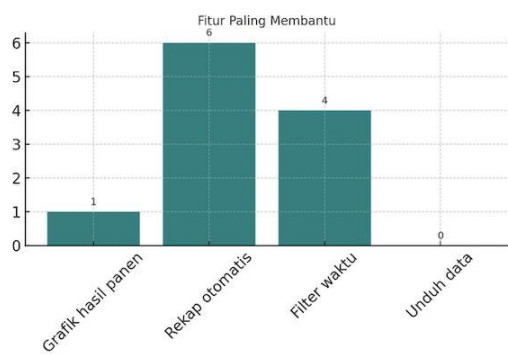
Gambar 6 menunjukkan tingkat ketertarikan petani untuk mencoba sistem Smart Tree Tagging berbasis digital tergolong sangat tinggi. Sebanyak responden (53,3%) menyatakan sangat tertarik, 5 responden (33,3%) tertarik, dan hanya 2 responden (13,3%) yang tidak tertarik.

Hasil ini menunjukkan bahwa lebih dari 85% petani memiliki minat positif terhadap penerapan sistem digital dalam proses pencatatan dan pemantauan tanaman.



Gambar 6. Tingkat ketertarikan system digital

Gambar 7. Menunjukkan hasil evaluasi terhadap fitur sistem menunjukkan bahwa "Rekap Otomatis" menjadi fitur yang paling membantu, dipilih oleh 6 responden (40%), diikuti oleh "Filter Waktu" sebanyak 4 responden (26,7%), dan "Grafik Hasil Panen" oleh 1 responden (6,7%). Tidak ada responden yang memilih fitur "Unduh Data" sebagai fitur paling membantu.

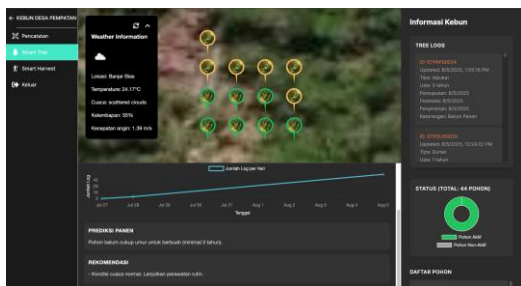


Gambar 7. Fitur yang paling membantu

3.2.2 Analisis Sistem dan Rekomendasi AI

Pada bagian ini yang ditunjukkan pada Gambar 6 mengenai antarmuka luaran dari sistem Smart Tagging berbasis PWA yang digunakan untuk monitoring kondisi pohon di Kebun Desa Pempatan. Tampilan utama berupa peta satelit yang menunjukkan lokasi aktual pohon yang telah ditandai menggunakan tag

(ditandai dengan lingkaran hijau). Di sisi kanan, terdapat panel Informasi Kebun yang menampilkan data detail dari pohon yang dipilih, seperti ID tag, jenis tanaman (Alpukat), usia pohon, serta tanggal pemupukan, penyiraman, dan penyemprotan pestisida. Panel ini juga dilengkapi grafik jumlah log per hari dan visualisasi status seluruh pohon dalam bentuk diagram donat, yang memudahkan pengguna memantau jumlah pohon aktif dan non-aktif secara real-time. Di sisi kiri, terdapat informasi cuaca terkini di lokasi kebun, termasuk suhu, kelembapan, cuaca, dan kecepatan angin, yang sangat relevan dalam mendukung pengambilan keputusan agronomis. Antarmuka ini merupakan bagian dari luaran sistem yang berfungsi menyajikan data secara visual, real-time, dan terintegrasi untuk memudahkan petani dan penyuluh dalam memantau kebun secara efisien.



Gambar 6. Tampilan dashboard smart tagging

Berdasarkan Tabel 1, implementasi sistem Smart Tree Tagging telah berhasil mencatat sebanyak 31 tag pohon alpukat yang tersebar di lokasi uji. Tiga varietas alpukat yang tercatat Manalagi, Aligator, dan Lokal menunjukkan keberagaman kultivar yang dikelola oleh petani, yang masing-masing memiliki karakteristik fisiologis dan kebutuhan agronomis yang berbeda. Variasi usia tanaman yang tercatat, yakni antara 3 bulan hingga 4 tahun, mencerminkan bahwa sistem tagging ini telah diimplementasikan pada pohon-pohon

dengan fase pertumbuhan yang heterogen, mulai dari fase vegetatif awal hingga mendekati fase produktif.

Catatan penting lainnya adalah bahwa seluruh pohon masih dalam status "Belum Panen", yang selaras dengan informasi tanggal terakhir penyemprotan pestisida pada 1 Mei 2025. Jenis pestisida yang digunakan, yakni Imida Plus dan Mokosen, merupakan kombinasi insektisida sistemik dan kontak yang umum digunakan untuk mengendalikan hama pada tanaman alpukat. Penggunaan kedua jenis ini menunjukkan penerapan prinsip pengendalian hama terpadu (integrated pest management), meskipun belum dapat disimpulkan efektivitas aplikasinya tanpa data lanjutan mengenai kondisi hama.

Dari sisi ekologi mikro, data cuaca menunjukkan suhu lingkungan sebesar 16,98°C dengan kelembapan tinggi (93%) dan kecepatan angin sebesar 1,45 m/s, serta kondisi langit yang berawan sebagian. Kondisi ini tergolong lembap dan mendukung potensi perkembangan patogen seperti *Colletotrichum* spp., penyebab penyakit antraknosa pada alpukat. Oleh karena itu, sistem rekomendasi yang menyarankan kewaspadaan terhadap kelembapan tinggi dan kemungkinan penyemprotan fungisida merupakan strategi adaptif yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Secara keseluruhan, data yang dicatat menunjukkan bahwa sistem Smart Tree Tagging tidak hanya mampu mengidentifikasi kondisi agronomis individual pohon secara akurat, tetapi juga mampu menyediakan konteks lingkungan mikro secara real-time yang relevan bagi pengambilan keputusan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan telah memenuhi sebagian besar kebutuhan fungsional yang diidentifikasi dalam studi awal, khususnya dalam hal pemantauan tanaman, pencatatan aktivitas, dan integrasi dengan data lingkungan eksternal.

Tabel 1: Hasil Pencatatan Smart Tree Tagging

No.	Variabel Data	Hasil
1	Jumlah tag yang dipasang	31 buah
2	Jenis Alpukat	Manalagi, Aligator, Lokal
3	Tanggal Pestisida Terakhir	1 Mei 2025
4	Keterangan	Belum Panen
5	Usia	3 bulan - 4 tahun
6	Jenis Pestisida	Imida Plus dan Mokosen
7	Temperatur	16.98°C

8	Kelembapan	93%
9	Kecepatan angin	1.45 m/s
10	Cuaca	Berawan sebagian

Dalam sistem AIoT yang dikembangkan, model bahasa Gemma 3:1B diintegrasikan sebagai modul inferensi untuk menghasilkan rekomendasi berbasis data lingkungan dan status pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil pencatatan dari Smart Tree Tagging dan data mikroklimat (Tabel 1), sistem mendeteksi bahwa mayoritas pohon alpukat masih berada pada fase vegetatif awal hingga generatif (usia 3 bulan-4 tahun), dengan kondisi lingkungan yang lembap (kelembapan 93%), suhu rendah (16,98°C), serta angin lemah dan cuaca berawan sebagian.

Model Gemma merekomendasikan beberapa tindakan kunci: (1) pemantauan pertumbuhan secara intensif untuk mendeteksi stres fisiologis, (2) manajemen irigasi berbasis kelembapan tanah untuk mencegah akumulasi air, (3) penundaan panen pada tanaman belum produktif, serta (4) evaluasi efektivitas pestisida dan kondisi tanah guna memastikan kesuburan optimal. Sistem juga menyarankan peningkatan sirkulasi udara dan pengamatan dini terhadap hama dan penyakit, khususnya jamur yang umum muncul dalam kondisi lembap. Untuk menjaga kestabilan kelembapan tanah, sistem merekomendasikan agar pengukuran dan penyelidikan kadar kelembapan dilakukan secara rutin sebanyak dua hingga tiga kali dalam rentang satu hingga dua minggu, tergantung pada kondisi cuaca dan fase pertumbuhan tanaman.

Sebagai langkah lanjutan, AI menganjurkan monitoring suhu dan kelembapan secara berkala serta penerapan loop feedback untuk mendukung proses pembelajaran adaptif sistem. Dengan demikian, sistem AIoT ini tidak hanya mampu merekam kondisi secara real-time, tetapi juga memberikan rekomendasi yang kontekstual dan berbasis data untuk mendukung pengambilan keputusan agronomis yang presisi.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart Tree Tagging berbasis AIoT yang mengintegrasikan tag NFC, barcode, dan aplikasi PWA berhasil diimplementasikan secara baik pada kebun alpukat di Desa Pempatan,

Karangasem. Sistem ini terbukti mampu melakukan identifikasi, pencatatan, dan pemantauan kondisi tanaman secara digital dan real-time, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pencatatan di lapangan.

Analisis data lapangan menunjukkan bahwa kelembapan tinggi mencapai 93% menjadi salah satu faktor lingkungan yang berpotensi memicu penyakit jamur pada daun dan buah alpukat, seperti Anthracnose dan Phytophthora Root Rot. Melalui integrasi modul inferensi Gemma 3:1B, sistem mampu memberikan rekomendasi agronomis yang kontekstual, meliputi pemantauan intensif pertumbuhan tanaman, pengaturan irigasi berbasis kelembapan, evaluasi efektivitas pestisida, serta tindakan pencegahan penyakit.

Selain peningkatan teknis, hasil evaluasi terhadap pengguna menunjukkan tingkat ketertarikan dan penerimaan yang tinggi dari petani terhadap sistem digital ini, dengan mayoritas responden menyatakan tertarik dan merasa terbantu oleh fitur rekap otomatis dan filter waktu. Hal ini membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya menjawab permasalahan pencatatan manual, tetapi juga meningkatkan literasi digital petani dan efisiensi manajemen kebun.

Secara keseluruhan, sistem Smart Tree Tagging berbasis AIoT berpotensi menjadi solusi praktis untuk pertanian presisi yang mampu beradaptasi terhadap kondisi mikroklimat dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut melalui penambahan sensor lingkungan, analitik prediktif yang lebih baik, serta mekanisme pembelajaran adaptif (feedback loop) untuk memperluas penerapannya pada komoditas hortikultura lainnya.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Universitas Warmadewa serta Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Universitas Warmadewa atas dukungan yang diberikan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Tim Smart Farm

Universitas Warmadewa atas kerja sama dan kontribusinya yang sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Hidayah, Y. Yulhendri, and N. Susanti, "Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian Negara Maju dan Negara Berkembang: Sebuah Kajian Literatur," *Jurnal Salingka Nagari*, vol. 1, no. 1, pp. 28–37, Jun. 2022, doi: 10.24036/jsn.v1i1.9.
- [2] M. N. Nadziroh, "Peran Sektor Pertanian Dalam Pertumbuhan Ekonomi Di Kabupaten Magetan," *Jurnal Agristan*, vol. 2, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.37058/ja.v2i1.2348.
- [3] D. Septiadi and D. P. Sudjatmiko, "Analisis Prospek Budidaya Alpukat Di Kecamatan Pringgasela Kabupaten Lombok Timur," *Jurnal Agrisistem: Seri Sosek dan Penyuluhan*, vol. 19, no. 1, pp. 34–39, Jul. 2023, doi: 10.52625/j-agr-sosekpenyuluhan.v19i1.264.
- [4] Septi Kalian Sari, Ekanopi Aktiva, and Sri Rahayu Endang Lestari, "Pendapatan dan kelayakan usahatani padi sawa irigasi di desa Galang tinggi kecamatan Mekakau Ilir kabupaten Ogan Komering ulu selatan Provinsi Sumatera Selatan," *TRISEPA : Jurnal Sosial Ekonomi Dan Agribisnis*, vol. 1, no. 1, pp. 09–13, Jan. 2024, doi: 10.52333/trisepa.v1i1.381.
- [5] A. Afriyadi, E. K. Saputra, M. F. Ramadhan, and O. Dinata, "Permata : Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Melalui Tanaman Alpukat Di Desa Air Glubi," *Journal of Maritime Empowerment*, vol. 5, no. 1, pp. 5–11, Nov. 2022, doi: 10.31629/jme.v5i1.5431.
- [6] Fira Ria Sutardi, Lalu Delsi Samsumar, and Muh Nasirudin Karim, "Sistem Monitoring Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Bunga Aglaonema Berbasis Internet Of Thing (Iot)," *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science*, vol. 1, no. 4, pp. 241–248, Oct. 2024, doi: 10.70248/jdaics.v1i4.1388.
- [7] Ayuni, Lalu Delsi Samsumar, Zaenudin, Ahmad Subki, and Ardiyallah Akbar, "Pemanfaatan Teknologi Iot Dalam Sistem Pemupukan Otomatis Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Produktivitas Tanaman Tembakau," *Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 170–183, Oct. 2024, doi: 10.55537/cosie.v3i4.933.
- [8] S. Dwiyatno, E. Krisnaningsih, D. Ryan Hidayat, and Sulistiyono, "S Smart Agriculture Monitoring Penyiraman Tanaman Berbasis Internet Of Things," *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 38–43, May 2022, doi: 10.30656/prosisko.v9i1.4669.
- [9] A. S. Mahdya, T. Nurmala, and Y. Yuwariah, "Pengaruh frekuensi penyiraman terhadap pertumbuhan, hasil, dan fenologi tanaman hanjeli ratun di dataran medium," *Kultivasi*, vol. 19, no. 3, Dec. 2020, doi: 10.24198/kultivasi.v19i3.26945.
- [10] fasal A. Firmansyah and T. Islami, "Pengaruh Konsentrasi dan Frekuensi Aplikasi Pupuk Organik Cair (POC) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) Varietas Anjasmoro," *Produksi Tanaman*, vol. 011, no. 12, pp. 887–897, Dec. 2023, doi: 10.21776/ub.protan.2023.011.12.02.
- [11] I. Tsoumas et al., "Evaluating Digital Agriculture Recommendations with Causal Inference," *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 37, no. 12, pp. 14514–14522, Jun. 2023, doi: 10.1609/aaai.v37i12.26697.
- [12] G. Binay, C. Anongos, Ma. A. Manayon, and J. Robles, "eSwine Farming: A QR Code-Driven Monitoring System for Improve Efficiency and Profitability," *Diversitas Journal*, vol. 9, no. 1_Special, Mar. 2024, doi: 10.48017/dj.v9ispecial1.2866.
- [13] Y. Peng, L. Zhang, Z. Song, J. Yan, X. Li, and Z. Li, "A QR code based tracing method for fresh pork quality in cold chain," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 41, no. 4, Mar. 2018, doi: 10.1111/jfpe.12685.
- [14] I. F. Astuti, F. N. Ahmad, D. Cahyadi, Rosmasari, A. H. Kridalaksana, and R. Andrea, "Geolocation untuk Lahan Kelapa Sawit Berbasis Android," *Buletin Poltanesa*, vol. 23, no. 1, Jun. 2022, doi: 10.51967/tanesa.v23i1.1288.
- [15] A. N. Am, A. Pribadi, and F. Fitri, "Sistem Monitoring Truk Kelapa Sawit Menggunakan Gps Tracking Berbasis Website," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*, vol. 5, no. 2, pp. 60–68, Nov. 2022, doi: 10.37792/jukanti.v5i2.533.

- [16] A. Stefano, "Pemanfaatan GIS (Geographic Information System) untuk Memonitor Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit," *Buletin Loupe*, vol. 15, no. 02, p. 17, Feb. 2020, doi: 10.51967/buletinloupe.v15i02.35.
- [17] J. Isabel and I. A. Mastan, "Aplikasi Pengelolaan Perkebunan dan Sistem Ketertelusuran dengan Pemanfaatan QR Code pada Perkebunan Jambu Biji Merah CV. Insan Mutiara Perdana (Depok Organik)," *Risenologi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, Apr. 2024, doi: 10.47028/risenologi.v9i1.650.
- [18] D. E. Saputri and M. G. Alting, "Penggunaan AI (Artificial Intelligence) dalam Pendidikan Islam di Indonesia," *Al-Kharaj: Jurnal Ekonomi, Keuangan & Bisnis Syariah*, vol. 7, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.47467/alkharaj.v7i1.4114.
- [19] M. Riyadi, "Sistem Cerdas Untuk Monitoring Pengukuran Suhu Dan Kelembapan Tanah Pada Tanaman Cabai Berbasis Internet Of Things (IOT) Menggunakan Aplikasi Telegram," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 2, p. 105, Jun. 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.008.
- [20] L. P. Deviana and S. Styawati, "Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Sawi Menggunakan Artificial Intelligence Pada Aquaponik," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 9, no. 3, pp. 306–314, Dec. 2024, doi: 10.30591/jpit.v9i3.5897.
- [21] A. Hafiz and V. Verawati, "Sistem Pakar Penyakit Buah Kakao Untuk Peningkatan Hasil Panen Kakao Menggunakan Metode Case Base Reasoning (Cbr) Berbasis Web Mobile," *Jurnal Informasi dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 89–94, Oct. 2021, doi: 10.35959/jik.v9i2.226.