

Pertanian Cerdas: Deteksi Serangga Bermanfaat bagi Pertanian dan Perkebunan Mendukung Ketahanan Pangan Nasional di Indonesia

Ameilia Zuliyanti Siregar*

Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara

*Korespondensi email: ameilia@usu.ac.id

Abstrak

Smart Farming menggunakan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi dan hasil panen. Permasalahan yang teridentifikasi ketika penggunaan smart farming adalah iklim tidak menentu, krisis regenerasi petani, degradasi lahan, pemborosan sumber daya, serangan hama mendadak: Deteksi terlambat memicu gagal panen total. Tujuan penelitian di Desa Aek Parira pada bulan Januari hingga Maret 2026 adalah optimasi hasil panen, efisiensi biaya operasional dengan mengurangi pemakaian air, pupuk, dan tenaga kerja, keberlanjutan lingkungan, transparansi data, mitigasi risiko gagal panen. Penggunaan Smart Farming di Bidang Pertanian, seperti: Sensor tanah IoT, sistem irigasi otomatis, drone pemetaan, aplikasi prediksi cuaca melalui lokasi Icare, SmartFram Indonesia, Green Harvest, Agrigrow, Fresh Field, Pest Guard, Sipatuh, dan Tani Cerdas. Penggunaan di Bidang Perkebunan melalui drone sprayer, panen berbasis robotik, sensor pelacak pohon, dan sistem pelacakan barcode dalam bentuk aplikasi Habibii Garden, Plantation Smart, Agro Estate, Palm Care, Cacao Future, Estate Grow, Green Plantation, dan Nusantara Plantation. Penggunaan di bidang ketahanan pangan dapat menghitung prediksi stok nasional, silo penyimpanan pintar, sistem peringatan dini, dan ketertelusuran blockchain yang dapat menjamin keamanan pangan dari manipulasi pasar.

Kata kunci: Pertanian cerdas, Deteksi serangga, Pertanian, Perkebunan, Ketahanan pangan

Abstract

Smart Farming uses digital technology to increase efficiency and crop yields. Problems identified when using smart farming are uncertain climate, farmer regeneration crisis, land degradation, resource waste, sudden pest attacks: Late detection triggers total crop failure. The objectives of the research in Aek Parira Village from January to March 2026 are crop yield optimization, operational cost efficiency by reducing water, fertilizer, and labor usage, environmental sustainability, data transparency, and crop failure risk mitigation. The use of Smart Farming in Agriculture, such as: IoT soil sensors, automatic irrigation systems, mapping drones, weather prediction applications through Icare locations, SmartFram Indonesia, Green Harvest, Agrigrow, Fresh Field, Pest Guard, Sipatuh, and Smart Farmers. Use in the Plantation Sector through drone sprayers, robotic-based harvesting, tree tracking sensors, and barcode tracking systems in the form of Habibii Garden, Plantation Smart, Agro Estate, Palm Care, Cacao Future, Estate Grow, Green Plantation, and Nusantara Plantation applications. Applications in the food security sector include calculating national stock predictions, smart storage silos, early warning systems, and blockchain traceability, which can ensure food security from market manipulation.

Keywords: Smart farming, Insect detection, Agriculture, Plantation, Food security

PENDAHULUAN

Sektor pertanian dan perkebunan memiliki peranan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional Indonesia karena sektor ini menjadi sumber utama penyediaan bahan pangan bagi masyarakat (Savelli et al., 2021). Pertanian juga berfungsi sebagai sumber penghidupan bagi masyarakat pedesaan, khususnya bagi petani kecil yang menggantungkan pendapatan pada hasil produksi lahan (Tamimi, 2024). Namun, sektor pertanian masih menghadapi berbagai tantangan, seperti serangan hama, perubahan iklim, keterbatasan teknologi, penggunaan pestisida berlebihan, serta rendahnya efisiensi produksi (Hasyim, 2025). Oleh karena itu, pendekatan smart farming menjadi penting karena mampu mengintegrasikan teknologi digital, Internet of Things, artificial intelligence, machine learning, big data, dan computer vision untuk mendukung pengambilan keputusan pertanian yang lebih cepat, akurat, dan efisien (Rasyid, 2024). Penerapan smart farming juga dinilai mampu membantu meningkatkan produktivitas pertanian dan memperkuat ketahanan pangan nasional melalui pengelolaan lahan berbasis data (Tamimi, 2024).

Dalam ekosistem pertanian, serangga tidak selalu merugikan tanaman karena beberapa jenis serangga memiliki peran ekologis yang penting bagi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Chakrabarty et al., 2024). Serangga bermanfaat dapat berperan sebagai penyerbuk, predator alami, parasitoid, serta indikator keseimbangan ekosistem pertanian (Ratnayake et al., 2021a). Lebah sebagai serangga penyerbuk membantu proses penyerbukan yang berpengaruh terhadap pembentukan buah dan biji pada berbagai tanaman pertanian (Ratnayake et al., 2021b). Selain itu, predator alami dan parasitoid dapat membantu menekan populasi hama sehingga penggunaan pestisida kimia dapat dikurangi (Chakrabarty et al., 2024). Oleh sebab itu, sistem pertanian modern perlu mampu membedakan antara serangga hama dan serangga bermanfaat agar tindakan pengendalian hama tidak merusak keseimbangan lingkungan (Teixeira et al., 2023).

Perkembangan teknologi deteksi serangga berbasis smart farming memberikan peluang besar dalam pengelolaan pertanian yang lebih berkelanjutan (Kiobia et al., 2023). Teknologi seperti kamera digital, perangkat otomatis, sensor Internet of Things, deep learning, dan computer vision dapat digunakan untuk mengenali jenis serangga di lahan pertanian secara otomatis (Teixeira et al., 2023). Sistem deteksi berbasis artificial intelligence dapat membantu mengklasifikasikan serangga berdasarkan bentuk, ukuran, pola tubuh, dan ciri visual lainnya (Popescu et al., 2023). Dengan teknologi tersebut, petani

dapat memperoleh informasi mengenai keberadaan hama maupun serangga bermanfaat secara lebih cepat dan akurat (Venkateswara et al., 2025). Informasi tersebut penting agar penggunaan pestisida dapat dikurangi dan pengendalian hama dapat dilakukan secara lebih selektif sesuai kondisi lahan (Kiobia et al., 2023).

Program pertanian seperti ICARE, SmartFarm Indonesia, Green Harvest, AgriGrow, Pest Guard, Fresh Field, SIPATUH, dan Tani Cerdas dapat dikembangkan sebagai bentuk penerapan smart farming dalam bidang pertanian (Rasyid, 2024). Program ICARE dapat diarahkan pada pengendalian hama terpadu yang memanfaatkan teknologi deteksi serangga untuk membedakan hama dan serangga bermanfaat (Chakrabarty et al., 2024). Program SmartFarm Indonesia dapat difokuskan pada digitalisasi pertanian melalui pemanfaatan IoT, AI, sensor, dan data digital dalam pengambilan keputusan pertanian (Kiobia et al., 2023). Program Green Harvest dan AgriGrow dapat mendukung peningkatan hasil pertanian berkelanjutan dengan menjaga keseimbangan ekosistem dan mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia (Hasyim, 2025). Program Pest Guard dan SIPATUH dapat diarahkan pada perlindungan tanaman serta edukasi deteksi hama berbasis teknologi digital (Teixeira et al., 2023). Sementara itu, program Tani Cerdas dapat berperan sebagai program edukasi dan penyuluhan teknologi pertanian bagi petani agar mampu memahami serta menerapkan smart farming di lapangan (Tamimi, 2024). Konsep program-program tersebut sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa AI, IoT, deep learning, dan computer vision dapat membantu deteksi serangga serta pengelolaan hama secara lebih efektif dan berkelanjutan (Chakrabarty et al., 2024; Kiobia et al., 2023; Teixeira et al., 2023).

Selain pada sektor pertanian pangan, smart farming juga dapat diterapkan dalam sektor perkebunan karena teknologi digital mampu membantu pemantauan lahan, tanaman, dan organisme pengganggu secara lebih efisien (Rasyid, 2024). Program Habibi Garden, Plantation Smart, AgroEstate, PalmCare, Cocoa Future, Green Plantation, Estate Grow, dan Nusantara Plantation dapat dikembangkan untuk mendukung pengelolaan perkebunan yang modern, produktif, dan berkelanjutan (Savelli et al., 2021). Perkebunan kelapa sawit, kakao, kopi, dan komoditas lokal lainnya membutuhkan sistem pemantauan serangga untuk mengetahui keberadaan hama maupun serangga bermanfaat di lingkungan kebun (Kiobia et al., 2023). Deteksi dini organisme pengganggu tanaman pada sektor perkebunan penting dilakukan agar kerusakan tanaman dapat dicegah sebelum menurunkan produktivitas secara signifikan (Popescu et al., 2023). Penerapan teknologi smart farming dalam

perkebunan juga dapat mendukung efisiensi produksi, konservasi lahan, dan adaptasi terhadap perubahan iklim (Hasyim, 2025). Dengan demikian, integrasi smart farming pada program perkebunan dapat memperkuat sistem produksi yang lebih tangguh dan berkelanjutan (Savelli et al., 2021).

Rumusan masalah dalam studi literatur ini mencakup empat hal utama yang berkaitan dengan smart farming, deteksi serangga bermanfaat, dan ketahanan pangan nasional (Tamimi, 2024). Permasalahan pertama adalah bagaimana konsep smart farming dapat digunakan untuk mendeteksi serangga bermanfaat pada sektor pertanian dan perkebunan (Teixeira et al., 2023). Permasalahan kedua adalah bagaimana serangga bermanfaat berperan dalam mendukung produktivitas tanaman melalui penyerbukan, pengendalian hama alami, dan keseimbangan ekosistem (Ratnayake et al., 2021b). Permasalahan ketiga adalah bagaimana program pertanian dan perkebunan dapat diintegrasikan dengan teknologi deteksi serangga berbasis IoT, artificial intelligence, deep learning, dan computer vision (Kiobia et al., 2023). Permasalahan keempat adalah bagaimana deteksi serangga bermanfaat melalui smart farming dapat berkontribusi terhadap ketahanan pangan nasional Indonesia melalui peningkatan produktivitas dan pengurangan penggunaan pestisida kimia (Chakrabarty et al., 2024).

Tujuan penulisan studi literatur ini adalah untuk mengkaji peran smart farming dalam mendeteksi serangga bermanfaat di sektor pertanian dan perkebunan (Teixeira et al., 2023). Tulisan ini juga bertujuan untuk menganalisis hubungan antara deteksi serangga bermanfaat dan pengendalian hama ramah lingkungan dalam sistem pertanian modern (Chakrabarty et al., 2024). Selain itu, studi ini bertujuan untuk menjelaskan bagaimana keberadaan serangga bermanfaat dapat mendukung peningkatan produktivitas tanaman melalui proses penyerbukan dan pengendalian hama alami (Ratnayake et al., 2021b). Studi ini juga bertujuan untuk mengaitkan hasil kajian dari 15 jurnal dengan program pertanian dan perkebunan yang telah dirancang sebagai model pengembangan pertanian digital berkelanjutan (Tamimi, 2024). Dengan demikian, tujuan akhir dari studi ini adalah memberikan gambaran bahwa deteksi serangga bermanfaat melalui smart farming dapat menjadi salah satu strategi pendukung ketahanan pangan nasional Indonesia (Savelli et al., 2021).

Manfaat studi literatur ini adalah memberikan gambaran konseptual mengenai penerapan smart farming dalam pengelolaan serangga pada ekosistem pertanian dan perkebunan (Rasyid, 2024). Bagi petani, kajian ini dapat menjadi dasar edukasi bahwa

tidak semua serangga di lahan harus dimusnahkan karena sebagian serangga memiliki fungsi penting sebagai penyerbuk dan musuh alami hama (Ratnayake et al., 2021a). Bagi pemerintah dan penyuluh pertanian, kajian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam merancang program pertanian berbasis teknologi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Tamimi, 2024). Bagi akademisi, kajian ini dapat menjadi dasar penelitian lanjutan mengenai sistem deteksi serangga bermanfaat yang sesuai dengan kondisi agroekosistem Indonesia (Hasyim, 2025). Selain itu, studi ini juga bermanfaat sebagai acuan dalam mengembangkan program pertanian dan perkebunan digital yang mendukung produktivitas, keberlanjutan lingkungan, dan ketahanan pangan nasional (Savelli et al., 2021).

METODE

Metode kajian ini menggunakan studi literasi dari 15 jurnal untuk mengkaji berbagai hasil penelitian yang relevan dengan smart farming dan deteksi serangga bermanfaat (Teixeira et al., 2023). Studi literatur dilakukan dengan mengkaji 15 jurnal dan artikel ilmiah yang membahas smart farming, deteksi serangga, beneficial insects, artificial intelligence, Internet of Things, computer vision, deep learning, pertanian berkelanjutan, climate-smart agriculture, dan ketahanan pangan (Kiobia et al., 2023). Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan kesesuaian dengan topik utama, yaitu deteksi serangga bermanfaat dalam pertanian cerdas untuk mendukung ketahanan pangan Indonesia (Tamimi, 2024). Pemilihan metode studi literatur dianggap sesuai karena penelitian ini bertujuan mengumpulkan, membandingkan, dan menganalisis berbagai temuan ilmiah yang sudah ada (Teixeira et al., 2023).

Sumber literatur dalam studi ini terdiri atas artikel ilmiah internasional, kajian sistematis, artikel jurnal nasional, serta laporan ilmiah yang relevan dengan smart farming dan pertanian berkelanjutan (Savelli et al., 2021). Literatur tentang deteksi serangga digunakan untuk menjelaskan dasar teknologi identifikasi serangga berbasis kamera, deep learning, computer vision, dan Internet of Things (Kiobia et al., 2023). Literatur tentang pollinator monitoring digunakan untuk menjelaskan pentingnya serangga bermanfaat sebagai penyerbuk dalam mendukung produktivitas tanaman (Ratnayake et al., 2021a). Literatur tentang smart farming di Indonesia digunakan untuk menggambarkan perkembangan digitalisasi pertanian dan tantangan penerapannya di tingkat petani (Tamimi, 2024). Sementara itu, literatur tentang climate-smart agriculture digunakan untuk menghubungkan teknologi pertanian dengan adaptasi perubahan iklim dan ketahanan pangan nasional (Hasyim, 2025).

Data dalam studi literatur ini dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif-kualitatif untuk menjelaskan hubungan antara smart farming, deteksi serangga bermanfaat, dan ketahanan pangan nasional (Rasyid, 2024). Setiap jurnal dianalisis berdasarkan fokus penelitian, teknologi

yang digunakan, hasil temuan, dan relevansinya dengan program pertanian serta program perkebunan (Kiobia et al., 2023). Analisis terhadap jurnal berbasis teknologi dilakukan untuk memahami bagaimana artificial intelligence, deep learning, IoT, dan computer vision dapat digunakan dalam mendeteksi serangga di lahan pertanian (Popescu et al., 2023). Analisis terhadap jurnal tentang serangga penyerbuk dilakukan untuk memahami peran serangga bermanfaat dalam menjaga produktivitas tanaman dan keseimbangan ekosistem (Ratnayake et al., 2021). Hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa tema utama, yaitu konsep smart farming, deteksi serangga bermanfaat, pengendalian hama ramah lingkungan, penerapan program pertanian, penerapan program perkebunan, tantangan implementasi, serta kontribusi smart farming terhadap ketahanan pangan nasional (Tamimi, 2024).

Kriteria pemilihan jurnal dilakukan berdasarkan relevansi topik, keterkaitan dengan deteksi serangga, penggunaan teknologi digital dalam pertanian, dan hubungan dengan keberlanjutan sistem pangan (Teixeira et al., 2023). Jurnal yang secara khusus membahas deep learning, IoT, computer vision, dan neural networks digunakan untuk mendukung argumentasi mengenai teknologi deteksi serangga dalam smart farming (Popescu et al., 2023). Jurnal yang membahas pemantauan serangga penyerbuk digunakan untuk memperkuat pembahasan mengenai serangga bermanfaat dalam mendukung produktivitas tanaman (Ratnayake et al., 2021a). Jurnal yang membahas climate-smart agriculture digunakan untuk menjelaskan hubungan antara pertanian cerdas, keberlanjutan lingkungan, dan adaptasi terhadap perubahan iklim (Hasyim, 2025). Jurnal yang membahas smart farming di Indonesia digunakan untuk memperkuat konteks lokal, terutama dalam menghubungkan pertanian digital dengan ketahanan pangan nasional (Tamimi, 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Studi Literasi

Jurnal pertama adalah penelitian oleh Chakrabarty et al. (2024) yang membahas deteksi serangga pertanian menggunakan pendekatan deep learning pada tanaman cruciferous (Chakrabarty et al., 2024). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi deep learning dapat digunakan untuk mendeteksi serangga penting dalam pertanian, termasuk serangga hama, penyerbuk, dan predator alami (Chakrabarty et al., 2024). Jurnal ini relevan untuk mendukung program ICARE, Pest Guard, dan SIPATUH karena ketiganya berkaitan dengan pengendalian hama, perlindungan tanaman, serta deteksi serangga di lahan pertanian (Chakrabarty et al., 2024).

Jurnal kedua adalah kajian oleh Kiobia et al. (2023) yang membahas penggunaan Internet of Things dan artificial intelligence dalam mendeteksi, mengklasifikasikan, serta menghitung serangga pada tanaman kapas (Kiobia et al., 2023). Penelitian ini juga membahas keberadaan serangga hama dan serangga bermanfaat dalam agroekosistem,

sehingga relevan dengan pengembangan SmartFarm Indonesia, Plantation Smart, dan Pest Guard (Kiobia et al., 2023). Teknologi IoT dan AI dalam penelitian tersebut dapat dijadikan dasar untuk membangun sistem pemantauan serangga otomatis pada sektor pertanian dan perkebunan (Kiobia et al., 2023).

Jurnal ketiga adalah systematic review oleh Teixeira et al. (2023) yang membahas deteksi otomatis serangga menggunakan perangkat digital dan deep learning (Teixeira et al., 2023). Kajian tersebut menunjukkan bahwa sistem deteksi serangga otomatis dapat membantu pemantauan populasi serangga secara lebih cepat dan akurat (Teixeira et al., 2023). Jurnal ini relevan untuk mendukung program SIPATUH, Pest Guard, dan Tani Cerdas, terutama dalam pengembangan edukasi deteksi hama serta pemanfaatan teknologi bagi petani (Teixeira et al., 2023).

Jurnal keempat adalah penelitian oleh Popescu et al. (2023) yang membahas tren penggunaan neural networks dalam deteksi serangga berbahaya dan hama tanaman (Popescu et al., 2023). Meskipun fokus penelitian tersebut berada pada hama, sistem deteksi yang akurat tetap penting agar petani mampu membedakan organisme pengganggu tanaman dan serangga bermanfaat (Popescu et al., 2023). Penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah bagi program ICARE dan Pest Guard dalam membangun sistem pengendalian hama yang lebih selektif dan berbasis data (Popescu et al., 2023).

Jurnal kelima adalah penelitian oleh Venkateswara et al. (2025) yang membahas pemantauan dan klasifikasi hama pertanian berbasis deep learning dalam sistem smart farming (Venkateswara et al., 2025). Penelitian ini menunjukkan bahwa deep learning dapat digunakan untuk mengenali berbagai kelas hama melalui citra digital (Venkateswara et al., 2025). Jurnal ini mendukung program SIPATUH dan Pest Guard karena kedua program tersebut membutuhkan teknologi pengenalan serangga untuk membantu petani mengambil keputusan pengendalian hama (Venkateswara et al., 2025).

Jurnal keenam adalah penelitian tentang deteksi serangga secara real-time pada smart connected farms (Rahman et al., 2024). Penelitian ini menunjukkan bahwa deteksi serangga dapat dilakukan secara langsung di lahan dengan bantuan sistem pertanian cerdas (Rahman et al., 2024). Konsep tersebut relevan untuk program SmartFarm Indonesia, Plantation Smart, dan Estate Grow karena ketiganya mengarah pada sistem pertanian dan perkebunan modern berbasis pemantauan digital (Rahman et al., 2024).

Jurnal ketujuh adalah penelitian tentang real-time harmful insect detection menggunakan IoT, machine learning, dan blockchain (Rahman et al., 2024). Penelitian ini

menunjukkan bahwa teknologi digital dapat digunakan untuk mendeteksi serangga berbahaya dan mengirimkan informasi secara cepat kepada pengguna (Rahman et al., 2024). Jurnal ini dapat menjadi dasar bagi program ICARE, Pest Guard, dan PalmCare karena deteksi dini hama penting untuk mencegah kerugian produksi pada sektor pertanian dan perkebunan (Rahman et al., 2024).

Jurnal kedelapan adalah penelitian oleh Ratnayake et al. (2021a) yang membahas pemantauan penyerbukan menggunakan computer vision dan deep learning (Ratnayake et al., 2021a). Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi visual dapat digunakan untuk memantau aktivitas lebah sebagai serangga penyerbuk (Ratnayake et al., 2021a). Jurnal ini relevan dengan program Green Harvest, Fresh Field, AgriGrow, dan Cocoa Future karena keberadaan serangga penyerbuk berhubungan langsung dengan produktivitas tanaman pangan, sayuran, dan tanaman perkebunan (Ratnayake et al., 2021a).

Jurnal kesembilan adalah penelitian oleh Ratnayake et al. (2021b) mengenai pelacakan individu lebah madu pada kelompok bunga liar menggunakan computer vision (Ratnayake et al., 2021b). Penelitian ini menunjukkan bahwa computer vision dapat membantu memantau pergerakan serangga penyerbuk secara lebih detail (Ratnayake et al., 2021b). Jurnal ini dapat mendukung program Fresh Field, Green Harvest, dan Habibi Garden, terutama dalam pengembangan kebun produktif dan pertanian sehat yang menjaga populasi penyerbuk (Ratnayake et al., 2021b).

Jurnal kesepuluh adalah penelitian oleh Amarathunga et al. (2022) tentang pemantauan serangga penyerbuk secara teknologi dalam sistem pertanian (Amarathunga et al., 2022). Penelitian ini menjelaskan bahwa metode tradisional dan teknologi digital dapat menghasilkan informasi yang berbeda dalam pemantauan penyerbukan (Amarathunga et al., 2022). Jurnal ini relevan untuk program AgriGrow, Green Harvest, dan Cocoa Future karena proses penyerbukan yang baik dapat mendukung peningkatan hasil pertanian dan kualitas komoditas perkebunan (Amarathunga et al., 2022).

Jurnal kesebelas adalah artikel oleh Tamimi (2024) mengenai penguatan implementasi smart farming dalam sektor pertanian Indonesia (Tamimi, 2024). Artikel ini menjelaskan bahwa smart farming di Indonesia masih menghadapi berbagai hambatan, seperti keterbatasan infrastruktur, literasi teknologi, dan kesiapan petani (Tamimi, 2024). Jurnal ini mendukung program Tani Cerdas, SmartFarm Indonesia, dan SIPATUH karena ketiganya membutuhkan edukasi, pelatihan, serta dukungan teknologi di tingkat petani (Tamimi, 2024).

Jurnal kedua belas adalah artikel oleh Rasyid (2024) yang membahas peran teknologi digital dalam transformasi pertanian menuju smart farming (Rasyid, 2024). Artikel ini menjelaskan bahwa digitalisasi pertanian dapat meningkatkan efisiensi dan membantu petani dalam pengambilan keputusan (Rasyid, 2024). Jurnal ini relevan dengan program SmartFarm Indonesia, Tani Cerdas, dan Nusantara Plantation karena ketiganya mengarah pada pemanfaatan teknologi digital dalam pertanian dan perkebunan Indonesia (Rasyid, 2024).

Jurnal ketiga belas adalah penelitian oleh Hasyim et al. (2025) mengenai keberlanjutan climate-smart agriculture di Indonesia (Hasyim et al., 2025). Penelitian ini menjelaskan bahwa perubahan iklim berdampak pada produksi pangan dan memerlukan pendekatan pertanian cerdas iklim (Hasyim et al., 2025). Jurnal ini mendukung program Green Harvest, Green Plantation, dan AgroEstate karena program tersebut berorientasi pada pertanian serta perkebunan ramah lingkungan dan berkelanjutan (Hasyim et al., 2025).

Jurnal keempat belas adalah laporan ilmiah oleh Savelli et al. (2021) tentang climate-smart agriculture di Indonesia (Savelli et al., 2021). Laporan ini menjelaskan bahwa climate-smart agriculture bertujuan meningkatkan produktivitas, membangun ketahanan terhadap perubahan iklim, dan mendukung ketahanan pangan (Savelli et al., 2021). Sumber ini relevan untuk program Green Plantation, AgroEstate, Nusantara Plantation, dan AgriGrow karena program-program tersebut membutuhkan pendekatan berkelanjutan dalam pengelolaan pertanian dan perkebunan (Savelli et al., 2021).

Jurnal kelima belas adalah penelitian oleh Budianta et al. (2024) mengenai penerapan climate-smart agriculture pada produksi padi di Sumatera Selatan (Budianta et al., 2024). Penelitian ini menunjukkan bahwa praktik pertanian cerdas iklim dapat membantu meningkatkan ketahanan produksi pertanian terhadap perubahan iklim (Budianta et al., 2024). Jurnal ini relevan untuk program Green Harvest, AgriGrow, dan Tani Cerdas karena program tersebut dapat diarahkan pada peningkatan produktivitas pertanian yang adaptif dan berkelanjutan (Budianta et al., 2024).

Konsep Smart Farming dalam Program Pertanian dan Perkebunan

Smart farming merupakan konsep pertanian modern yang menggunakan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan (Rasyid, 2024). Dalam smart farming, data dari sensor, kamera, drone, perangkat IoT, dan sistem artificial intelligence dapat digunakan untuk memantau kondisi lahan, tanaman, cuaca, serta organisme di sekitar tanaman (Kiobia et al., 2023). Program SmartFarm Indonesia dapat

menjadi program utama dalam penerapan konsep ini karena berfokus pada pertanian digital berbasis teknologi modern (Tamimi, 2024). Program ini didukung oleh kajian yang menyatakan bahwa digitalisasi pertanian mampu meningkatkan efisiensi dan membantu pengambilan keputusan petani (Rasyid, 2024).

Pada sektor perkebunan, konsep smart farming dapat diterapkan melalui program Plantation Smart, AgroEstate, dan Estate Grow (Savelli et al., 2021). Program tersebut dapat memanfaatkan teknologi deteksi serangga, pemantauan tanaman, dan analisis data untuk meningkatkan kualitas pengelolaan kebun (Kiobia et al., 2023). Sistem perkebunan modern membutuhkan pemantauan berkelanjutan karena gangguan hama dan perubahan lingkungan dapat memengaruhi produktivitas tanaman (Hasyim, 2025). Oleh karena itu, teknologi IoT dan AI dapat membantu mengoptimalkan pengelolaan perkebunan secara lebih efektif (Kiobia et al., 2023).

Dalam penerapannya, smart farming tidak hanya berbicara tentang penggunaan alat digital, tetapi juga tentang kemampuan mengubah data menjadi keputusan (Rasyid, 2024). Data tentang suhu, kelembapan, kondisi tanah, keberadaan hama, dan populasi serangga bermanfaat dapat digunakan untuk menentukan waktu penyiraman, pemupukan, dan pengendalian hama (Teixeira et al., 2023). Dengan sistem tersebut, petani dan pengelola kebun dapat bekerja lebih terarah serta mengurangi keputusan yang hanya berdasarkan perkiraan (Popescu et al., 2023).

Program Pertanian

ICARE

Program ICARE atau Integrated Control Agriculture for Rural Ecosystem dapat dikembangkan sebagai program pengendalian hama terpadu berbasis ekosistem pedesaan (Chakrabarty et al., 2024). Program ini dapat memanfaatkan kamera, perangkat serangga digital, dan model deep learning untuk mendeteksi serangga di lahan pertanian secara lebih cepat dan akurat (Teixeira et al., 2023). Melalui deteksi tersebut, petani dapat mengetahui apakah serangga yang ditemukan termasuk hama, penyerbuk, atau predator alami sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan secara selektif (Chakrabarty et al., 2024). Dengan demikian, ICARE tidak hanya berfokus pada pemberantasan hama, tetapi juga pada

perlindungan serangga bermanfaat dan peningkatan produksi pertanian secara berkelanjutan (Kiobia et al., 2023).



Gambar 1. Icare

SmartFarm Indonesia

Program SmartFarm Indonesia dapat menjadi program payung untuk digitalisasi pertanian yang menghubungkan sensor tanah, kamera pengamatan, aplikasi petani, dan sistem analisis berbasis artificial intelligence (Rasyid, 2024). Melalui SmartFarm Indonesia, data dari lahan dapat dikumpulkan secara rutin dan digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih objektif (Tamimi, 2024). Program ini dapat mengintegrasikan deteksi hama, deteksi serangga bermanfaat, pemantauan tanaman, dan strategi peningkatan produksi dalam satu sistem pertanian digital (Kiobia et al., 2023). Dengan pendekatan tersebut, SmartFarm Indonesia dapat membantu petani meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi risiko gagal panen, dan memperkuat ketahanan pangan berbasis teknologi (Savelli et al., 2021).



Gambar 2. SmartFram Indonesia

Green Harvest

Program Green Harvest dapat dikembangkan sebagai program budidaya tanaman pangan ramah lingkungan yang menekankan keseimbangan ekosistem pertanian (Hasyim, 2025). Program ini dapat menjaga keberadaan serangga bermanfaat, terutama lebah dan predator alami, agar proses penyerbukan dan pengendalian hama alami tetap berjalan (Ratnayake et al., 2021a). Teknologi pemantauan serangga dapat membantu petani mengetahui kondisi populasi penyerbuk di lahan sehingga penggunaan bahan kimia dapat ditekan (Amarathunga et al., 2022). Dengan demikian, Green Harvest mendukung produksi pangan yang sehat, produktif, dan berkelanjutan (Savelli et al., 2021).



Gambar 3. Green Harvest

AgriGrow

Program AgriGrow berfokus pada peningkatan hasil pertanian berkelanjutan melalui pengelolaan lahan berbasis data dan perlindungan ekosistem (Budianta et al., 2024). Program ini dapat memanfaatkan data sensor, pemantauan tanaman, dan deteksi serangga untuk menentukan strategi budidaya yang lebih tepat (Rasyid, 2024). Keberadaan serangga penyerbuk dan predator alami dapat mendukung peningkatan hasil pertanian sekaligus mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Ratnayake et al., 2021a). Oleh karena itu, AgriGrow dapat menjadi program peningkatan produksi yang tidak hanya menekankan hasil panen, tetapi juga keberlanjutan sistem pangan (Savelli et al., 2021).



Gambar 4. AgriGrow

Pest Guard

Program Pest Guard merupakan program perlindungan tanaman dari serangan hama dan penyakit berbasis teknologi deteksi digital (Teixeira et al., 2023). Program ini dapat menggunakan kamera, perangkat otomatis, IoT, dan deep learning untuk mengenali jenis serangga dan tingkat ancaman hama di lahan (Kiobia et al., 2023). Dengan adanya data hasil deteksi, petani dapat menentukan tindakan pengendalian hama secara lebih tepat dan tidak berlebihan (Popescu et al., 2023). Pest Guard juga dapat membantu mempertahankan serangga bermanfaat karena pengendalian dilakukan berdasarkan identifikasi yang lebih akurat (Chakrabarty et al., 2024).



Gambar 5. Pest Guard

Fresh Field

Program Fresh Field diarahkan pada pengembangan pertanian sayur sehat dan organik yang menjaga kualitas hasil panen serta keseimbangan ekosistem (Amarathunga et al., 2022). Dalam pertanian organik, keberadaan serangga penyerbuk dan musuh alami hama sangat penting karena dapat membantu produktivitas tanaman tanpa penggunaan

pestisida berlebihan (Ratnayake et al., 2021b). Teknologi pemantauan serangga dapat digunakan untuk memastikan bahwa populasi penyerbuk dan predator alami tetap terjaga di lingkungan kebun sayur (Ratnayake et al., 2021a). Dengan demikian, Fresh Field dapat menghasilkan sayuran yang lebih sehat, aman, dan mendukung pertanian berkelanjutan (Hasyim, 2025).



Gambar 6. Fresh Field

SIPATUH

Program SIPATUH atau Sistem Pintar Atasi Hama Tumbuhan dapat menjadi media edukasi deteksi dan pengendalian hama tanaman berbasis teknologi (Tamimi, 2024). Program ini dapat membantu petani mengenali perbedaan antara serangga hama dan serangga bermanfaat melalui aplikasi, citra digital, dan sistem identifikasi otomatis (Teixeira et al., 2023). Dalam praktik pertanian, banyak serangga sering dianggap sebagai ancaman sehingga pestisida digunakan tanpa identifikasi yang tepat (Popescu et al., 2023). Melalui SIPATUH, petani dapat memahami bahwa beberapa serangga justru berfungsi sebagai penyerbuk dan predator alami sehingga pengendalian hama menjadi lebih cerdas dan ramah lingkungan (Chakrabarty et al., 2024).



Gambar 7. SIPATUH

Tani Cerdas

Program Tani Cerdas merupakan program penyuluhan dan inovasi teknologi pertanian yang berfokus pada peningkatan kapasitas petani dalam menggunakan smart farming (Tamimi, 2024). Keberhasilan teknologi pertanian tidak hanya bergantung pada ketersediaan alat, tetapi juga pada pemahaman petani terhadap fungsi dan pemanfaatannya (Rasyid, 2024). Melalui Tani Cerdas, petani dapat memperoleh edukasi tentang penggunaan sensor, aplikasi digital, sistem deteksi serangga, dan pengelolaan data pertanian (Kiobia et al., 2023). Program ini penting karena tantangan implementasi smart farming di Indonesia masih berkaitan erat dengan literasi teknologi, kesiapan petani, dan pendampingan di lapangan (Tamimi, 2024).



Gambar 8. Tani Cerdas

Penjelasan Program Perkebunan

Habibi Garden

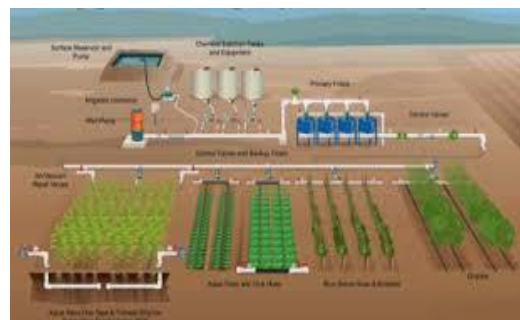
Program Habibi Garden dapat dikembangkan sebagai program pengembangan kebun produktif dan tanaman unggulan yang tetap menjaga keseimbangan ekosistem (Ratnayake et al., 2021b). Program ini cocok diterapkan pada kebun hortikultura, buah, dan tanaman unggulan lokal yang membutuhkan penyerbukan untuk meningkatkan hasil produksi (Amarathunga et al., 2022). Dengan bantuan teknologi pemantauan serangga penyerbuk, pengelola kebun dapat memahami kondisi ekosistem kebun secara lebih baik (Ratnayake et al., 2021a). Oleh karena itu, Habibi Garden dapat menjadi model kebun produktif yang tidak hanya fokus pada hasil, tetapi juga pada keberlanjutan ekologi kebun (Savelli et al., 2021).



Gambar 9. Habibi Garden

Plantation Smart

Program Plantation Smart merupakan program perkebunan modern berbasis teknologi yang memanfaatkan sensor, kamera, IoT, dan artificial intelligence (Kiobia et al., 2023). Program ini dapat digunakan untuk memantau kondisi kebun, pertumbuhan tanaman, dan keberadaan serangga di area perkebunan secara lebih efisien (Rasyid, 2024). Dalam sistem perkebunan modern, pemantauan real-time sangat penting karena luas lahan yang besar membuat pengawasan manual menjadi kurang efisien (Rahman et al., 2024). Dengan Plantation Smart, pengelolaan kebun dapat dilakukan secara lebih terukur, cepat, dan berbasis data (Savelli et al., 2021).



Gambar 10. Plantation Smart

AgroEstate

Program AgroEstate berfokus pada pengelolaan perkebunan berkelanjutan dengan pendekatan efisien dan berbasis ekosistem (Savelli et al., 2021). Program ini dapat mengintegrasikan pemantauan tanaman, pengelolaan sumber daya, dan konservasi lahan untuk menjaga keberlanjutan produksi kebun (Hasyim, 2025). Dalam konteks smart farming, AgroEstate dapat memanfaatkan teknologi untuk memantau kondisi lahan, perubahan iklim, dan populasi serangga sehingga keputusan pengelolaan kebun lebih akurat (Kiobia et al., 2023). Pendekatan ini sejalan dengan climate-smart agriculture yang

menekankan produktivitas, keberlanjutan, dan adaptasi terhadap perubahan iklim (Budianta et al., 2024).



Gambar 11. AgroEstate

PalmCare

Program PalmCare merupakan program peningkatan produktivitas perkebunan kelapa sawit melalui pemantauan dini organisme pengganggu tanaman (Rahman et al., 2024). Program ini dapat menggunakan sistem deteksi serangga berbasis kamera, sensor, dan analisis data untuk mengidentifikasi ancaman hama secara lebih cepat (Kiobia et al., 2023). Deteksi dini sangat penting pada perkebunan kelapa sawit karena serangan hama yang terlambat ditangani dapat menyebabkan penurunan hasil produksi secara signifikan (Popescu et al., 2023). Dengan pendekatan tersebut, PalmCare dapat membantu menjaga produktivitas kebun sawit secara lebih efisien dan berkelanjutan (Savelli et al., 2021).



Gambar 12. PalmCare

Cocoa Future

Program Cocoa Future diarahkan pada pengembangan perkebunan kakao berkualitas melalui pengelolaan kebun yang berbasis teknologi dan ramah lingkungan (Savelli et al., 2021). Produktivitas kakao sangat dipengaruhi oleh kesehatan tanaman,

pengendalian hama, dan keberadaan serangga penyerbuk (Ratnayake et al., 2021a). Program ini dapat memanfaatkan teknologi pemantauan serangga untuk menjaga keseimbangan ekosistem kebun kakao sekaligus mendukung peningkatan kualitas hasil panen (Amarathunga et al., 2022). Pendekatan tersebut sesuai dengan prinsip perkebunan berkelanjutan yang menekankan produktivitas dan konservasi ekosistem (Hasyim, 2025).



Gambar 13. Cocoa Future

Green Plantation

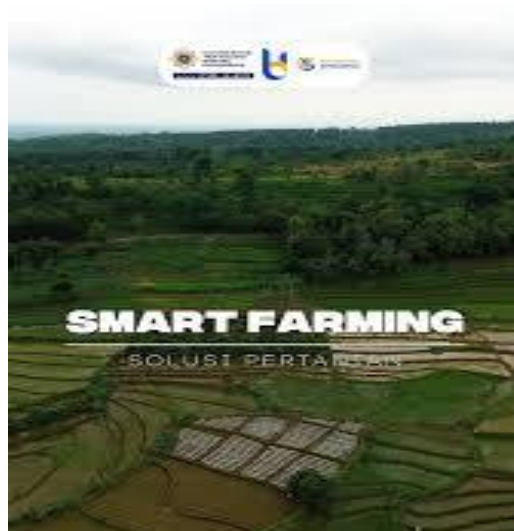
Program Green Plantation merupakan program perkebunan ramah lingkungan dan konservasi lahan yang menekankan keseimbangan antara produksi dan pelestarian ekosistem (Hasyim, 2025). Program ini dapat mengintegrasikan smart farming dan climate-smart agriculture untuk mendukung produktivitas sekaligus adaptasi terhadap perubahan iklim (Savelli et al., 2021). Konservasi tanah, air, dan keanekaragaman hayati menjadi bagian penting dalam pengelolaan perkebunan berkelanjutan (Budianta et al., 2024). Dengan demikian, Green Plantation menjadi pendekatan yang mendukung pembangunan perkebunan berkelanjutan di Indonesia (Savelli et al., 2021).



Gambar 14. Green Plantation

Estate Grow

Program Estate Grow adalah program budidaya tanaman perkebunan modern dan efisien yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas pengelolaan kebun (Rasyid, 2024). Program ini dapat menggunakan drone, sensor, kamera, dan sistem analisis data untuk memantau kondisi lahan secara luas (Rahman et al., 2024). Pada perkebunan skala besar, sistem pemantauan digital sangat penting untuk mendeteksi gangguan hama atau masalah pertumbuhan tanaman secara cepat (Kiobia et al., 2023). Dengan demikian, Estate Grow mendukung sistem perkebunan yang lebih produktif, terukur, dan efisien (Savelli et al., 2021).



Gambar 15. Estate Grow

Nusantara Plantation

Program Nusantara Plantation diarahkan pada pengembangan komoditas perkebunan lokal Indonesia dengan pendekatan teknologi dan pelestarian lingkungan (Rasyid, 2024). Komoditas seperti kopi, kakao, kelapa, cengkeh, dan tanaman lokal lainnya membutuhkan strategi pengelolaan yang mampu menjaga produktivitas sekaligus mempertahankan keseimbangan ekosistem kebun (Savelli et al., 2021). Melalui deteksi serangga bermanfaat, pengelola dapat menjaga populasi penyerbuk dan musuh alami hama agar produktivitas kebun tetap stabil (Ratnayake et al., 2021b). Dengan demikian, Nusantara Plantation dapat menjadi model pengembangan perkebunan lokal yang berdaya saing, berkelanjutan, dan berbasis smart farming (Hasyim, 2025).



Gambar 16. Nusantara Plantation

Kontribusi Smart Farming terhadap Ketahanan Pangan Nasional

Deteksi serangga bermanfaat melalui smart farming dapat mendukung ketahanan pangan nasional karena membantu menjaga produktivitas tanaman (Chakrabarty et al., 2024). Ketika petani mampu membedakan hama dan serangga bermanfaat, tindakan pengendalian dapat dilakukan secara lebih tepat (Teixeira et al., 2023). Hal ini dapat mengurangi kerusakan tanaman, menjaga proses penyerbukan, menekan penggunaan pestisida, dan meningkatkan kualitas hasil panen (Ratnayake et al., 2021a). Dengan demikian, teknologi deteksi serangga berkontribusi terhadap pertanian yang produktif sekaligus berkelanjutan (Savelli et al., 2021).

Program pertanian dan perkebunan yang telah dirancang dapat menjadi strategi untuk memperkuat ketahanan pangan nasional (Tamimi, 2024). ICARE, Pest Guard, dan SIPATUH mendukung pengendalian hama berbasis data, sedangkan SmartFarm Indonesia dan Plantation Smart mendukung digitalisasi pertanian dan perkebunan (Rasyid, 2024). Green Harvest, AgriGrow, Fresh Field, dan Green Plantation mendukung pertanian ramah lingkungan, sementara PalmCare, Cocoa Future, dan Nusantara Plantation mendukung produktivitas komoditas perkebunan lokal (Hasyim, 2025). Integrasi program-program tersebut sesuai dengan arah smart farming yang menekankan efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan pangan (Savelli et al., 2021).

Tantangan Penerapan Smart Farming di Indonesia

Penerapan smart farming di Indonesia masih menghadapi tantangan, seperti keterbatasan infrastruktur digital, mahalnya perangkat teknologi, keterbatasan jaringan internet di wilayah pedesaan, serta rendahnya literasi teknologi petani (Tamimi, 2024). Hambatan ini dapat mengurangi efektivitas program smart farming jika tidak disertai pelatihan dan pendampingan (Rasyid, 2024). Oleh karena itu, program Tani Cerdas dan

SIPATUH perlu diarahkan sebagai program edukasi agar petani mampu memahami serta menggunakan teknologi deteksi serangga secara mandiri (Tamimi, 2024).

Selain tantangan teknologi, perubahan iklim juga menjadi faktor yang memengaruhi keberhasilan pertanian dan perkebunan (Hasyim, 2025). Perubahan curah hujan, suhu, dan kelembapan dapat memengaruhi populasi hama, serangga bermanfaat, serta produktivitas tanaman (Budianta et al., 2024). Oleh karena itu, smart farming perlu diintegrasikan dengan pendekatan climate-smart agriculture agar pertanian dan perkebunan Indonesia lebih adaptif terhadap perubahan iklim (Savelli et al., 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan kajian terhadap 15 jurnal, smart farming memiliki peran penting dalam mendukung pertanian dan perkebunan modern di Indonesia. Teknologi seperti IoT, artificial intelligence, machine learning, deep learning, dan computer vision dapat digunakan untuk mendeteksi serangga secara otomatis. Deteksi ini penting karena serangga dalam pertanian tidak selalu merugikan; sebagian serangga justru bermanfaat sebagai penyerbuk, predator alami, parasitoid, dan penjaga keseimbangan ekosistem (Chakrabarty et al., 2024; Kiobia et al., 2023; Ratnayake et al., 2021a).

Program ICARE, SmartFarm Indonesia, Green Harvest, AgriGrow, Pest Guard, Fresh Field, SIPATUH, dan Tani Cerdas dapat dikembangkan sebagai program pertanian berbasis smart farming. Sementara itu, program Habibi Garden, Plantation Smart, AgroEstate, PalmCare, Cocoa Future, Green Plantation, Estate Grow, dan Nusantara Plantation dapat dikembangkan sebagai program perkebunan modern dan berkelanjutan. Seluruh program tersebut dapat mendukung peningkatan produktivitas, pengurangan pestisida, perlindungan serangga bermanfaat, dan penguatan ketahanan pangan nasional (Tamimi, 2024; Savelli et al., 2021).

Saran

Bagi petani, disarankan untuk mulai memahami perbedaan antara serangga hama dan serangga bermanfaat agar pengendalian hama tidak dilakukan secara berlebihan. Pemerintah perlu memperkuat infrastruktur digital, menyediakan pelatihan, dan membantu akses teknologi bagi petani. Akademisi dan peneliti juga perlu mengembangkan sistem deteksi serangga bermanfaat berbasis kondisi lokal Indonesia, misalnya melalui kamera

ponsel, IoT murah, dan aplikasi berbasis artificial intelligence (Teixeira et al., 2023; Rasyid, 2024).

Program pertanian dan perkebunan yang telah dirancang sebaiknya dikembangkan secara terpadu. ICARE dapat menjadi pusat pengendalian hama terpadu, SmartFarm Indonesia sebagai pusat digitalisasi pertanian, SIPATUH sebagai sistem edukasi deteksi hama, Tani Cerdas sebagai penyuluhan teknologi, dan Green Plantation sebagai program keberlanjutan perkebunan. Integrasi ini dapat membantu mewujudkan pertanian yang cerdas, ramah lingkungan, dan mendukung ketahanan pangan nasional Indonesia (Hasyim et al., 2025; Budianta et al., 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Amarathunga, D. C., Ratnayake, M. N., Grundy, J., & Dorin, A. (2022). Towards precision apiculture: Traditional and technological insect monitoring methods in strawberry and raspberry crop polytunnels tell different pollination stories. *Computers and Electronics in Agriculture* 203, 107462.
- Budianta, D., et al. (2024). Enhancing rice production resilience in South Sumatra through climate-smart agriculture practices. *Journal of Smart Agriculture and Environmental Technology*.
- Chakrabarty, S., Shashank, P. R., Deb, C. K., & Dhillon, M. K. (2024). Deep learning-based accurate detection of insects and damage in cruciferous crops using YOLOv5. *Smart Agricultural Technology*, 100663.
- Hasyim, A., Riniwati, H., & Atikawati, D. (2025). Climate smart agriculture sustainability: A multidimensional assessment. *The Journal of Indonesia Sustainable Development Planning* 6(3): 428-447.
- Kiobia, D. O., et al. (2023). A review of successes and impeding challenges of IoT-based insect pest detection systems for estimating agroecosystem health and productivity of cotton. *Sensors* 23(8): 4127.
- Popescu, D., Dinca, A., Ichim, L., & Angelescu, N. (2023). New trends in detection of harmful insects and pests in modern agriculture using artificial neural networks: A review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1268167.
- Rahman, M., et al. (2024). Real-time harmful insect detection framework for smart agriculture using IoT and machine learning. *IEEE Computer Society Publication*.
- Ratnayake, M. N., Dyer, A. G., & Dorin, A. (2021a). Towards computer vision and deep learning facilitated pollination monitoring for agriculture. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2915-2924.
- Ratnayake, M. N., Dyer, A. G., & Dorin, A. (2021b). Tracking individual honeybees among wildflower clusters with computer vision-facilitated pollinator monitoring. *PLOS ONE* 16(2):18-24. e0239504.
- Rasyid, H. (2024). The role of digital technology in the transformation of agriculture towards smart farming. *Journal of World Science*.

- Savelli, A., et al. (2021). Climate-smart agriculture in Indonesia. World Bank, CIAT, and CGIAR.
- Tamimi, H. A. (2024). Improving agricultural productivity: Strengthening smart farming implementation in Indonesia's agriculture sector. *Environment Education and Conservation* 1(2): 79-88.
- Teixeira, A. C., et al. (2023). Automatic insect detection using deep learning and computer vision in smart agriculture: A systematic review. *Agriculture* 13(3): 713.
- Venkateswara, S. M., et al. (2025). Deep learning based agricultural pest monitoring and classification for smart farming. *Scientific Reports*.
- Yamin, M., et al. (2025). Analysis of climate-smart agriculture adoption and its impact on food security. *Research on World Agricultural Economy*.