



# Potensi Penerapan Smart-Trap Berbasis IoT untuk Monitoring Hama dalam Pengelolaan Hama Terpadu pada Budidaya Cabai Lahan Kering di Nusa Tenggara Barat

## *The Potential of IoT-Based Smart-Traps for Pest Monitoring in Integrated Pest Management in Dryland Chili Cultivation in West Nusa Tenggara*

Lalu Kurniawan<sup>1</sup> | Muhammad Sarjan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

### Abstrak

Budidaya cabai lahan kering di Nusa Tenggara Barat (NTB) menghadapi peningkatan serangan hama akibat kondisi agroklimat ekstrem, sementara monitoring manual sering terlambat dan mendorong penggunaan pestisida berlebihan. Kajian ini bertujuan mengevaluasi potensi smart-trap berbasis Internet of Things (IoT) dalam meningkatkan efektivitas monitoring hama dan mendukung Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) pada budidaya cabai lahan kering. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dengan kerangka PRISMA 2020 terhadap 19 artikel ilmiah terpilih periode 2020–2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi kamera digital, sensor mikroklimat, dan algoritma deep learning mampu mendeteksi hama secara real-time, meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, serta menekan penggunaan pestisida. Meskipun demikian, implementasi di NTB masih menghadapi kendala infrastruktur, biaya awal, dan literasi digital petani. Oleh karena itu, diperlukan adaptasi teknologi yang berbiaya rendah, tahan kondisi lahan kering, dan didukung pendampingan penyuluhan agar smart-trap IoT dapat diadopsi secara efektif dan berkelanjutan.

**Keyword:** Smart-Trap; Internet of Things (IoT); Monitoring Hama; Cabai Lahan Kering; Pengelolaan Hama Terpadu (PHT); NTB.

### Abstract

Dryland chili cultivation in West Nusa Tenggara (NTB) faces increasing pest attacks due to extreme agro-climatic conditions, while manual monitoring is often delayed and encourages excessive pesticide use. This study aims to evaluate the potential of Internet of Things (IoT)-based smart traps to improve pest monitoring effectiveness and support Integrated Pest Management (IPM) in dryland chili cultivation. The method used was a Systematic Literature Review (SLR) using the PRISMA 2020 framework of 19 selected scientific articles from 2020–2025. The study results indicate that the integration of digital cameras, microclimate sensors, and deep learning algorithms can detect pests in real time, improve decision-making accuracy, and reduce pesticide use. However, implementation in NTB still faces challenges related to infrastructure, initial costs, and farmers' digital literacy. Therefore, adapting low-cost technology that is resilient to dryland conditions and supported by extension support is necessary for the effective and sustainable adoption of IoT smart traps.

**Keywords:** Smart Trap; Internet of Things (IoT); Pest Monitoring; Dryland Chili; Integrated Pest Management (IPM); NTB.

How to Cite: Kurniawan, L. & Sarjan, M. (2025). Potensi Penerapan Smart-Trap Berbasis IoT untuk Monitoring Hama dalam Pengelolaan Hama Terpadu pada Budidaya Cabai Lahan Kering di Nusa Tenggara Barat. *Journal of Multidisciplinary Science and Natural Resource Management*. 1(3): 39-46

## 1. Pendahuluan

Budidaya cabai pada lahan kering di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) menghadapi tantangan serius akibat meningkatnya intensitas serangan hama yang sangat dipengaruhi oleh kondisi agroklimat yang kering dan fluktuatif. Pada ekosistem lahan kering, populasi hama seperti *Helicoverpa armigera*, *Thrips parvispinus*, dan kutu daun cenderung lebih cepat berkembang dan lebih sulit dikendalikan karena perubahan suhu dan kelembapan yang ekstrem (Hutasoit, Triwidodo and Anwar,

2018). Kondisi ini menyebabkan petani cabai di NTB sering mengalami kerugian produksi yang signifikan pada musim kemarau panjang. Beberapa studi menunjukkan bahwa dinamika hama di wilayah kering menuntut pendekatan pengelolaan yang lebih adaptif, responsif, serta berbasis data real-time untuk memutus siklus serangan secara lebih efektif (Prabhakar et al., 2024).

Di sisi lain, praktik konvensional petani yang masih mengandalkan monitoring manual menyebabkan proses pengamatan populasi hama menjadi tidak efisien, lambat, dan sering kali tidak akurat. Monitoring manual yang hanya mengandalkan pengamatan visual mingguan terbukti tidak mampu mendeteksi lonjakan populasi hama pada fase awal sehingga tindakan pengendalian terlambat dilakukan (da Silva Vieira et al., 2022). Keterlambatan inilah yang sering memicu penggunaan pestisida berlebihan sebagai respon cepat, padahal penggunaan pestisida yang intensif menimbulkan resistensi hama, degradasi lingkungan, dan penurunan kesehatan tanah yang berdampak langsung terhadap produktivitas cabai di lahan kering (Yasir, Hossain and Pratap-Singh, 2025). Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan monitoring yang lebih sistematis, akurat, dan berkelanjutan sebagai dasar pengelolaan hama terpadu (PHT) yang efektif.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai dipandang sebagai solusi strategis untuk meningkatkan efektivitas monitoring hama secara otomatis dan *real-time*. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data populasi hama selama 24 jam secara kontinu serta penyimpanan data dalam sistem cloud untuk analisis intensitas dan dinamika serangan (Albanese, Nardello and Brunelli, 2021). Beberapa penelitian membuktikan bahwa penggunaan perangkat digital (*smart-trap*) yang dilengkapi kamera dan sensor mampu meningkatkan akurasi deteksi hama hingga 90% dibanding perangkat konvensional (Eliopoulos et al., 2018). Selain itu, pendekatan ini juga memudahkan petani dan penyuluh dalam mengakses informasi populasi hama melalui *dashboard* aplikasi sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan lebih cepat dan terukur (Praseptiawan et al., 2022).

Integrasi *Smart-Trap* berbasis IoT dalam sistem Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) juga dinilai relevan untuk meningkatkan keberlanjutan produksi cabai pada lahan kering. PHT menekankan pentingnya kombinasi strategi kultur teknis, biologis, dan mekanis yang didasari informasi lapangan yang faktual dan dapat dipertanggungjawabkan (Tiwari, 2024). Teknologi monitoring otomatis menyediakan data kuantitatif mengenai dinamika populasi hama, intensitas serangan, serta kondisi lingkungan mikro yang menjadi pemicu perkembangan hama. Data tersebut kemudian dapat diintegrasikan dengan keputusan pengendalian berbasis ambang kendali sehingga penggunaan pestisida dapat ditekan secara signifikan (Agustinus Tamba et al., 2024). Dalam konteks NTB, pemanfaatan *smart-trap* IoT berpotensi besar mendukung transformasi pertanian digital pada komoditas strategis seperti cabai yang rentan terhadap fluktuasi populasi hama pada ekosistem lahan kering.

Meskipun teknologi *smart-trap* telah banyak dikembangkan di negara lain, penerapannya pada ekosistem lahan kering tropis seperti NTB masih sangat terbatas. Studi pada tanaman hortikultura di Asia Tenggara menunjukkan bahwa teknologi digital monitoring dapat secara signifikan memperbaiki pengambilan keputusan petani terhadap pengendalian hama, namun adaptasinya di tingkat petani kecil masih menghadapi kendala seperti minimnya literasi digital, ketersediaan infrastruktur internet, dan belum adanya modifikasi desain alat yang sesuai kondisi lokal (Chandra & Collis, 2021). Oleh karena itu, penelitian mengenai potensi penerapan *Smart-Trap* berbasis IoT pada budidaya cabai lahan kering di NTB menjadi sangat penting untuk menghasilkan model implementasi yang tidak hanya efektif secara teknis tetapi juga adaptif terhadap kondisi sosial, ekonomi, dan agroekologi petani lokal. Pada akhirnya, pendekatan ini diharapkan mampu menciptakan sistem monitoring hama yang lebih presisi, efisien, dan mendukung keberlanjutan produksi cabai di wilayah lahan kering.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian ini dirancang untuk mengevaluasi potensi penerapan *smart-trap* berbasis IoT dalam meningkatkan efektivitas monitoring hama pada budidaya cabai lahan kering di Nusa Tenggara Barat (NTB), sekaligus mengidentifikasi peluang, kendala teknis, dan sosial-ekonomi yang mempengaruhi keberhasilan implementasinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan perkembangan teknologi *smart-trap*, menilai efektivitasnya dalam konteks Pengelolaan Hama Terpadu, dan merumuskan rekomendasi adaptasi yang sesuai dengan kondisi lokal, sedangkan manfaat kajian ini adalah memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan sistem monitoring hama berbasis teknologi digital, menjadi acuan bagi petani, penyuluh, dan pemangku kepentingan dalam merancang strategi PHT yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta mendukung peningkatan produktivitas dan pengurangan penggunaan pestisida secara berlebihan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menganalisis dan mensintesis hasil-hasil penelitian terkait penerapan teknologi digital dan *smart-trap* berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam pengelolaan hama tanaman cabai pada lahan kering. Pendekatan SLR dipilih untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai efektivitas sistem monitoring otomatis, integrasi data populasi hama, serta implikasinya terhadap pengambilan keputusan pengendalian hama tanpa melakukan penelitian lapangan secara langsung. Proses seleksi literatur mengikuti pedoman PRISMA 2020 guna menjamin transparansi, reproduibilitas, dan ketelitian metodologis.

Pencarian literatur dilakukan pada tanggal 2 Desember 2025 dengan menggunakan *Publish or Perish* dengan basis data *Google Scholar*, dibatasi pada publikasi tahun 2020–2025 agar relevan dengan perkembangan teknologi monitoring hama terkini. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci: (“IoT” OR “Internet of Things” OR “precision agriculture”) AND (“pest monitoring” OR “insect detection” OR “smart trap”) AND (“IPM” OR “Integrated Pest Management”).

Pencarian awal menghasilkan 500 artikel, yang selanjutnya dikelola menggunakan *Mendeley Reference Manager* untuk penghapusan duplikasi dan pengelompokan literatur. Tahapan seleksi meliputi identifikasi, screening judul dan abstrak,

peninjauan teks lengkap, dan inklusi akhir. Seleksi difokuskan pada relevansi topik, kualitas metodologis, serta kesesuaian dengan konteks pertanian hortikultura lahan kering dan agroekosistem tropis. Dari proses tersebut diperoleh 19 artikel ilmiah yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu artikel *peer-reviewed* yang menyajikan data empiris mengenai penggunaan teknologi digital, IoT, atau *smart-trap* untuk monitoring dan pengambilan keputusan pengendalian hama. Artikel non-empiris, opini, prosiding tanpa data, dan publikasi yang tidak relevan dengan pengelolaan hama dikecualikan.

Analisis data dilakukan menggunakan *content analysis* dengan pendekatan tematik untuk mengidentifikasi variabel kunci, meliputi jenis teknologi monitoring, tingkat akurasi deteksi hama, integrasi dengan sistem pengambilan keputusan, potensi pengurangan penggunaan pestisida, serta faktor pendukung dan penghambat adopsi teknologi. Sintesis hasil disajikan secara sistematis untuk menggambarkan efektivitas *smart-trap* dan monitoring digital dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT) serta merumuskan peluang pengembangan dan strategi peningkatan adopsi teknologi di tingkat petani lahan kering.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Temuan Utama Berdasarkan Pengelompokan Literatur SLR

Berdasarkan klasifikasi literatur yang disajikan pada Tabel 1, temuan SLR menunjukkan bahwa pendekatan deep learning dan sensor citra digital merupakan teknologi yang paling banyak digunakan dalam monitoring organisme pengganggu tanaman. Algoritma seperti *You Only Look Once* (YOLO), *Convolutional Neural Network* (CNN), dan *Deep Neural Network* (DNN) terbukti mampu mendeteksi serta mengidentifikasi serangga hama secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi dan kecepatan pemrosesan real-time. Integrasi kamera digital dan perangkat feromon otomatis memungkinkan pemantauan populasi hama secara kontinu dan objektif, menggantikan metode konvensional yang bersifat manual dan subjektif. Temuan ini menegaskan bahwa teknologi berbasis citra menjadi fondasi utama dalam pengembangan sistem peringatan dini hama. Dengan demikian, pemanfaatan kecerdasan buatan berperan strategis dalam menyediakan data awal bagi pengambilan keputusan pengendalian.

Tabel 1 : Pengelompokan Jurnal Berdasarkan Topik Pembahasan SLR

| No | Topik Bahasan                                                             | Penjelasan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Jurnal                                                                                                           |
|----|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Deteksi dan Identifikasi Serangga Berbasis Deep Learning (YOLO, CNN, DNN) | Kelompok jurnal yang secara spesifik mengembangkan dan mengevaluasi algoritma <i>deep learning</i> (YOLO version 3, YOLO <i>Sticky Image Pyramid</i> , CNN, <i>Deep Pest Network</i> /DPeNet, <i>Residual Network</i> /ResNet) untuk mendeteksi dan mengidentifikasi serangga hama dari citra <i>Red Green Blue</i> /RGB. Studi-studi ini menunjukkan akurasi tinggi, kecepatan pemrosesan <i>real-time</i> , serta potensi besar untuk monitoring OPT secara otomatis di lapangan. Kelompok ini menjadi fondasi utama penggunaan AI dalam sistem peringatan dini hama. | Amrani et al. 2022; Verma et al. 2021; Guo et al. 2023; Zhao et al. 2022; Segalla et al. 2020; Liu & Chahl, 2021 |
| 2  | Monitoring Hama Menggunakan Kamera, Sensor Citra, dan Perangkat Digital   | Kelompok jurnal yang menitikberatkan pada pengembangan sistem monitoring hama berbasis kamera digital, perangkat feromon otomatis, serta sensor citra terintegrasi. Teknologi ini memungkinkan pengamatan populasi hama secara kontinu, objektif, dan jarak jauh, menggantikan metode manual yang memakan waktu dan bersifat subjektif. Sangat relevan untuk monitoring OPT skala luas dan berkelanjutan.                                                                                                                                                               | Ramalingam et al. 2020; Schrader et al. 2022; Rustia et al. 2020; Diller et al. 2023; Mendoza et al. 2023        |
| 3  | Pemanfaatan UAV/Drones untuk Monitoring dan Manajemen Hama Presisi        | Kelompok jurnal yang mengkaji penggunaan drone (UAV) untuk pemetaan, deteksi, dan pengambilan data OPT secara spasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa UAV mampu meningkatkan cakupan area pengamatan, resolusi data, dan ketepatan pengambilan keputusan dalam pengendalian hama berbasis lokasi ( <i>site-specific pest management</i> ). Teknologi ini sangat mendukung konsep pertanian presisi dan PHT modern.                                                                                                                                                  | Filho et al. 2020; Hunter et al. 2020; Sorbelli et al. 2023                                                      |
| 4  | Deteksi Dini Serangan Hama dan Interaksi Serangga–Tanaman                 | Kelompok jurnal yang berfokus pada deteksi dini serangan hama sebelum muncul gejala visual yang parah, menggunakan teknologi sensor non-destruktif seperti <i>electronic nose</i> (E-nose), <i>near-infrared spectroscopy</i> (NIRS), dan analisis citra lanjutan. Temuan ini penting dalam PHT karena memungkinkan tindakan pengendalian lebih awal, efisien, dan ramah lingkungan.                                                                                                                                                                                    | Fuentes et al. 2021; Grijalva et al. 2023                                                                        |
| 5  | Sistem Monitoring Hama Terintegrasi dengan IoT dan Otomasi                | Kelompok jurnal yang mengembangkan sistem monitoring hama berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor, kamera, AI, dan komunikasi data secara real-time. Sistem ini memungkinkan pengumpulan, analisis, dan pelaporan data OPT secara otomatis, mendukung pengambilan keputusan cepat dan akurat dalam skala                                                                                                                                                                                                                                                              | Ramalingam et al. 2020; Rustia et al. 2020; Martin et al. 2021; Mendoza et al. 2023                              |

| No | Topik Bahasan                                                                      | Penjelasan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Jurnal                                   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 6  | Implementasi Teknologi Monitoring OPT dalam Kerangka PHT dan Pengambilan Keputusan | lapangan hingga regional. Sangat relevan untuk pengembangan smart farming dan pertanian digital.<br>Kelompok jurnal yang membahas bagaimana teknologi monitoring OPT digunakan sebagai alat pendukung keputusan dalam PHT, termasuk sistem peringatan dini, berbagi data, dan kolaborasi antar pemangku kepentingan. Studi-studi ini menegaskan bahwa adopsi teknologi digital dapat meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pengelolaan hama terpadu. | Rossi et al. 2023;<br>Qiulin et al. 2022 |

Selain pendekatan berbasis citra, hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan UAV/drone dan sensor non-destruktif memperkuat kemampuan monitoring melalui pendekatan spasial dan deteksi dini serangan hama. Drone memungkinkan pemetaan distribusi hama secara presisi dan mendukung pengendalian berbasis lokasi, sementara teknologi seperti *electronic nose* dan *near-infrared spectroscopy* mampu mendeteksi respons fisiologis tanaman sebelum gejala visual muncul. Kombinasi teknologi ini berpotensi mengurangi keterlambatan tindakan pengendalian dan menekan penggunaan pestisida kimia. Namun, adopsinya masih menghadapi kendala biaya, kebutuhan keahlian teknis, dan keterbatasan infrastruktur. Kondisi ini menunjukkan perlunya penyesuaian teknologi agar sesuai dengan karakteristik agroekosistem lahan kering.

Lebih lanjut, temuan SLR menegaskan bahwa integrasi sistem monitoring hama berbasis IoT dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT) memberikan kontribusi nyata terhadap pengambilan keputusan berbasis data. Sistem ini memungkinkan pengumpulan dan analisis data populasi hama secara *real-time*, sehingga penerapan ambang kendali dapat dilakukan secara lebih tepat dan efisien. Keberhasilan implementasi teknologi tidak hanya ditentukan oleh performa teknis, tetapi juga oleh kesiapan petani, dukungan kelembagaan, dan sistem penyuluhan. Dengan integrasi yang baik, teknologi monitoring digital berpotensi menjadi komponen kunci dalam pengelolaan hama yang berkelanjutan. Pendekatan ini membuka peluang pengembangan sistem PHT yang lebih presisi, adaptif, dan ramah lingkungan.

### 3.2 Perkembangan Teknologi Smart-Trap Berbasis IoT dalam Monitoring Hama Cabai Lahan Kering

Hasil *systematic literature review* (SLR) menunjukkan bahwa teknologi *smart-trap* berbasis *Internet of Things* (IoT) berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan monitoring hama yang akurat dan berkelanjutan. Integrasi kamera digital, sensor lingkungan, dan kecerdasan buatan menjadi karakter utama sistem *smart-trap* modern. Berbagai studi melaporkan bahwa algoritma *deep learning* seperti YOLO, CNN, ResNet, dan DPeNet mampu mendeteksi dan mengidentifikasi serangga hama secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi (Liu and Chahl, 2021; Verma et al., 2021; Amrani et al., 2022; Zhao et al., 2022). Dalam konteks budidaya cabai lahan kering di NTB, kemampuan deteksi cepat ini sangat penting karena tanaman cabai rentan terhadap serangan hama sejak fase awal pertumbuhan.

Perkembangan *smart-trap* juga ditandai oleh kemajuan sistem komunikasi data berbasis IoT yang memungkinkan pengiriman data populasi hama secara kontinu. Integrasi sensor dan jaringan nirkabel memungkinkan data dikirim secara *real-time* ke *platform* berbasis *cloud* atau perangkat pengguna (Ramalingam et al., 2020; Rustia et al., 2020). Sistem ini mendukung pemantauan jarak jauh dan respon pengendalian yang lebih cepat di tingkat lapangan. Bagi petani cabai lahan kering NTB yang menghadapi keterbatasan tenaga kerja dan sebaran lahan yang luas, fitur ini memberikan efisiensi operasional yang signifikan.

Selain sistem berbasis kamera statis, hasil kajian menunjukkan adanya diversifikasi *platform smart-trap*. Pengembangan mencakup perangkat feromon otomatis, sistem monitoring berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), serta integrasi drone untuk pemetaan spasial distribusi hama (Filho et al., 2020; Sorbelli, Palazzetti and Pinotti, 2023). Teknologi UAV memungkinkan pengamatan area yang lebih luas dan identifikasi zona serangan hama secara presisi. Pendekatan ini relevan untuk pertanaman cabai di NTB yang umumnya berada pada hamparan terbuka dan terpapar kondisi lingkungan ekstrem.

Meskipun perkembangan teknologi berlangsung pesat, sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem pertanian intensif dan wilayah beriklim sedang. Dataset pelatihan model AI umumnya berasal dari lingkungan terkendali, sehingga adaptasinya pada agroekosistem cabai lahan kering tropis masih terbatas. Kondisi iklim kering, variasi cahaya, dan struktur tajuk tanaman cabai di NTB berpotensi memengaruhi akurasi sistem deteksi. Oleh karena itu, pengembangan *smart-trap* perlu diarahkan pada penyesuaian teknologi dan data yang sesuai dengan kondisi lokal NTB.

### 3.3 Efektivitas Smart-Trap dalam Mendukung Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) Cabai

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa *smart-trap* berbasis IoT berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efektivitas penerapan Pengelolaan Hama Terpadu (PHT). Salah satu keunggulan utama teknologi ini adalah kemampuannya dalam mendeteksi peningkatan populasi hama sebelum muncul gejala kerusakan visual pada tanaman (Fuentes et al., 2021; Grijalva, Spiesman and McCornack, 2023). Deteksi dini memungkinkan tindakan pengendalian dilakukan secara preventif. Dalam budidaya cabai lahan kering NTB, pendekatan ini sangat penting untuk mencegah kerugian hasil yang bersifat *irreversible*.

*Smart-trap* juga menghasilkan data kuantitatif yang objektif dan berkelanjutan mengenai kepadatan populasi hama. Studi berbasis *deep learning* melaporkan akurasi tinggi dalam estimasi populasi dan klasifikasi serangga di lapangan (Segalla, Fiaccio and Tamarin, 2020; Guo et al., 2023). Data ini mengurangi ketergantungan pada penilaian subjektif petani yang sering kali tidak



konsisten. Dalam konteks PHT cabai NTB, informasi kuantitatif tersebut memperkuat penetapan ambang kendali yang lebih rasional dan berbasis kondisi aktual.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *smart-trap* berkontribusi dalam pengurangan aplikasi pestisida kimia. Keputusan pengendalian yang berbasis data monitoring memungkinkan aplikasi pestisida dilakukan secara selektif dan tepat sasaran (Hunter et al., 2020; Diller et al., 2023). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip PHT yang menekankan efisiensi dan keberlanjutan. Bagi petani cabai di NTB, pengurangan pestisida berdampak langsung pada penurunan biaya produksi dan peningkatan keamanan hasil.

Integrasi *smart-trap* dengan sistem pendukung keputusan *Decision Support System* (DSS) memperkuat implementasi PHT secara kelembagaan. Studi (Rossi et al., 2023) dan (Qiulin and Juan, 2022) menunjukkan bahwa berbagi data monitoring dan rekomendasi berbasis teknologi meningkatkan konsistensi penerapan PHT oleh petani. *Smart-trap* berfungsi sebagai penghubung antara data lapangan, penyuluh, dan kebijakan pengendalian. Dalam sistem pertanian cabai NTB, integrasi ini berpotensi memperkuat koordinasi pengendalian hama secara kolektif.

### 3.4 Peluang dan Kendala Penerapan Smart-Trap pada Budidaya Cabai Lahan Kering NTB

Hasil SLR menunjukkan bahwa penerapan *smart-trap* berbasis IoT memiliki peluang besar untuk meningkatkan efisiensi monitoring OPT pada budidaya cabai lahan kering di NTB. Pengembangan sistem perangkat berbiaya rendah dan berbasis open-source dinilai sesuai dengan karakteristik petani cabai skala kecil (Ramalingam et al., 2020; Schrader et al., 2022). Selain itu, kondisi iklim kering relatif menguntungkan bagi stabilitas perangkat elektronik. Faktor ini membuka peluang pengembangan sistem monitoring yang lebih tahan lama dan ekonomis.

Namun demikian, kajian juga mengidentifikasi kendala teknis yang berpotensi menghambat implementasi teknologi. Keterbatasan jaringan internet, pasokan listrik, dan kebutuhan pemeliharaan perangkat menjadi tantangan utama di wilayah lahan kering (Rustia et al., 2020; Mendoza et al., 2023). Gangguan pasokan energi dapat menurunkan keandalan sistem IoT. Oleh karena itu, pengembangan *smart-trap* perlu mempertimbangkan solusi energi alternatif dan sistem komunikasi yang adaptif.

Kendala lain yang muncul berkaitan dengan akurasi model deteksi hama. Sebagian besar algoritma *deep learning* dilatih menggunakan dataset dari wilayah dan komoditas yang berbeda, sehingga performanya dapat menurun ketika diterapkan pada agroekosistem cabai NTB. Studi (Liu and Chahl, 2021) menegaskan pentingnya pengayaan dataset lokal untuk meningkatkan generalisasi model. Hal ini menunjukkan bahwa adaptasi teknologi harus disertai dengan proses lokalisasi data dan kalibrasi sistem.

Dari aspek sosial-ekonomi, tingkat literasi digital petani dan biaya investasi awal menjadi faktor penentu adopsi teknologi. Beberapa penelitian menekankan bahwa adopsi akan lebih efektif jika disertai pendampingan dan dukungan kelembagaan (Qiulin and Juan, 2022; Rossi et al., 2023). Dalam konteks NTB, peran penyuluh pertanian menjadi sangat strategis sebagai jembatan antara teknologi dan praktik lapangan. Pendekatan partisipatif diperlukan agar *smart-trap* dapat diterima dan dimanfaatkan secara berkelanjutan.

### 3.5 Implikasi dan Rekomendasi Adaptasi Smart-Trap untuk PHT Cabai Lahan Kering NTB

Berdasarkan hasil pembahasan, *smart-trap* berbasis IoT memiliki implikasi strategis dalam pengembangan sistem PHT cabai lahan kering di NTB. Teknologi ini berpotensi menjadi sistem peringatan dini yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Integrasi *smart-trap* dengan praktik PHT memungkinkan pengendalian hama dilakukan secara lebih presisi. Dalam jangka panjang, pendekatan ini berpotensi meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha tani cabai.

Rekomendasi adaptasi teknologi diarahkan pada penggunaan perangkat yang sederhana, berbiaya relatif rendah, dan mudah dioperasikan oleh petani. Sistem *smart-trap* sebaiknya difokuskan pada hama utama cabai lahan kering dan diintegrasikan dengan ambang kendali lokal. Penggunaan model AI yang fleksibel dan dapat diperbarui secara bertahap menjadi strategi penting. Pendekatan ini memungkinkan teknologi berkembang seiring peningkatan kapasitas pengguna.

Dari sisi kelembagaan, keberhasilan implementasi *smart-trap* sangat bergantung pada dukungan sistem penyuluhan dan kebijakan daerah. Kolaborasi antara petani, penyuluh, peneliti, dan pemangku kepentingan menjadi prasyarat penting (Qiulin and Juan, 2022; Rossi et al., 2023). Integrasi data monitoring ke dalam sistem peringatan dini regional dapat memperkuat respon pengendalian secara kolektif. Hal ini relevan untuk karakteristik pertanian cabai di NTB yang berbasis komunitas.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa *smart-trap* berbasis IoT merupakan inovasi strategis dalam mendukung PHT cabai lahan kering NTB. Keberhasilan implementasi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kesesuaian konteks agroekologi dan sosial-ekonomi. Dengan adaptasi yang tepat, *smart-trap* berpotensi menjadi fondasi sistem monitoring hama yang efisien dan berkelanjutan. Temuan ini memberikan dasar ilmiah kuat bagi pengembangan PHT cabai berbasis teknologi digital.

## 4. Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa penerapan *smart-trap* berbasis *Internet of Things* (IoT) memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas monitoring hama pada budidaya cabai lahan kering di Nusa Tenggara Barat (NTB). Integrasi kamera digital, sensor mikroklimat, serta algoritma *deep learning* memungkinkan deteksi dini dan pemantauan populasi hama secara *real-time*, sehingga mendukung pengambilan keputusan pengendalian yang lebih cepat, objektif, dan berbasis ambang kendali.

Dalam kerangka Pengelolaan Hama Terpadu (PHT), teknologi ini berkontribusi nyata terhadap peningkatan presisi pengendalian dan pengurangan ketergantungan pada pestisida kimia.

Hasil sintesis literatur juga menegaskan bahwa smart-trap IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat teknis monitoring, tetapi juga sebagai komponen strategis dalam sistem pendukung keputusan yang menghubungkan data lapangan, penyuluh, dan kebijakan pengendalian. Namun demikian, keberhasilan implementasi di lahan kering NTB sangat dipengaruhi oleh kemampuan adaptasi teknologi terhadap kondisi agroekologi lokal, keterbatasan infrastruktur, serta tingkat literasi digital petani. Oleh karena itu, pengembangan *smart-trap* perlu diarahkan pada desain berbiaya rendah, tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, dan disertai pendampingan kelembagaan agar dapat diadopsi secara berkelanjutan dan memberikan dampak nyata terhadap peningkatan produktivitas cabai.

### Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Mataram atas fasilitas riset yang digunakan dalam penelitian ini.

### Pertimbangan Etika

Tidak perlu

### Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan

### Pendanaan

Penulis tidak menerima dukungan dana apapun

### Pernyataan penggunaan AI Generatif

Penulis tidak menggunakan Generative AI dalam menulis artikel ini

### Daftar Pustaka

- Agustinus Tamba, T., Darwin, S., Solaiman, G., & Reysan, J. (2024). Rancang Bangun Sistem Deteksi Hama Tanaman Whiteflies Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel dan Aplikasi Web Design and Development of a Whiteflies Plant Pest Detection System Based on Wireless Sensor Networks and Web Applications. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 16(2), 2024.
- Albanese, A., Nardello, M., & Brunelli, D. (2021). Automated Pest Detection with DNN on the Edge for Precision Agriculture. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 11(3), 458–467. <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2021.3101740>
- Amrani A, Soheli F, Diepeveen D, Murray D, Jones MGK. (2023) Insect detection from imagery using YOLOv3-based adaptive feature fusion convolution network. *Crop & Pasture Science* 74, 615–627. <https://doi.org/10.1071/CP21710>
- Chandra, R., & Collis, S. (2021). Digital agriculture for small-scale producers. *Communications of the ACM*, 64(12), 75–84. <https://doi.org/10.1145/3454008>
- da Silva Vieira, G., Rocha, B. M., Fonseca, A. U., de Sousa, N. M., Ferreira, J. C., Cabacinha, C. D., & Soares, F. (2022). Automatic detection of insect predation through the segmentation of damaged leaves. *Smart Agricultural Technology*, 2(April), 100056. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100056>
- Diller, Y., Shamsian, A., Shaked, B., Altman, Y., Danziger, B.-C., Manrakhan, A., Serfontein, L., Bali, E., Wernicke, M., Egartner, A., Colacci, M., Sciarretta, A., Chechik, G., Alchanatis, V., Papadopoulos, N. T., & Nestel, D. (2023). A real-time remote surveillance system for fruit flies of economic importance: sensitivity and image analysis. *Journal of Pest Science*, 96(2), 611–622. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01528-x>
- Eliopoulos, P., Tatlas, N. A., Rigakis, I., & Potamitis, I. (2018). A “smart” trap device for detection of crawling insects and other arthropods in urban environments. *Electronics (Switzerland)*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/electronics7090161>
- Fernando H Iost Filho, Wicke B Heldens, Zhaodan Kong, Elvira S de Lange, Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management, *Journal of Economic Entomology*, 113(1), 1–25, <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>
- Fuentes, S., Tongson, E., Unnithan, R. R., & Gonzalez Viejo, C. (2021). Early Detection of Aphid Infestation and Insect-Plant Interaction Assessment in Wheat Using a Low-Cost Electronic Nose (E-Nose), Near-Infrared Spectroscopy and Machine Learning Modeling. *Sensors*, 21(17), 5948. <https://doi.org/10.3390/s21175948>
- Grijalva, Ivan, Spiesman, Brian J., McCornack, Brian. (2023). Image classification of sugarcane aphid density using deep convolutional neural networks. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100089>
- Guo, Q., Wang, C., Xiao, D., & Huang, Q. (2023). Automatic monitoring of flying vegetable insect pests using an RGB camera and YOLO-SIP detector. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09952-w>

- Hunter, J. E., Gannon, T. W., Richardson, R. J., Yelverton, F. H., & Leon, R. G. (2020). Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management. *Pest Management Science*, 76(4), 1386–1392. <https://doi.org/10.1002/ps.5651>
- Hutasoit, R. T., Triwidodo, H., & Anwar, R. (2018). Biologi dan statistik demografi Thrips parvispinus Karny (Thysanoptera: Thripidae) pada tanaman cabai (*Capsicum annuum* Linnaeus). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 14(3), 107. <https://doi.org/10.5994/jei.14.3.107>
- Liu, Huajian, Chahl, Javaan Singh (2021). Proximal detecting invertebrate pests on crops using a deep residual convolutional neural network trained by virtual images. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 13-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.01.003>
- Mendoza, Q. A., Pordesimo, L., Neilsen, M., Armstrong, P., Campbell, J., & Mendoza, P. T. (2023). Application of Machine Learning for Insect Monitoring in Grain Facilities. *AI*, 4(1), 348-360. <https://doi.org/10.3390/ai4010017>
- Prabhakar, M., Rao, M. S., Timmanna, H., Prasad, T. V., & Kumar, N. V. (2024). Climate Change and its Impact on Pests of Dryland Crops. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development*, 39(2spl), 121–127. <https://doi.org/10.5958/2231-6701.2024.00025.7>
- Praseptiawan, M., Untoro, M. C., Millennium, L. V., & Affandi, M. (2022). Sistem Informasi Monitoring Lahan Pertanian dan Pengusiran Hama Berbasis Internet of Thing. *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 4(2), 162–170. <https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v4i2.460>
- Qiulin WU Juan ZENG Kongming WU (2022). RESEARCH AND APPLICATION OF CROP PEST MONITORING AND EARLY WARNING TECHNOLOGY IN CHINA. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 9, 19-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021411>
- Ramalingam, B., Mohan, R. E., Pookkuttath, S., Gómez, B. F., Sairam Borusu, C. S. C., Wee Teng, T., & Tamilselvam, Y. K. (2020). Remote Insects Trap Monitoring System Using Deep Learning Framework and IoT. *Sensors*, 20(18), 5280. <https://doi.org/10.3390/s20185280>
- Rossi, Vittorio, Caffi, Tito, Salotti, Irene, Fedele, Giorgia (2023). Sharing decision-making tools for pest management may foster implementation of Integrated Pest Management. *Food Security*, 15(6), 1459-1474. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01402-3>
- Rustia, Dan Jeric Arcega, Lin, Chien Erh, Chung, Jui-Yung, Zhuang, Yi-Ji, Hsu, Ju-Chun, Lin, Ta-Te (2020). Application of an image and environmental sensor network for automated greenhouse insect pest monitoring. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23, 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2019.11.006>
- Schrader, M. J., Smytheman, P., Beers, E. H., & Khot, L. R. (2022). An Open-Source Low-Cost Imaging System Plug-In for Pheromone Traps Aiding Remote Insect Pest Population Monitoring in Fruit Crops. *Machines*, 10(1), 52. <https://doi.org/10.3390/machines10010052>
- Segalla, Andrea, Fiacco, Gianluca, Tamarin, Luca, Nardello, Matteo, Brunelli, Davide (2020). Neural networks for Pest Detection in Precision Agriculture. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor). <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277657>
- Betti Sorbelli, Francesco, Palazzetti, Lorenzo, Pinotti, Cristina M. (2023/10/1). YOLO-based detection of Halyomorpha halys in orchards using RGB cameras and drones. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108228. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108228>
- Tiwari, A. K. (2024). Insect Pests in Agriculture Identifying and Overcoming Challenges through IPM. *Archives of Current Research International*, 24(3), 124–130. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i3651>
- S. Verma, S. Tripathi, A. Singh, M. Ojha, R. R. Saxena (2021). Insect Detection and Identification using YOLO Algorithms on Soybean Crop. TENCON 2021 - 2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON), JA - TENCON 2021 - 2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON)(SN - 2159-3450), 272-277. <https://doi.org/10.1109/TENCON54134.2021.9707354>
- Yasir, M., Hossain, A., & Pratap-Singh, A. (2025). Pesticide Degradation: Impacts on Soil Fertility and Nutrient Cycling. *Environments*, 12(8), 272. <https://doi.org/10.3390/environments12080272>
- Zhao, Nan, Zhou, Lei, Huang, Ting, Taha, Mohamed Farag, He, Yong, Qiu, Zhengjun (2022/11/1). Development of an automatic pest monitoring system using a deep learning model of DPeNet. *Measurement*, 203, 111970. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111970>