

Strategi Pengendalian Lalat Buah pada Komoditas Ekspor Hortikultura Indonesia: Tantangan dan Inovasi Pengelolaan Berkelanjutan

Arif Akbar Ma'rufah^{1*}, Utik Tri Wulan Cahya², Dennis Wibowo², Nurul Fitriarini³

¹Direktorat Perlindungan Hortikultura, Kementerian Pertanian, Indonesia

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas pertanian, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

³Badan Karantina Indonesia

*Korespondensi email: arifditlin@gmail.com

Abstrak

Komoditas hortikultura tropis Indonesia seperti mangga, jambu biji, belimbing, jeruk, dan manggis memiliki potensi besar dalam mendukung ekspor pertanian dan peningkatan pendapatan petani. Namun, keberadaan lalat buah dari genus *Bactrocera* menjadi kendala utama, karena dapat menyebabkan kehilangan hasil antara 40-80% bergantung spesies dan musim, sekaligus menjadi hambatan teknis pada sistem karantina tumbuhan di negara tujuan ekspor. Kajian literatur ini bertujuan mengulas status lalat buah pada komoditas hortikultura ekspor Indonesia, tantangan pengendaliannya, serta inovasi strategi pengelolaan berkelanjutan. Sumber yang digunakan meliputi artikel ilmiah terindeks, laporan teknis, dan publikasi terkait dari berbagai basis data akademik. Hasil kajian menunjukkan bahwa pengendalian lalat buah yang efektif memerlukan pendekatan terpadu, mencakup pemantauan populasi dengan perangkap atraktan metil eugenol, sanitasi kebun, pembungkusan buah, pengendalian hayati melalui parasitoid *Braconidae*, teknologi pascapanen, serta karantina tumbuhan yang ketat. Pendekatan *area-wide management* (AWM) terbukti mampu menekan populasi lalat buah hingga di bawah 1 lalat per perangkap per hari (FTD). Selain itu, teknologi pertanian presisi, data lingkungan, dan sistem peringatan dini membuka peluang pengelolaan yang lebih efisien. Pengelolaan lalat buah secara terpadu dari tingkat budidaya hingga ekspor merupakan langkah strategis dalam mendukung keberlanjutan produksi hortikultura dan daya saing buah Indonesia di pasar global.

Kata kunci: Ekspor hortikultura, Karantina tumbuhan, Lalat buah, Pengendalian hama terpadu, Pertanian berkelanjutan

Abstract

Indonesian tropical horticultural commodities mango, guava, starfruit, citrus and mangosteen have significant potential to support agricultural exports and increase farmer's income. However, fruit flies of the genus Bactrocera represent the primary biological constraint, causing yield losses of 40–80% depending on species, season, and locality, while also triggering phytosanitary rejections in major import countries. This systematic literature review aims to examine the status of fruit flies in Indonesian export horticultural commodities, the challenges of their management, and innovative sustainable control strategies. Sources include peer-reviewed articles, technical reports, and academic publications from multiple databases. The review indicates that effective management requires an integrated approach: population monitoring with methyl eugenol attractant traps, orchard sanitation, fruit bagging, biological control through Braconidae parasitoids, postharvest technologies, and effective quarantine enforcement. Area-wide management (AWM) has been demonstrated to reduce fruit fly populations below 1 fly per trap per day (FTD). Furthermore, precision agriculture technologies, environmental data systems, and early warning tools offer promising avenues for more efficient pest management. Integrated fruit fly management from cultivation through export is a strategic step for sustaining horticultural production and improving the competitiveness of Indonesian fruits in global markets.

Keywords: Export horticulture, Fruit flies, Integrated pest management, Plant quarantine, Sustainable agriculture

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen buah tropis terbesar di dunia. Komoditas hortikultura unggulan seperti mangga (*Mangifera indica* L.), jambu biji (*Psidium guajava*), belimbing (*Averrhoa carambola*), jeruk (*Citrus spp.*), dan manggis (*Garcinia mangostana*) memiliki permintaan tinggi di pasar internasional. Berdasarkan data Statistik Hortikultura BPS (2025), nilai ekspor mangga pada tahun 2024 mencapai US\$ 1,75 juta, meningkat 24,99% dibandingkan tahun 2023. Manggis secara konsisten menjadi primadona ekspor, dengan tujuan utama China, Hong Kong, dan negara-negara Asia Tenggara. Kondisi ini menunjukkan bahwa sektor hortikultura menyimpan potensi devisa yang sangat besar bagi perekonomian nasional.

Namun demikian, potensi besar ini terancam oleh keberadaan lalat buah dari famili *Tephritidae*, khususnya genus *Bactrocera*. Di Indonesia, telah diidentifikasi 62 spesies *Bactrocera*, dengan 26 di antaranya berasal dari Pulau Jawa (Haryono *et al.*, 2016 dalam Herrahmawati *et al.*, 2023). Spesies yang paling merusak secara ekonomi adalah *B. dorsalis*, *B. carambolae*, *B. albistrigata*, dan *B. umbrosa*. Lalat buah menyebabkan kerusakan langsung melalui aktivitas oviposisi betina ke dalam daging buah; larva yang menetas kemudian menggerogoti jaringan buah dan memicu pembusukan cepat akibat infeksi sekunder bakteri dan cendawan (Kardinan, 2003; Budiyan & Sukasana, 2020). Kerugian hasil akibat serangan lalat buah dapat mencapai 6,4–70% pada pertanaman mangga (Affandi *et al.*, 2023), dan bahkan 100% pada kondisi yang tidak dikendalikan (Susanto *et al.*, 2017; Sarwanto *et al.*, 2025).

Lalat buah juga merupakan organisme pengganggu tumbuhan karantina (OPTK) yang mendapat perhatian serius dari negara-negara importir. China memberlakukan *zero tolerance* terhadap lalat buah, kutu putih, dan kutu tempurung pada semua komoditas buah yang diimpor dari Indonesia (Badan Karantina Indonesia, 2024). Uni Eropa bahkan dilaporkan menolak seluruh pengiriman karena ditemukan satu saja buah yang terinfestasi (Methal *et al.*, 2025). Pada tahun 1981, Jepang pernah menolak ekspor buah Indonesia akibat lalat buah (Priyono, 2002 dalam Susanto *et al.*, 2020). Kondisi ini menegaskan bahwa pengendalian lalat buah bukan sekedar urusan budidaya, melainkan merupakan prasyarat mutlak untuk mempertahankan akses pasar ekspor hortikultura Indonesia.

Kajian yang komprehensif, terkini, dan berbasis bukti ilmiah tentang strategi pengendalian lalat buah dalam konteks rantai pasok ekspor hortikultura Indonesia masih sangat dibutuhkan. Paper ini bertujuan mengkaji secara sistematis status lalat buah pada

komoditas hortikultura ekspor Indonesia, mengidentifikasi tantangan utama dalam pengendaliannya, serta menelaah inovasi strategi pengelolaan berkelanjutan yang relevan dan dapat diterapkan. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi acuan ilmiah bagi pemangku kepentingan di sektor perlindungan hortikultura, karantina pertanian, dan kebijakan ekspor.

METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan kajian literatur sistematis (*systematic literature review*) dengan mengadaptasi panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*; Moher *et al.*, 2009 dalam Dias *et al.*, 2018). Sumber literatur dikumpulkan dari berbagai basis data akademik terindeks, di antaranya Google Scholar, Scopus, Web of Science, PubMed, dan ScienceDirect, menggunakan kata kunci: '*fruit fly*', '*Bactrocera*', '*Indonesia horticulture export*', '*integrated pest management*', '*area-wide management*', '*quarantine*', '*biological control*', dan kombinasinya. Pencarian difokuskan pada publikasi dalam rentang tahun 2000–2025, dengan penambahan sumber klasik yang tetap relevan.

Artikel yang digunakan dipilih berdasarkan kriteria inklusi berikut: (1) berkaitan langsung dengan ekologi, biologi, atau pengendalian lalat buah famili Tephritidae; (2) berfokus pada komoditas hortikultura tropis, khususnya dari kawasan Asia-Pasifik dan Indonesia; dan (3) memuat temuan empiris berupa data lapangan, penelitian eksperimental, atau kajian literatur dengan metodologi yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan. Sumber *grey literature* dari Badan Karantina Pertanian, BPS, dan laporan teknis Kementerian Pertanian juga digunakan sebagai pengayaan data konteks kebijakan. Total referensi yang dikaji mencapai lebih dari 35 publikasi ilmiah dan laporan teknis yang menjadi dasar argumen dalam paper ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Status Lalat Buah pada Komoditas Hortikultura Ekspor Indonesia

Bactrocera dorsalis merupakan spesies lalat buah paling dominan dan paling merusak di Indonesia. Spesies ini memiliki kisaran inang lebih dari 300 jenis tanaman dan menyebar dari dataran rendah hingga pegunungan (CABI, 2018 dalam Susanto *et al.*, 2020). Di samping *B. dorsalis*, spesies lain yang juga signifikan secara ekonomi antara lain *B. carambolae* pada belimbing dan mangga, *B. albistrigata* dan *B. umbrosa* pada berbagai komoditas hortikultura di Jawa Timur (Tarno *et al.*, 2025). Penelitian Herrahmawati *et al.* (2023) di kampus Universitas Indonesia, Depok, menemukan tujuh spesies lalat buah suku

Dacini yang aktif, dengan *B. dorsalis* mendominasi sebanyak 6.329 individu dari total tangkapan.

Populasi lalat buah bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi faktor lingkungan. Agustina *et al* (2025) meneliti dinamika populasi lalat buah pada cabai dan tomat di Kota Batu selama satu tahun penuh, dan menemukan bahwa puncak populasi *B. carambolae* dan *B. dorsalis* terjadi pada musim hujan dan periode transisi, dengan suhu dan kelembaban sebagai faktor penggerak utama, sementara frekuensi penyemprotan pestisida berpengaruh menekan populasi secara konsisten. Temuan ini menegaskan perlunya pemantauan populasi berbasis musim sebagai landasan pengambilan keputusan pengendalian.

Dari aspek kerugian ekonomi, serangan lalat buah pada mangga di Indonesia diperkirakan menyebabkan kerugian senilai 1,8–19,5 triliun rupiah per tahun (Affandi *et al.*, 2023). Di tingkat global, lalat buah menginfestasi lebih dari 400 spesies tanaman budidaya dan menyebabkan kerugian ekonomi-estetika antara 40–80% tergantung spesies, musim, dan lokasi (Methal *et al.*, 2025). Bahkan di India, kerugian tahunan akibat lalat buah pada mangga diperkirakan mencapai 19 triliun (Verghese & Rashmi, 2025).

Tantangan Pengendalian Lalat Buah di Rantai Ekspor

Tantangan utama pengendalian lalat buah di Indonesia bersifat multidimensi, mencakup aspek teknis, sosial, dan regulasi. Secara teknis, siklus hidup lalat buah yang tersembunyi di dalam buah mulai dari telur, tiga instar larva, hingga pupa di dalam tanah menyebabkan tahap yang paling merusak justru tidak dapat dijangkau oleh insektisida permukaan (Dias *et al.*, 2018; Tarno *et al.*, 2025). Betina meletakkan telur di bawah kulit buah dengan ovipositor, sementara larva yang menetas memakan daging buah dari dalam dan memicu infeksi sekunder (Budiyani & Sukasana, 2020).

Secara sosial-agronomis, sebagian besar petani mangga di Indonesia masih bertumpu pada strategi tunggal berbasis pestisida kimiawi, meskipun terbukti tidak efektif untuk hama ini (Wangithi *et al.*, 2021). Kusumo *et al* (2018 dalam Susanto *et al.*, 2020) melaporkan bahwa banyak petani mangga di Cirebon tidak menerapkan pestisida sintetik sesuai rekomendasi. Penggunaan pestisida golongan organofosfat, piretroid, dan neonikotinoid secara berlebihan justru memicu resistensi dan menekan musuh alami (Methal *et al.*, 2025; Tarno *et al.*, 2025). Tingkat parasitisme lalat buah pada komoditas hortikultura yang menerapkan insektisida di Jawa Timur hanya 1,03%, jauh lebih rendah dibanding komoditas tanpa insektisida (3,53%), yang mengindikasikan bahwa pestisida merusak populasi parasitoid alami (Tarno *et al.*, 2025).

Persyaratan karantina negara tujuan semakin diperketat. China mensyaratkan bahwa ekspor manggis dari Indonesia harus bebas dari OPTK seperti lalat buah, kutu putih, dan kutu tempurung, harus berasal dari kebun dan *packing house* teregistrasi, serta menerapkan GAP dan PHT (Badan Karantina Indonesia, 2024; Hortikultura Indonesia, 2024). Fenomena perubahan iklim turut memperumit situasi dengan memperluas sebaran geografis lalat buah dan memicu ledakan populasi lebih sering di kawasan hortikultura (Methal *et al.*, 2025; Agustina *et al.*, 2025).

Pemantauan Populasi: Perangkap Atraktan dan Teknologi Deteksi

Pemantauan populasi yang akurat merupakan fondasi dari setiap strategi PHT. Metil eugenol ($C_{12}H_{14}O_2$) adalah atraktan primer yang sangat efektif untuk lalat buah jantan genus *Bactrocera*. Zat ini bersifat mudah menguap, melepaskan aroma wangi dalam radius 20–100 m, dan dengan bantuan angin dapat mencapai jangkauan 3 km (Kardinan, 2003 dalam Susanto *et al.*, 2020). Penggunaan atraktan ini telah menjadi tulang punggung program pemantauan dan pemusnahan massal jantan (*male annihilation technique*/MAT) di banyak negara.

Berbagai model perangkap telah diuji efektivitasnya. Susanto *et al* (2020) membuktikan bahwa perangkap botol plastik mineral tanpa corong (model E) menangkap lalat buah paling banyak, yaitu rata-rata 134,76 individu per minggu, jauh lebih tinggi dibandingkan perangkap Steiner modifikasi (69,00). Transparansi botol dan banyaknya lubang berkontribusi pada kemampuan tangkap yang lebih tinggi, karena memudahkan deteksi aroma atraktan dari berbagai arah. Sementara itu, Verghese & Rashmi (2025) mengembangkan sistem perangkap cair Rashvee yang tahan iklim di India, efektif selama lebih dari 65 hari bahkan dalam kondisi curah hujan tinggi (>100 mm/hari) dan suhu 15–40 °C, dan terbukti tidak menangkap serangga berguna seperti lebah atau parasitoid.

Inovasi terkini mengarah pada deteksi dan pemantauan berbasis teknologi digital. Penggunaan perangkap cerdas yang dilengkapi sensor IoT, kecerdasan buatan untuk identifikasi otomatis, dan pemodelan prediktif berbasis data lingkungan (suhu, kelembaban, curah hujan) memungkinkan deteksi dini dan pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu (Agustina *et al.*, 2025; Maqsood *et al.*, 2025). Metode PCR juga telah dikembangkan untuk identifikasi spesies lalat buah dan agen hayati secara akurat di lapangan (Dias *et al.*, 2018).

Tantangan utama pengendalian lalat buah di Indonesia bersifat multidimensi, mencakup aspek teknis, sosial, dan regulasi. Secara teknis, siklus hidup lalat buah yang

tersembunyi di dalam buah mulai dari telur, tiga instar larva, hingga pupa di dalam tanah menyebabkan tahap yang paling merusak justru tidak dapat dijangkau oleh insektisida permukaan (Dias *et al.*, 2018; Tarno *et al.*, 2025). Betina meletakkan telur di bawah kulit buah dengan ovipositor, sementara larva yang menetas memakan daging buah dari dalam dan memicu infeksi sekunder (Budiyan & Sukasana, 2020).

Pengendalian Budidaya: Sanitasi Kebun, Pembungkusan dan MAT

Sanitasi kebun adalah metode mekanis yang menjadi pilar pertama PHT lalat buah. Cara ini dilakukan dengan mengumpulkan dan memusnahkan buah yang gugur, busuk, atau terinfestasi lalat buah, sehingga memutus siklus hidup hama di lapangan (Sarwanto *et al.*, 2025; Dinas Pertanian Buleleng, 2025). Simanjuntak & Mulyono (2019 dalam Sarwanto *et al.*, 2025) melaporkan bahwa sanitasi konsisten mampu menurunkan populasi *B. dorsalis* di kebun durian secara signifikan. Di Desa Gadingkulon, Malang, kombinasi sanitasi kebun dan perangkap kuning (*yellow trap*) yang diperkenalkan melalui KKN Universitas Sebelas Maret terbukti mendapat respons positif dari petani jeruk dan berhasil menekan infestasi lalat buah (Sarwanto *et al.*, 2025).

Pembungkusan buah (*fruit bagging*) secara fisik mencegah peletakkan telur oleh betina. Teknik ini umum diterapkan petani tradisional Indonesia menggunakan kantong plastik, koran, atau daun kelapa (Putra, 1997 dalam Susanto *et al.*, 2020). Bagi komoditas ekspor premium seperti mangga Gedong Gincu, pembungkusan tidak hanya berfungsi sebagai penghalang fisik lalat buah, tetapi juga meningkatkan mutu penampilan buah yang dipersyaratkan pasar ekspor.

Teknik pemusnahan massal jantan (MAT) dengan kombinasi atraktan metil eugenol dan insektisida dosis rendah (ATABRON/spinosad) pada perangkap berbentuk blok kayu merupakan salah satu komponen inti *Area-Wide Management* (AWM). Penggunaan protein *bait spray* juga efektif menarik betina yang kekurangan protein, terutama lalat berumur 10 hari yang mengalami defisit nutrisi protein, yang menunjukkan responsivitas tertinggi terhadap umpan protein (Maqsood *et al.*, 2025).

Pengendalian Hayati: Parasitoid, Entomopatogen, dan AW-IPM

Pengendalian hayati merupakan taktik yang paling banyak diteliti dalam manajemen lalat buah global mencapai 29% dari seluruh studi yang dikaji oleh Dias *et al.* (2018) dan menawarkan solusi ramah lingkungan dengan efek jangka panjang. Parasitoid dari famili *Braconidae* (*Hymenoptera*) merupakan agen hayati paling dominan. Di Jawa Timur, dua genus parasitoid pupa yang aktif pada komoditas hortikultura adalah

Diachasmimorpha spp. dan *Fopius* spp., dengan tingkat parasitisme rata-rata 3,53% pada komoditas tanpa perlakuan insektisida (Tarno *et al.*, 2025). Spesies *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) adalah parasitoid larval-pra-pupa koinobiont yang telah digunakan secara luas dalam program pelepasan augmentatif di Hawaii, Afrika, dan Amerika Latin untuk mengendalikan berbagai spesies *Bactrocera* (Mitra *et al.*, 2026).

Entomopatogen juga menunjukkan potensi yang menjanjikan. Cendawan *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* terbukti efektif dalam menginfeksi stadium larva dan pupa lalat buah di berbagai percobaan lapangan dan laboratorium (Mitra *et al.*, 2026). Nematoda entomopatogen seperti *Heterorhabditis bacteriophora* dan *Steinernema carpocapsae* dapat menyerang pupa lalat buah di dalam tanah fase yang umumnya terlindungi dari insektisida konvensional. Penggunaan agen hayati ini bersifat komplementer terhadap intervensi kimia dalam kerangka *Area-Wide Integrated Pest Management* (AW-IPM), yang direkomendasikan FAO/IAEA untuk pengendalian lalat buah berskala lanskap (Mitra *et al.*, 2026; Maqsood *et al.*, 2025).

***Area-Wide Management* (AWM): Bukti Lapangan dari Indonesia**

Area-Wide Management (AWM) merupakan pendekatan pengelolaan yang mengintegrasikan berbagai teknik secara simultan pada area yang luas, melampaui batas kepemilikan lahan individual. Affandi *et al* (2023) menerapkan AWM pada 115 ha perkebunan mangga Gedong Gincu di Indramayu dan Cirebon, Jawa Barat, dalam kurun Juli 2019–Desember 2020. Program ini menggabungkan tiga komponen utama: sanitasi buah gugur, pemasangan blok metil eugenol, dan penyemprotan protein bait secara berkelanjutan sepanjang musim.

Hasilnya sangat signifikan: AWM berhasil menekan populasi lalat buah di area perlakuan hingga di bawah 1 *Fly per Trap per Day* (FTD), sementara di area kontrol (kebun tanpa perlakuan) populasi tetap sangat tinggi, terutama dari arah utara dan barat yang berbatasan langsung dengan permukiman. Persentase buah mangga yang terinfestasi pada area perlakuan turun menjadi hanya 0–1% (Affandi *et al.*, 2023). Penelitian serupa di Thailand membutuhkan 2–5 tahun untuk mencapai $FTD \leq 1$, sementara di Meksiko hanya diperlukan 1–6 bulan, bergantung pada intensitas program dan kondisi ekologis setempat. Keberhasilan AWM memerlukan koordinasi antara petani, penyuluh, dan lembaga riset untuk memastikan penerapan yang komprehensif dan berkelanjutan.

Pengendalian Kimia: Peran, Keterbatasan, dan Resistensi

Pestisida kimia tetap menjadi alat yang penting dalam pengendalian lalat buah, terutama karena kecepatan dan jangkauan efektivitasnya yang luas. Bahan aktif yang umum digunakan mencakup organofosfat (malathion), piretroid, neonikotinoid, dan bioinsektisida modern seperti spinosad. Spinosad dalam formulasi umpan-semprot (protein bait) sangat efektif karena bersifat selektif dan meminimalkan paparan terhadap organisme non-target (Dias *et al.*, 2018; Methal *et al.*, 2025).

Namun, penggunaan pestisida konvensional yang berlebihan menghadirkan risiko serius. Penerapan insektisida yang masif terbukti menekan populasi parasitoid alami secara drastis tingkat parasitisme turun dari 3,53% menjadi hanya 1,03% pada komoditas yang disemprot insektisida (Tarno *et al.*, 2025). Di California, resistensi *B. oleae* terhadap spinosad telah muncul setelah penggunaan selama 10 tahun (Dias *et al.*, 2018). Selain itu, batas maksimal residu (MRL) yang diberlakukan oleh negara tujuan ekspor termasuk oleh EPA, EFSA, dan Codex Alimentarius semakin ketat, sehingga penggunaan pestisida pada hortikultura ekspor harus diperhitungkan secara cermat (Methal *et al.*, 2025). Pendekatan yang bijak adalah mengintegrasikan pestisida dalam rotasi dengan metode lain, menghindari aplikasi berulang dari golongan yang sama, dan memprioritaskan formulasi ramah lingkungan.

Teknologi Pascapanen dan Perlakuan Karantina

Perlakuan pascapanen merupakan lapisan pertahanan terakhir sebelum buah memasuki jalur distribusi internasional. *Vapor heat treatment* (VHT) dan *cold treatment* adalah perlakuan fitosanitari yang diakui secara internasional untuk membasmi telur dan larva lalat buah di dalam buah. Di India, teknologi disinvestasi termal pascapanen untuk mangga yang dikembangkan oleh DPPQS kini beroperasi di lebih dari 52 pusat global dan telah mendapat pengakuan dari negara-negara Uni Eropa (Verghese & Rashmi, 2025). Teknologi iradiasi juga telah terbukti efektif sebagai perlakuan karantina untuk berbagai spesies lalat buah pada kisaran dosis tertentu (Dias *et al.*, 2018).

Di Indonesia, sistem karantina yang dikelola Badan Karantina Indonesia mensyaratkan inspeksi berbasis sampling acak 2% dari volume ekspor manggis ke China, diikuti penerbitan Sertifikat Fitosanitari oleh petugas karantina di packing house teregistrasi (Badan Karantina Indonesia, 2024). Komoditas harus bebas dari semua OPTK hidup, menjalani perlakuan udara bertekanan, dan dikemas sesuai standar keamanan pangan internasional. Keberhasilan perlakuan karantina sangat bergantung pada kualitas

manajemen di hulu (kebun dan pascapanen), sehingga integrasi antara pengendalian di tingkat budidaya dan protokol karantina adalah keniscayaan.

Inovasi Teknologi: SIT, RNAi, dan Pertanian Presisi

Sterile Insect Technique (SIT) merupakan strategi pengendalian berbasis rekayasa populasi yang sangat menjanjikan. Jantan steril dilepaskan dalam jumlah besar untuk berkompetisi dengan jantan liar, sehingga persentase betina yang dibuahi menurun dan populasi menyusut secara progresif. Program SIT yang dikombinasikan dengan umpan kimiosterilan atau biopestisida menunjukkan efektivitas tinggi pada *Ceratitis capitata* di Eropa dan *Anastrepha spp.* di Amerika Latin (Dias *et al.*, 2018). Namun, SIT memerlukan fasilitas pembiakan massal yang tidak murah dan zona geografis yang relatif terisolasi untuk mencapai rasio steril:liar yang efektif (Maqsood *et al.*, 2025).

RNA interference (RNAi) merupakan frontier terkini dalam pengendalian lalat buah. Teknologi ini bekerja melalui pembisuan ekspresi gen target yang spesifik-spesies, sehingga menawarkan presisi tinggi dengan jejak ekologis minimal. Pemberian dsRNA yang menyasar gen metabolisme kunci pada *B. dorsalis* menunjukkan efek mortalitas yang kuat dan spesifik-target (Methal *et al.*, 2025). Meskipun demikian, tantangan regulasi, efisiensi penyerapan di lapangan, dan risiko terhadap organisme non-target termasuk parasitoid masih harus diatasi sebelum RNAi dapat dikomersialkan secara luas.

Pertanian presisi yang didukung IoT, sensor tanah, citra satelit, dan analitik prediktif menawarkan kemungkinan pengelolaan lalat buah yang jauh lebih efisien. Integrasi data iklim real-time dengan model dinamika populasi lalat buah memungkinkan sistem peringatan dini yang mampu memprediksi ledakan populasi sebelum terjadi, sehingga petani dapat bertindak proaktif (Agustina *et al.*, 2025; Maqsood *et al.*, 2025). Studi Agustina *et al* (2025) menunjukkan bahwa model regresi berbasis variabel lingkungan (suhu, kelembaban, curah hujan, intensitas cahaya) mampu menjelaskan 40,4% variasi populasi *B. dorsalis* pada tomat sebuah titik awal yang menjanjikan untuk pengembangan model prediksi yang lebih canggih.



Gambar 1. Kerangka Pengelolaan Lalat Buah Terpadu dari Hulu (Budidaya) hingga Hilir (Ekspor) dengan dukungan Teknologi Pertanian Presisi

KESIMPULAN DAN SARAN

Lalat buah, khususnya dari spesies *Bactrocera dorsalis* dan *B. carambolae*, merupakan ancaman nyata yang multi-dimensi bagi keberlanjutan ekspor hortikultura Indonesia. Dampaknya tidak hanya terukur dari sisi kehilangan hasil secara langsung, tetapi juga dari potensi diskualifikasi pasar ekspor akibat ketidakpatuhan terhadap persyaratan karantina fitosanitari internasional yang semakin ketat. Kajian ini membuktikan bahwa tidak ada satu pun metode tunggal yang mampu mengatasi permasalahan lalat buah secara tuntas. Strategi yang terbukti efektif dan berkelanjutan adalah pengelolaan hama terpadu (PHT) skala kawasan *Area-Wide Integrated Pest Management* (AW-IPM) yang menggabungkan pemantauan populasi dengan perangkat atraktan, sanitasi kebun secara rutin, pembungkusan buah, pengendalian hayati melalui pelepasan parasitoid dan entomopatogen, penggunaan pestisida selektif secara bijak, perlakuan karantina pascapanen, dan karantina tumbuhan yang ketat. Implementasi AWM di Indonesia terbukti mampu menekan populasi lalat buah hingga di bawah 1 FTD dan menurunkan infestasi buah mangga menjadi hanya 0–1%.

Dari perspektif kebijakan, beberapa langkah implikatif yang direkomendasikan adalah: (1) memperkuat program registrasi kebun dan packing house terakreditasi yang menerapkan GAP dan PHT sebagai prasyarat ekspor; (2) mengintegrasikan teknologi digital dan sistem peringatan dini dalam program monitoring lalat buah nasional; (3) meningkatkan kapasitas petugas karantina dan penyuluh pertanian dalam identifikasi spesies Tephritidae dan penerapan PHT; (4) mendorong penelitian dan pengembangan SIT dan RNAi di tingkat nasional; dan (5) memperkuat kolaborasi lintas sektor antara

Kementan, Badan Karantina Indonesia, dan asosiasi eksportir dalam implementasi AW-IPM berbasis kawasan produksi hortikultura ekspor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pelindungan Hortikultura, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, atas dukungan informasi dan data teknis dalam penyusunan kajian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada para peneliti dan akademisi yang publikasinya menjadi rujukan utama dalam tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Hendri, Emilda, D., Mansyah, E., De Faveri, S., Shanmugam, V. S., & Johnson, P. (2023). Implementation of area-wide management for fruit fly control strategy on Mango cv. Gedong Gincu in Indonesia. AIP Conference Proceedings, 2616, 040005. <https://doi.org/10.1063/5.0136405>
- Agustina, D. K., Leksono, A. S., Yanuwiadi, B., Rizali, A., Abdullah, S. A., & Abdullah, M. (2025). Effects of seasonal transitions on population dynamics of fruit flies in *Capsicum annum* and *Solanum lycopersicum* in Batu City, Indonesia. Biosaintifika, 17(1), 143–155.
- Badan Karantina Indonesia. (2024). Ekspor tumbuhan dan produk tumbuhan. <https://karantinaindonesia.go.id>
- Badan Pusat Statistik. (2025). Statistik Hortikultura 2024. BPS-Statistics Indonesia.
- Budiyani, N. K., & Sukasana, I. W. (2020). Pengendalian serangan hama lalat buah pada intensitas kerusakan buah cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) dengan bahan petrogenol. Agrica, 13(1), 15–26.
- Dias, N. P., Zotti, M. J., Montoya, P., Carvalho, I. R., & Nava, D. E. (2018). Fruit fly management research: A systematic review of monitoring and control tactics in the world. Crop Protection, 112, 187–200. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.019>
- Dinas Pertanian Kabupaten Buleleng. (2025). Strategi pengendalian hama lalat buah di perkebunan. <https://distan.bulelengkab.go.id>
- Herrahmawati, Q., Yuniati, R., & Yasman. (2023). Dacini tribe's fruit fly species in Depok (Indonesia) with special reference to the abundance of orchard fly, *Bactrocera dorsalis*, for fruit pest controlling. Biodiversitas, 24(4), 2447–2457. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240460>
- Kardinan, A. (2003). Tanaman Pengendali Lalat Buah. PT. Agro Media Pustaka.
- Maqsood, A., Zahid, M. T. B., Usman, H. M., Sattar, W., Raza, U., Aslam, K., Bilal, M., & Masood, F. (2025). Integrated ecological strategies for the management of fruit flies (*Bactrocera dorsalis* spp.) in citrus agroecosystems. Planta Animalia, 4(6), 421–433. <https://doi.org/10.71454/PA.004.06.0309a>
- Methal, U., Metlo, W. A., Javaid, A., Yasin, M., Fareed, M. I., Rehman, S. U., Siddique, M. A., Ijaz, M. M., Mahmood, T., & Zain, S. (2025). The role of pesticides in fruit

- fly management, balancing efficacy and environmental concerns. *Annual Methodological Archive Research Review*, 3(6), 147–155.
- Mitra, A., Mitra, P., Banerjee, D., & Das, M. (2026). Biological control strategies for sustainable management of Tephritid fruit flies: A review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 29(2), 851–878. <https://doi.org/10.9734/jabb/2026/v29i23685>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ*, 339, b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Sarwanto, P. S. A., Prasetyo, A., Pramonoputra, M. A. B., Badri, N. S., Januwar, C. E., Pranata, N. S., Pramesti, A. D., Margareta, A. D., Janah, A. W., Aslamy, F. G., & Rahadi, A. I. (2025). Pengendalian hama terpadu sebagai instrumen penguatan agrikultur berkelanjutan perkebunan jeruk di Desa Gadingkulon Kecamatan Dau Kabupaten Malang. *Manfaat: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Indonesia*, 2(3), 91–101. <https://doi.org/10.62951/manfaat.v2i3.462>
- Susanto, A., Sudarjat, Yulia, E., Permana, A. D., Gunawan, A., & Yudistira, D. H. (2020). Effectiveness of modified traps for protection against fruit flies in mango. *Jurnal Biodjati*, 5(1), 99–106. <https://doi.org/10.15575/biodjati.v5i1.7926>
- Tarno, H., Setiawan, Y., Sajidah, H. A., Zurlifarahma, M. U., Himma, N. A. I., Nurcahyani, R., Putra, A. M., Putri, R. E. S., Wang, J., & Hata, K. (2025). The occurrence of the tephritid fruit flies and their parasitoids on horticultural commodities under the insecticide application in East Java, Indonesia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24, 68. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00111-x>
- Verghese, A., & Rashmi, M. A. (2025). Biopesticide related climate-resilient strategies for fruit fly management in horticultural crops. *Journal of Biopesticides*, 18(2), 89–92. <https://doi.org/10.57182/jbiopestic.18.1.89-92>
- Wangithi, C. M., Muriithi, B. W., & Belmin, R. (2021). Adoption and dis-adoption of sustainable agriculture: A case of farmers' innovations and integrated fruit fly management in Kenya. *Agriculture*, 11, 338. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040338>