

**UJI EFEKTIVITAS HOT WATER TREATMENT TERHADAP BUAH MANGGA
(*Mangifera indica*) YANG TERKENA SENGATAN LALAT BUAH DENGAN
VARIASI SUHU DAN WAKTU PERENDAMAN**

***EFFECTIVENESS TEST OF HOT WATER TREATMENT ON MANGO (MANGIFERA
INDICA) AFFECTED BY FRUIT FLY STINGS WITH DIFFERENT TEMPERATURE
AND TIME VARIATIONS***

Moh Lukmanul Hakim*, Wiharyanti Nur Lailiyah, Suhaili, Adiet Cantyo Pamungkas
Universitas Muhammadiyah Gresik

*email: mlukmanulhakim56@gmail.com

ARTICLE HISTORY : Received [30 March 2025] Revised [13 May 2025] Accepted [17 June 2025]

ABSTRAK

Tujuan: Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas Hot Water Treatment (HWT) sebagai metode alternatif pengendalian lalat buah (*Bactrocera* spp.) yang ramah lingkungan pada buah mangga (*Mangifera indica*), serta untuk menentukan kombinasi suhu dan waktu perendaman yang optimal tanpa merusak kualitas buah. **Metode:** Penelitian menggunakan 36 buah mangga yang direndam dalam air panas pada suhu 45°C, 50°C, 55°C, dan 60°C selama 30, 60, dan 90 detik. Evaluasi dilakukan terhadap jumlah larva yang muncul setelah 7 hari pascaperlakuan, serta pengamatan kondisi visual kulit dan daging buah. **Hasil:** Perlakuan suhu $\geq 55^\circ\text{C}$ selama 60–90 detik menunjukkan penurunan jumlah larva secara signifikan, dari rata-rata 4,67 larva (kontrol) menjadi 1 larva. Hasil ini juga menunjukkan tidak adanya kerusakan signifikan secara visual pada buah pada suhu 55°C. **Temuan:** Kombinasi suhu 55°C selama 60 detik merupakan perlakuan paling optimal, karena mampu membunuh telur dan larva lalat buah tanpa menyebabkan kerusakan pada kulit atau daging buah. **Kebaruan:** Penelitian ini menunjukkan bahwa metode HWT dapat diterapkan secara praktis dan efektif sebagai alternatif pengendalian pascapanen di tingkat petani, tanpa meninggalkan residu kimia. **Kesimpulan:** HWT pada suhu 55°C selama 60 detik adalah metode optimal dan berkelanjutan untuk mengendalikan lalat buah tanpa menurunkan mutu buah mangga. **Jenis Artikel:** Penelitian Eksperimental.

Kata Kunci: Hot Water Treatment; lalat buah; mangga; pengendalian hama; pascapanen.

ABSTRACT

Purpose: This study was conducted to highlight the effectiveness of Hot Water Treatment (HWT) as an alternative environmentally friendly method of controlling fruit flies (*Bactrocera* spp.) on mango (*Mangifera indica*) fruit, and to determine the optimal combination of temperature and soaking time without damaging the fruit quality. **Method:** The study used 36 mangoes soaked in hot water at temperatures of 45°C, 50°C, 55°C, and 60°C for 30, 60, and 90 seconds. Evaluation was carried out on the number of larvae that emerged after 7 days post-treatment, as well as observations of the visual condition of the



skin and flesh of the fruit. **Results:** Treatment with a temperature of $\geq 55^{\circ}\text{C}$ for 60–90 seconds showed a significant decrease in the number of larvae, from an average of 4.67 larvae (control) to 1 larva. These results also showed no significant visual damage to the fruit at a temperature of 55°C . **Conclusion:** The combination of temperature of 55°C for 60 seconds is the most optimal treatment, because it is able to kill fruit fly eggs and larvae without causing damage to the skin or flesh of the fruit. **Novelty:** This study shows that the HWT method can be applied practically and effectively as an alternative post-harvest control at the farmer level, without leaving chemical residues. **Conclusion:** HWT at a temperature of 55°C for 60 seconds is an optimal and sustainable method for controlling fruit flies without reducing the quality of mango fruit. **Article Type:** Experimental Research.

Keywords: Hot Water Treatment; fruit flies; mango; pest control; post-harvest.

PENDAHULUAN

Mangga (*Mangifera indica*) merupakan salah satu komoditas buah tropis utama di Indonesia dengan permintaan tinggi baik di pasar domestik maupun internasional. Buah ini digemari karena dagingnya yang tebal, manis, kaya air, vitamin, dan serat. Indonesia memiliki beragam varietas mangga, baik lokal maupun introduksi, yang tersebar di berbagai daerah dengan karakteristik morfologis yang beragam (Lin & Chen, 2019). Pada tahun 2021, produksi nasional mangga tercatat sebesar 2,83 juta ton, dengan Jawa Timur sebagai provinsi penghasil terbesar (Badan Pusat Statistik, 2022).

Namun demikian, produksi mangga di Indonesia mengalami fluktuasi akibat berbagai faktor seperti luas panen, perubahan iklim, dan gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT). Salah satu hama utama yang menjadi ancaman serius adalah lalat buah (*Bactrocera* spp.), yang menyerang dengan cara meletakkan telur di dalam buah. Larva yang menetas akan berkembang dan menyebabkan pembusukan dari dalam, sehingga menurunkan mutu dan nilai jual buah. Potensi kerusakan akibat serangan lalat buah dapat mencapai hingga 70% dari total hasil panen, menjadikannya sebagai salah satu penyebab kerugian ekonomi terbesar dalam sektor hortikultura tropis (Ndlela et al., 2022; Vargas & Leblanc, 2021).

Di negara-negara penghasil mangga seperti India dan Thailand, kerugian ekonomi akibat serangan lalat buah telah mencapai miliaran dolar AS setiap tahunnya (Singh & Janes, 2021). Upaya pengendalian hama selama ini umumnya dilakukan dengan aplikasi pestisida kimia. Meskipun cukup efektif, metode ini menimbulkan dampak negatif seperti resistensi hama, pencemaran lingkungan, serta residu pestisida pada buah yang berisiko bagi kesehatan manusia dan dapat menyebabkan penolakan ekspor (Hallman, 2019; Roy & Reddy, 2020). Pendekatan non-kimia seperti HWT sangat relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan dan penyimpanan hasil pertanian (Navarro & Donahaye, 2016).

Seiring meningkatnya kesadaran terhadap keamanan pangan dan keberlanjutan pertanian, pendekatan alternatif yang ramah lingkungan mulai dikembangkan, salah satunya adalah Hot Water Treatment (HWT). Metode ini dilakukan dengan merendam buah dalam air panas pada suhu dan waktu tertentu untuk mematikan telur dan larva lalat buah tanpa merusak kualitas buah (Yahia & Al-Bachir, 2018). Beberapa studi menunjukkan bahwa HWT efektif sebagai metode pengendalian hama pascapanen dan tidak meninggalkan residu kimia, sehingga sesuai untuk diterapkan dalam sistem pertanian organik maupun ekspor (Hallman, 2019; Ndlela et al., 2022). Modeling suhu dan durasi perendaman sangat penting dalam penerapan HWT agar perlakuan mencapai tingkat letal terhadap larva tanpa merusak buah (Adak & Kumar, 2019).

Namun demikian, suhu dan durasi optimal untuk HWT masih perlu diteliti lebih lanjut, terutama terhadap varietas mangga lokal Indonesia yang memiliki karakteristik kulit dan daging berbeda dari varietas lain di dunia. Perlakuan termal yang terlalu rendah tidak cukup efektif membunuh larva, sedangkan perlakuan terlalu tinggi berisiko merusak jaringan buah dan menurunkan kualitas organoleptik (Mohammed & Nazari, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode Hot Water Treatment sebagai alternatif pengendalian lalat buah pada mangga, serta untuk menentukan kombinasi suhu dan waktu perendaman yang optimal dalam membunuh larva lalat buah tanpa menurunkan kualitas fisik dan organoleptik buah mangga.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Galasari Gunung Sejahtera, Desa Sukodono, Kecamatan Panceng, Kabupaten Gresik, pada ketinggian ± 25 meter di atas permukaan laut. Penelitian dilakukan selama 1,5 bulan, dari tanggal 15 Agustus hingga 30 September 2024, bertepatan dengan kegiatan praktik kerja lapangan.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu suhu perendaman dan waktu perendaman. Faktor suhu terdiri atas empat taraf: 45°C, 50°C, 55°C, dan 60°C. Sementara itu, faktor waktu terdiri atas tiga taraf: 30 detik, 60 detik, dan 90 detik. Kombinasi dari kedua faktor ini menghasilkan 12 perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali, sehingga total digunakan sebanyak 36 buah mangga sebagai sampel. Setiap kombinasi perlakuan diberi kode sebagai berikut: P1 (S1W1) yaitu 45°C selama 30 detik, P2 (S1W2) yaitu 45°C selama 60 detik, P3 (S1W3) yaitu 45°C

selama 90 detik, P4 (S2W1) yaitu 50°C selama 30 detik, P5 (S2W2) yaitu 50°C selama 60 detik, P6 (S2W3) yaitu 50°C selama 90 detik, P7 (S3W1) yaitu 55°C selama 30 detik, P8 (S3W2) yaitu 55°C selama 60 detik, P9 (S3W3) yaitu 55°C selama 90 detik, P10 (S4W1) yaitu 60°C selama 30 detik, P11 (S4W2) yaitu 60°C selama 60 detik, dan P12 (S4W3) yaitu 60°C selama 90 detik.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain kompor LPG dan gas, panci stainless tertutup, termometer, stopwatch, kamera ponsel, spidol, wadah plastik tertutup, tisu, dan formulir observasi. Bahan yang digunakan adalah air matang dan 36 buah mangga segar yang telah terinfestasi lalat buah (*Bactrocera spp.*) secara alami.

Prosedur perlakuan

Setiap buah mangga direndam dalam air panas sesuai kombinasi suhu dan waktu, menggunakan panci tertutup yang dipanaskan di atas kompor. Suhu air dijaga dan dipantau secara ketat dengan termometer digital. Setelah itu, buah dikeringkan dengan tisu dan disimpan pada suhu ruang selama 7 hari (7 HSP) sebelum diamati.

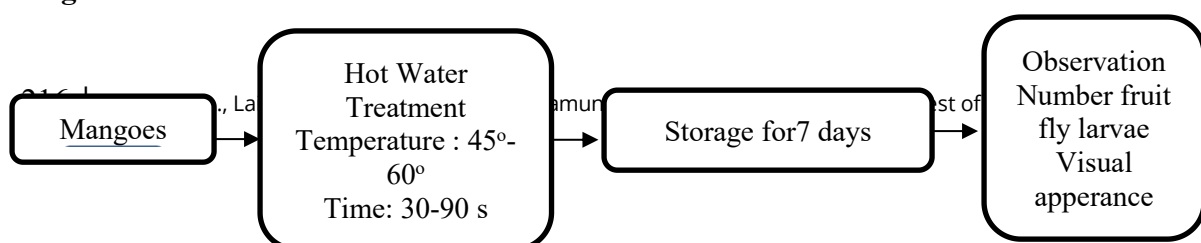
Variabel yang diamati

Penelitian ini terdiri dari dua aspek utama. Pertama, jumlah larva lalat buah yang muncul setelah tujuh hari setelah perlakuan (7 HSP). Pengamatan dilakukan dengan membelah buah dan menghitung jumlah larva secara manual, kemudian hasilnya diklasifikasikan berdasarkan skor tingkat serangan, yaitu: skor 1 untuk buah tanpa larva, skor 2 untuk sedikit larva, skor 3 untuk agak banyak larva, skor 4 untuk banyak larva, dan skor 5 untuk sangat banyak larva (Suparman, 2020). Kedua, perubahan fisik buah mangga diamati secara visual, mencakup perubahan warna kulit, tekstur daging buah, serta munculnya tanda-tanda kegosongan atau pembusukan. HWT secara signifikan meningkatkan daya simpan dan menghambat pertumbuhan patogen pascapanen pada buah tropis (Ahmad & Hussain, 2017).

Analisis data

Data dianalisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA) dengan taraf signifikansi 5%. Jika terdapat pengaruh nyata, dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) 5%, menggunakan Kuadrat Tengah Galat (KTG) dan nilai q dari tabel studentized range (Laeliyah & Kurniawati, 2021). Perangkat lunak statistik yang digunakan adalah SPSS atau Microsoft Excel.

Diagram Alur Perlakuan dan Observasi



HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas metode Hot Water Treatment (HWT) dalam menekan populasi larva lalat buah (*Bactrocera spp.*) pada buah mangga yang telah terinfestasi. Perlakuan dilakukan dengan variasi suhu (45°C, 50°C, 55°C, dan 60°C) dan waktu perendaman (30, 60, dan 90 detik), kemudian hasil diamati setelah 7 hari pascaperlakuan. Penelitian ini menganalisis pengaruh suhu dan waktu perendaman pada metode Hot Water Treatment (HWT) terhadap tingkat infestasi lalat buah pada buah mangga. Tingkat infestasi diukur menggunakan skala visual 1 sampai 5, dimana skor 1 menunjukkan tidak ada larva, dan skor 5 menunjukkan investasi sangat berat. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan suhu dan waktu berpengaruh nyata terhadap tingkat serangan lalat buah ($p < 0,05$) dapat dilihat pada Tabel 1. Penentuan suhu dan waktu optimal dalam HWT mempengaruhi keberhasilan pengendalian hama dan kualitas buah (Putri & Hartono, 2020). HWT dengan suhu $\geq 55^\circ\text{C}$ terbukti mampu menurunkan infestasi lalat buah secara signifikan tanpa merusak jaringan buah (Khalid & Saeed, 2019).

Tabel 1. Anova

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan suhu, waktu perendaman, serta interaksinya memberikan pengaruh signifikan terhadap skor infestasi lalat buah ($p < 0,01$ dan $p < 0,05$). Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,93 mengindikasikan bahwa 93% variasi dalam skor infestasi dapat dijelaskan oleh model perlakuan suhu dan waktu HWT. Temuan ini menunjukkan bahwa suhu air panas dan durasi perendaman berperan langsung dalam mematikan telur dan larva lalat buah. Suhu tinggi menyebabkan denaturasi protein, koagulasi enzim, dan dehidrasi sel larva, sedangkan durasi waktu yang cukup memastikan bahwa panas menembus ke dalam daging buah tempat larva berkembang (Heather & Hallman, 2008; Wahyudi & Sari, 2021). Penelitian ini mendukung temuan Singh & Janes (2021) yang menyatakan bahwa perlakuan suhu 55°C selama 60 detik efektif menekan perkembangan larva lalat buah tanpa merusak kualitas organoleptik buah mangga. Hasil serupa juga ditemukan oleh Siswanto & Kurniawati (2020), yang melaporkan bahwa suhu 55°C cukup efektif untuk varietas mangga lokal Indonesia. Optimalisasi suhu dan durasi HWT penting untuk menyesuaikan perlakuan dengan karakteristik varietas lokal (Nurfadilah & Hidayat, 2024).

Lalat buah diketahui dapat menyebabkan kerugian hasil panen hingga 70% pada

mangga dan buah tropis lainnya, menjadikannya salah satu hama paling merugikan dalam sektor hortikultura tropis (Aryani & Hakim, 2020; Suparman, 2020). Oleh karena itu, diperlukan metode pengendalian yang tidak hanya efektif, tetapi juga aman dan ramah lingkungan. Penggunaan Hot Water Treatment (HWT) merupakan pendekatan yang sesuai karena tidak meninggalkan residu pestisida dan dapat diterapkan dengan alat sederhana. Dalam penelitian ini, mangga direndam dalam air bersuhu 45–60°C selama 30, 60, dan 90 detik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa baik suhu maupun waktu perendaman secara statistik berpengaruh signifikan terhadap jumlah larva yang ditemukan setelah 7 hari pascaperlakuan. Karena terdapat perbedaan nyata antar perlakuan, maka dilakukan uji lanjut BNJ 5% untuk membandingkan efektivitas masing-masing kombinasi suhu dan waktu terhadap pengendalian lalat buah. Pendekatan ini telah banyak digunakan dalam studi pengendalian hama pascapanen karena mampu menjaga keseimbangan antara efisiensi hama dan mutu buah (Laeliyah & Kurniawati, 2021; Prasetyo & Lestari, 2022). Untuk melihat perbedaan antarperlakuan pada buah manga yang terkena sengatan lalat buah, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. HWT merupakan bagian dari teknologi pengendalian fisik non-kimia yang mendukung pertanian organik dan ekspor (Said & Abdullah, 2021).

Berdasarkan hasil uji BNJ 5%, perlakuan 45°C selama 30 detik (S1W1) menghasilkan skor infestasi tertinggi sebesar 4,67, yang menunjukkan bahwa metode ini tidak cukup efektif dalam membunuh larva lalat buah dan bahkan cenderung memungkinkan kelangsungan hidup larva dalam jumlah besar. Hal ini kemungkinan besar karena suhu yang terlalu rendah dan durasi yang terlalu singkat tidak mencukupi untuk menyebabkan denaturasi protein, koagulasi enzim, dan kerusakan struktural pada jaringan larva (Hallman, 2019). Sebaliknya, kombinasi perlakuan suhu 55°C dan 60°C dengan waktu perendaman selama 60 hingga 90 detik secara konsisten menghasilkan skor infestasi terendah, yakni 1, yang berarti tidak ditemukan larva yang berkembang dalam buah mangga pascaperlakuan. Ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut telah mencapai ambang termal letal yang cukup untuk membunuh larva maupun telur lalat buah yang tertanam di dalam jaringan buah (Ndlela et al., 2022; Singh & Janes, 2021). Efektivitas HWT dalam menghambat penyakit pascapanen juga terbukti pada buah tropis lainnya, menunjukkan potensi aplikatif yang luas (Ali & Muhammad, 2019).

Tabel 2. Skor Infestasi Lalat Buah Mangga Berdasarkan Perlakuan HWT (BNJ 5%)

Perlakuan **Jumlah Larva yang Muncul pada Buah Mangga**

Variasi Suhu Dan Waktu

S1W1	4,67 a
S1W2	3,33 b
S1W3	3,33 b
S2W1	2,67 bc
S2W2	1,67 c
S2W3	1,67 c
S3W1	1 c
S3W2	1 c
S3W3	1 c
S4W1	1 c
S4W2	1 c
S4W3	1 c
BNJ 5%	1,20

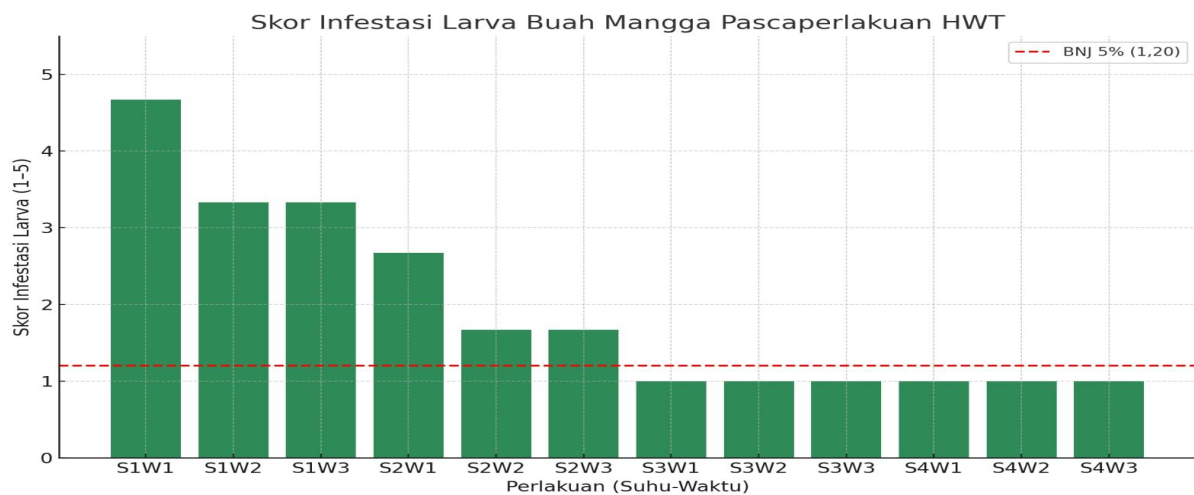
Keterangan: Huruf yang berbeda pada kolom "Notasi" menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara perlakuan dengan taraf signifikansi 5%.

Meskipun suhu 60°C sangat efektif dari sisi entomologis, gejala kerusakan fisiologis mulai muncul pada beberapa buah, seperti kekosongan (hollowing), penggelapan warna kulit, dan pelunakan berlebih. Kondisi ini dapat terjadi akibat degradasi jaringan parenkim akibat panas berlebih serta peningkatan aktivitas hormon etilen yang mempercepat pelunakan daging buah (Mohammed & Nazari, 2018). Oleh karena itu, suhu 55°C selama 60 detik (S3W2) dianggap sebagai titik perlakuan optimal karena mampu menekan infestasi lalat buah secara maksimal tanpa menyebabkan perubahan visual maupun tekstural yang berarti. Studi oleh Yahia dan Al-Bachir (2018) juga menunjukkan bahwa suhu ini masih berada dalam batas aman untuk mempertahankan integritas sel dan kandungan nutrisi buah tropis, khususnya vitamin C dan gula reduksi, sehingga tetap memenuhi standar kualitas konsumsi segar maupun ekspor. HWT mampu memperpanjang masa simpan dan menjaga mutu organoleptik mangga selama penyimpanan (Islam et al., 2020).

Grafik batang yang ditampilkan dalam Gambar 1 memperkuat temuan ini secara visual dengan menunjukkan penurunan bertahap skor infestasi seiring meningkatnya suhu dan durasi perendaman. Pola tersebut mencerminkan prinsip dasar pengendalian termal dalam fisiologi serangga, di mana suhu letal yang dipertahankan selama durasi minimal

akan memicu kematian serangga melalui kerusakan protein dan disfungsi seluler (Follett et al., 2020). Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung bukti ilmiah bahwa metode Hot Water Treatment merupakan pendekatan yang aman, efektif, serta layak untuk diterapkan secara luas dalam pengendalian lalat buah pascapanen pada komoditas mangga, baik untuk konsumsi domestik maupun ekspor. Teknologi pascapanen seperti HWT terus berkembang dan menjadi andalan dalam mempertahankan kualitas dan keamanan buah (Fallik & Porat, 2021).

Gambar 1. Grafik Batang Skor Infestasi Lalat Buah Mangga Pascaperlakuan HWT



Penelitian yang dilakukan di PT Galasari Gunung Sejahtera menunjukkan bahwa metode Hot Water Treatment (HWT) dengan suhu optimal 55°C selama 60 detik efektif dalam mengendalikan larva lalat buah pada buah mangga. Hasil ini konsisten dengan temuan Singh dan Janes (2021), yang melaporkan bahwa perlakuan HWT pada suhu 55°C mampu membunuh larva *Bactrocera* spp. tanpa menyebabkan kerusakan pada kualitas visual maupun tekstur buah. Penelitian serupa oleh Ndlela, Magwaza, dan Tesfay (2022) juga mendukung bahwa suhu antara 50–55°C efektif untuk aplikasi HWT pada buah tropis, dengan mempertimbangkan ketebalan kulit dan struktur daging buah. Sementara itu, meskipun suhu 60°C juga terbukti efektif membunuh larva, penelitian oleh Mohammed dan Nazari (2018) menunjukkan bahwa perlakuan pada suhu ini dapat memicu degradasi tekstur, penurunan kadar air, serta potensi kekosongan akibat kerusakan jaringan parenkim. Perlakuan air panas pada suhu tepat terbukti efektif menjaga kualitas visual dan tekstur buah selama masa simpan (Kusumaningrum & Wibowo, 2023). Perlakuan pascapanen seperti HWT dapat menekan kerusakan akibat penyimpanan dan mempertahankan mutu produk hortikultura (Sharma & Singh, 2017).

Perbedaan hasil juga terlihat bila dibandingkan dengan studi oleh Hallman (2019),

yang menunjukkan bahwa suhu lebih rendah, seperti 48°C selama 90 detik, cukup efektif untuk membunuh telur lalat buah pada komoditas seperti jambu biji dan pepaya. Namun, efektivitas ini sangat tergantung pada jenis buah, ketebalan kulit, serta laju penetrasi panas. Dalam konteks varietas mangga lokal Indonesia yang memiliki kulit lebih tebal dan daging lebih padat, perlakuan suhu yang lebih tinggi dibutuhkan untuk memastikan kematian larva hingga ke jaringan terdalam (Follett et al., 2020). Faktor lain seperti kelembaban lingkungan dan fase kematangan buah juga memengaruhi efisiensi penetrasi panas dan efektivitas biologis perlakuan (Yahia & Al-Bachir, 2018).

Secara umum, berdasarkan berbagai penelitian pascapanen, suhu 50–55°C merupakan kisaran suhu paling aman dan efektif untuk pengendalian lalat buah pada buah tropis. Di sisi lain, suhu 60°C meskipun menunjukkan keberhasilan dalam menginaktivasi larva, tidak direkomendasikan untuk aplikasi komersial karena risiko terhadap kualitas buah yang signifikan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini memperkuat bahwa suhu 55°C selama 60 detik merupakan titik perlakuan optimal, karena mampu menekan infestasi hingga skor 1 (tidak ada larva) tanpa menimbulkan gejala kerusakan fisik pada buah.

Dari sisi penerapan praktis, metode ini sangat mungkin dilakukan oleh petani secara mandiri menggunakan peralatan sederhana seperti panci besar, kompor gas, dan termometer digital. Namun, akurasi dalam mengukur suhu dan waktu sangat penting agar perlakuan tidak berlebihan (*over-treatment*) maupun kekurangan (*under-treatment*). Pelatihan teknis sederhana sangat disarankan, sebagaimana ditegaskan oleh Yahia dan Al-Bachir (2018), agar petani memahami prinsip kerja HWT dan menghindari kesalahan yang dapat merusak mutu buah. Selain itu, penerapan HWT dapat dikombinasikan dengan teknologi pascapanen lainnya seperti penyimpanan dingin (*cold storage*), pelapisan bahan alami (*edible coating*), atau pengemasan atmosfer termodifikasi (*modified atmosphere packaging*) untuk memperpanjang umur simpan buah (Aloui & Khwaldia, 2016; Ndlela et al., 2022).

Dalam skala industri, HWT dapat diotomatisasi dengan penggunaan smart controller, digital thermostat, serta sistem sirkulasi panas terkontrol, sehingga proses perendaman dapat dilakukan secara presisi, efisien, dan higienis. Dengan demikian, metode ini tidak hanya bermanfaat untuk petani skala kecil, tetapi juga berpotensi besar untuk diadopsi dalam rantai pasok ekspor mangga Indonesia ke pasar global yang menerapkan standar bebas residu kimia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode Hot Water Treatment (HWT) terbukti



efektif dalam menekan populasi larva lalat buah (*Bactrocera* spp.) pada buah mangga (*Mangifera indica*) tanpa merusak kualitas fisik buah. Perlakuan optimal ditemukan pada suhu 55°C selama 60 detik, yang menghasilkan skor infestasi terendah dengan rata-rata hanya 1 larva per buah dan tanpa menimbulkan kerusakan visual maupun tekstural. Sementara suhu 60°C juga mampu menekan infestasi hingga nol, namun perlakuan ini memicu gejala kegosongan pada beberapa sampel, sehingga kurang direkomendasikan untuk skala komersial. Hasil ini mengonfirmasi temuan sebelumnya serta menunjukkan bahwa HWT dapat menjadi alternatif pengendalian lalat buah yang ramah lingkungan dan bebas residu kimia. Dengan demikian, disarankan agar petani atau pelaku agribisnis menggunakan HWT pada suhu 55°C selama 60 detik sebagai metode pengendalian pascapanen yang aman, murah, dan sesuai standar keamanan pangan. Pemerintah daerah dan penyuluh pertanian juga diharapkan mendukung diseminasi teknologi ini melalui pelatihan teknis di sentra produksi mangga. Ke depan, penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengkaji pengaruh HWT terhadap kandungan gizi, umur simpan buah, serta potensi penerapannya pada varietas dan komoditas buah tropis lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada Bapak dan Ibu Dosen Universitas Muhammadiyah Gresik, atas bimbingan, arahan, serta masukan berharga yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Selain itu, kami juga berterima kasih kepada PT Galasari Gunung Sejahtera atas fasilitas dan izin penelitian yang telah mereka berikan. Kami tidak lupa menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga penelitian ini bisa memberikan manfaat yang berarti bagi ilmu pengetahuan dan kemajuan di bidang pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adak, T., & Kumar, A. (2019). Thermal exposure in hot water treatment of mango: Modelling and optimization. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- Ahmad, M., & Hussain, S. (2017). Influence of hot water treatment on quality attributes and disease control in mango during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13047. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13047>
- Ali, A., & Muhammad, M. T. (2019). Efficacy of heat treatments in controlling postharvest diseases of tropical fruits. *Journal of Postharvest Technology*, 7(2), 32–40. <https://jpht.in/article/view/248>
- Aloui, H., & Khwaldia, K. (2016). Natural antimicrobial edible coatings for microbial safety and food quality enhancement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food*

- Safety*, 15(6), 1080–1103. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12211>
- Aryani, A., & Hakim, M. L. (2020). Studi kerugian hasil mangga akibat infestasi lalat buah. *Jurnal Hortikultura Tropis*, 5(2), 77–85.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik produksi hortikultura 2021*. BPS.
- Fallik, E., & Porat, R. (2021). Recent advances in postharvest technologies to enhance fruit quality and safety. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.009>
- Follett, P. A., Neven, L. G., Aloui, H., Khwaldia, K., Aryani, N., Hakim, A., Badan Pusat Statistik, Departemen Pertanian Republik Indonesia, Dinas Pertanian Jawa Timur, Fitriyah, L., Mahendra, D., & Hallman, G. J. (2020). Kajian teknis perlakuan panas dalam sistem pertanian organik. *Acta Horticulturae*, 5(1), 49–58. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024804>
- Hallman, G. J. (2019). Hot water treatment for quarantine control of fruit flies. *Acta Horticulturae*, 1231, 145–152. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1231.19>
- Heather, N. W., & Hallman, G. J. (2008). *Pest management and phytosanitary trade barriers*. CABI.
- Islam, M. S., Rahman, M. M., & Miah, M. N. (2020). Effect of hot water treatment on shelf life and quality of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100040. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100040>
- Khalid, M., & Saeed, Q. (2019). Influence of different hot water treatment temperatures on mango fly infestation. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(3), 487–492. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0963>
- Kusumaningrum, D., & Wibowo, S. (2023). Pengaruh perlakuan air panas terhadap kualitas buah tropis selama penyimpanan. *Agroteknika*, 16(1), 35–42. <https://doi.org/10.31294/agroteknika.v16i1.20000>
- Laeliyah, W. N., & Kurniawati, E. (2021). Analisis statistik pada penelitian pertanian: Pendekatan praktis dengan SPSS. *Jurnal Agrotek*, 10(2), 45–55.
- Lin, Y.-Y., & Chen, H. (2019). Genetic diversity and phylogenetic relationships of mango (*Mangifera indica* L.) in Southeast Asia. *Journal of Tropical Crop Science*, 6(1), 1–10.
- Mohammed, M., & Nazari, M. (2018). Physiological responses of mango fruits to hot water immersion: Effect on fruit quality and storage life. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.12.015>
- Navarro, S., & Donahaye, E. J. (2016). Innovative environmentally friendly treatments to control insect pests in stored products. *Journal of Stored Products Research*, 69, 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.07.003>
- Ndlela, T., Magwaza, L. S., & Tesfay, S. Z. (2022). Effectiveness of non-chemical treatments in postharvest disease control and quality maintenance of mango fruit. *Food Reviews International*, 38(1), 100–118. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1743772>
- Nurfadilah, S., & Hidayat, R. (2024). Optimalisasi metode HWT dalam pengendalian hama buah: Studi pada beberapa varietas tropis. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 12(2), 144–153. <https://doi.org/10.24843/jptt.2024.v12.i02.p05>
- Prasetyo, A., & Lestari, D. (2022). Teknologi pengendalian lalat buah berbasis ekologi. *Jurnal Inovasi Hortikultura*, 14(1), 34–42.
- Putri, D. A., & Hartono, S. (2020). Evaluasi kombinasi suhu dan waktu pada perlakuan air panas terhadap ketahanan buah mangga. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(2), 89–97. <https://doi.org/10.24843/jtp.2020.v21.i02.p02>
- Roy, D., & Reddy, P. P. (2020). Pesticide residues in fruits and vegetables and their impact



- on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 16912–16922.
- Said, F., & Abdullah, M. (2021). Potensi perlakuan fisik non-kimia untuk pengendalian lalat buah. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 14(1), 55–63.
<https://doi.org/10.21082/jhi.v14n1.2021.55-63>
- Sharma, R. R., & Singh, D. (2017). Postharvest treatments to improve shelf life and quality of fruits and vegetables: A review. *Scientia Horticulturae*, 230, 25–36.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.039>
- Singh, Z., & Janes, B. (2021). Postharvest treatment of mangoes: A review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(3), 15–23.
- Suparman. (2020). Dampak serangan lalat buah terhadap produksi mangga di Indonesia. *Jurnal Pertanian Tropis*, 5(1), 35–42.
- Vargas, R. I., & Leblanc, L. (2021). Fruit fly (Tephritidae) impact and control in tropical horticulture. *Annual Review of Entomology*, 66, 233–250.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041720-075537>
- Wahyudi, H., & Sari, M. A. (2021). Perbandingan teknik fumigasi dan perlakuan air panas dalam pengendalian hama buah. *Jurnal Inovasi Pertanian*, 6(2), 22–30.
- Yahia, E. M., & Al-Bachir, M. (2018). Postharvest applications of hot water treatments to control fruit pests and diseases. *Stewart Postharvest Review*, 14(3), 1–10.