

Evaluasi Kinerja Penyemprotan Insektisida Pohon Manggis pada berbagai Pengaturan Sudut Semprot Menggunakan *Mobile Sprayer Machine*

Performance Evaluation of Insecticide Spraying on Mangosteen Trees under Various Spray Angle Settings Using a Mobile Sprayer Machine

Gatot Pramuhadi^{1,2*}, Teguh Alfari³, Ahmad Thoriq^{4,5}

¹ Divisi Teknik Biosistem, Fakultas Teknik dan Teknologi, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

² Pusat Pengembangan Ilmu Teknik untuk Pertanian Tropika (CREATA), IPB University, Bogor 16680, Indonesia

³ Alumni Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

⁴ Mahasiswa Pascasarjana Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

⁵ Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

*E-mail: gpramuhadi@apps.ipb.ac.id

Diterima: 18 November 2025; Disetujui: 28 Juni 2026

ABSTRAK

Pengendalian hama pada budidaya manggis (*Garcinia mangostana* L.) sangat penting untuk menjaga kualitas dan produktivitas buah. Penyemprotan insektisida secara manual umumnya memiliki keterbatasan dalam efisiensi waktu, kebutuhan tenaga kerja, dan ketepatan aplikasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *mobile sprayer machine* (MSM) yang terintegrasi dengan *knapsack power sprayer* (KPS) menggunakan pengaturan sudut semprot nosel 30°, 45°, dan 55° dalam aplikasi larutan insektisida pada pohon manggis. Pengujian laboratorium meliputi lebar semprot, jangkauan semprot, debit semprot, diameter *droplet*, dan kepadatan *droplet*, sedangkan pengujian lapang dilakukan untuk mengukur kapasitas lapang dan efisiensi lapang penyemprotan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan sudut semprot meningkatkan lebar semprot, jangkauan semprot, dan kualitas *droplet*. Kinerja terbaik diperoleh pada sudut 55°, dengan kapasitas lapang efektif sebesar 0,267 ha/jam, efisiensi lapang penyemprotan 90,28%, penurunan kehilangan larutan insektisida hingga 9,72% dibandingkan perlakuan lainnya, serta biaya aplikasi terendah sebesar Rp682.040/ha.

Kata kunci: Penyemprotan; sudut semprot; efisiensi lapang; kehilangan larutan; biaya aplikasi

ABSTRACT

Pest control in mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) cultivation is essential to maintain fruit quality and productivity. Manual insecticide spraying generally has limitations in terms of time efficiency, labor requirements, and application accuracy. This study aimed to evaluate the performance of a mobile sprayer machine (MSM) integrated with a knapsack power sprayer (KPS) using adjustable nozzle spray angles of 30°, 45°, and 55° for insecticide solution application on mangosteen trees. Laboratory testing included spray width, spray range, spray discharge, droplet diameter, and droplet density, while field testing was conducted to measure effective field capacity and field efficiency of spraying. The results showed that increasing the spray angle improved spray width, spray range, and droplet quality. The best performance was obtained at a spray angle of 55°, with an effective field capacity of 0.267 ha/h, spraying field efficiency of 90.28%, a reduction in insecticide solution loss of up to 9.72% compared to other treatments, and the lowest application cost of IDR 682,040/ha.

Keywords: Spraying; spray angle; field efficiency; solution loss; application cost

PENDAHULUAN

Manggis merupakan tanaman perenial dan berbuah musiman, memiliki karakter morfologi batang gilig dengan percabangan monopodial, tajuk berbentuk piramid (Nidyasari *et al.*, 2018). Manggis biasa disebut “queen of fruits” merupakan salah satu buah eksotik yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan potensi ekspor yang menjanjikan (Situmorang *et al.*, 2023). Pada tahun 2023 nilai ekspor manggis mencapai US\$ 112,26 juta, naik sebesar 48,35% (US\$ 36,58 juta) dari tahun 2022 (Badan Pusat S 2024). Namun, dalam proses budidayanya, pohon manggis rentan terhadap serangan berbagai jenis hama yang dapat menurunkan kualitas serta kuantitas hasil panen. Beberapa hama yang sering menyerang pohon manggis adalah pengorok daun dan parasitoid (Sofianto *et al.*, 2023).

Serangan hama tersebut dapat menyebabkan menurunnya kualitas buah dan gagal panen sehingga mengakibatkan kerugian bagi petani manggis (Farha Fitrahul Janah *et al.*, 2021; Rophita *et al.*, 2021). Salah satu upaya utama dalam pengendalian hama tersebut adalah dengan aplikasi insektisida (Sulandjari & Purnama, 2023).

Proses aplikasi zat aditif berupa pestisida memegang peranan penting dalam pengembangan sektor pertanian. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman budidaya sekaligus melindungi tanaman dari serangan hama yang dapat menurunkan produktivitas (Marno *et al.* 2020). Namun, penerapan insektisida secara manual pada tanaman manggis menghadapi berbagai kendala, terutama karena karakteristik pohon yang tinggi dan memiliki tajuk yang lebat (Nidyasari *et al.* 2018). Metode penyemprotan manual cenderung memerlukan waktu dan

tenaga yang besar serta kurang efektif dalam menjangkau seluruh bagian tanaman, khususnya pada bagian kanopi atas. Kondisi ini terjadi karena efektivitas penyemprotan pada tanaman bertajuk tinggi ditentukan oleh kemampuan penetrasi *droplet* ke dalam kanopi tanaman (Derksen *et al.* 2007). Selain itu, teknik ini juga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi petani akibat paparan langsung bahan kimia pestisida (Sinambela, 2024).

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang pertanian, telah dikembangkan berbagai alat bantu penyemprotan pestisida untuk meningkatkan efisiensi kerja. Penggunaan alat semprot bermesin terbukti lebih efektif dibandingkan metode manual karena mampu menghasilkan distribusi fluida yang lebih merata sesuai prinsip Bernoulli (Apryandi *et al.* 2024). Alat penyemprotan pestisida menggunakan tenaga surya, alat ini memiliki kelemahan mengandalkan penangkapan cahaya matahari secara maksimal oleh panel surya (Sarwono *et al.*, 2022) sehingga alat ini tidak cocok digunakan untuk aplikasi penyemprotan pestisida pada pohon manggis karena pohon manggis yang rindang dan kurangnya sinar matahari pada bagian bawah pohon. Selanjutnya sistem penyemprotan pestisida secara otomatis, namun kelemahan dari alat ini adalah radius penyemprotan pestisida terlalu responsive tergantung kekuatan pompa air (Makarim *et al.*, 2022).

Alternatif lain yang dapat digunakan untuk penyemprotan pestisida pada pohon manggis adalah *mobile sprayer machine* (MSM). Mesin ini merupakan perpaduan antara sprayer gendong bermotor (*knapsack power sprayer*) dan sepeda motor roda tiga sehingga dapat bergerak dengan cepat sekaligus melakukan penyemprotan (Pramuhadi *et al.* 2014). Modifikasi pada MSM untuk penyemprotan pada pohon manggis terutama perlu dilakukan pada bagian nosel agar mampu menjangkau tajuk tanaman yang tinggi. Menurut Muttalib *et al.* (2020), keterbatasan panjang tuas semprot (nosel) menyebabkan aplikasi cairan menjadi kurang efektif pada tanaman buah bertajuk tinggi seperti pohon manggis, sehingga diperlukan sistem penyemprotan yang dapat diatur ketinggiannya. Nosel memiliki peranan sangat penting karena berfungsi dalam proses pembentukan dan distribusi *droplet*. Selain itu pemilihan nozzle yang sesuai diperlukan untuk menentukan jumlah aplikasi per satuan luas, keseragaman aplikasi, tingkat cakupan, serta potensi risiko *drift*, sehingga dapat dikatakan sebagai komponen utama dalam sistem penyemprotan (Ferguson *et al.* 2018). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja MSM melalui pengaturan nosel yang dapat diatur (*adjustable*) dalam aplikasi insektisida pada tanaman manggis.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas: (1) nosel *adjustable*, (2) *mobile sprayer machine* (MSM), (3) anemometer, (4) *pressure gauge*, (5) *patternator*, dan (6) *mini temperature humidity meter*, sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas: (1) kertas *concord*, (2) tinta, (3) insektisida cair, (4) bahan bakar pertalite, dan (5) oli campur. Adapun untuk membantu analisis butiran halus (*droplet*) digunakan aplikasi *ImageJ*.

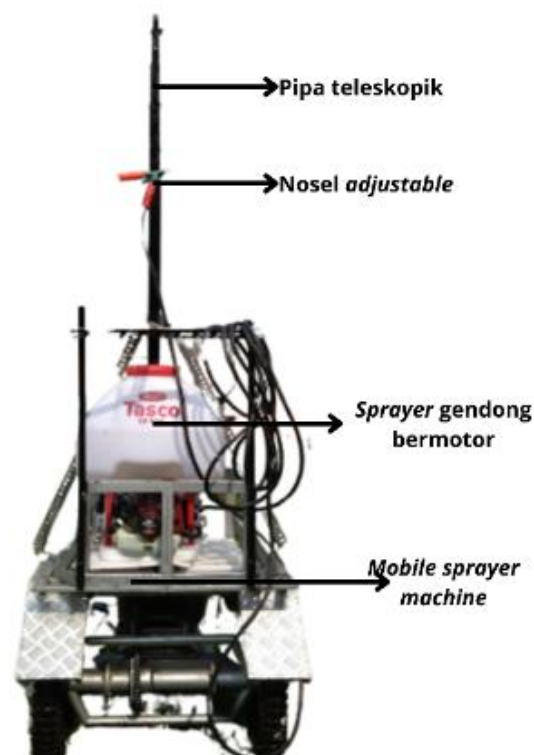
Mobile sprayer machine (Gambar 1) terdiri atas beberapa komponen antara lain *sprayer gendong bermotor* (*knapsack power sprayer* = KPS) merek TASCOS tipe TF 900 dengan kapasitas 25 liter, motor bensin 2 tak, dan nosel *adjustable*.

Prosedur Penelitian

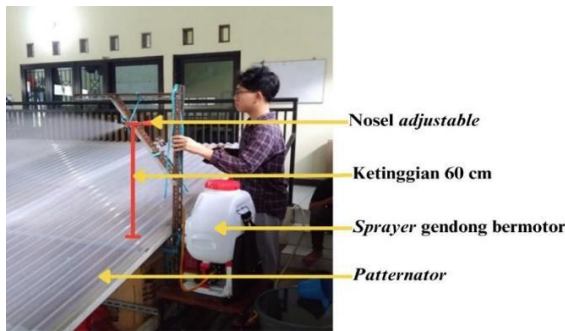
Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan di lapangan untuk aplikasi secara langsung pada pohon manggis. Perlakuan pengujian yang dilakukan adalah tekanan 10 kg/cm² dengan variasi sudut semprot 30°, 45° dan 55°. Prosedur penelitian yang dilakukan di laboratorium terdiri atas:

1. Kecepatan aliran *droplet*
Kecepatan aliran *droplet* diukur menggunakan anemometer dan dipengaruhi oleh bukaan *throttle* KPS
2. Jangkauan penyemprotan
Pengukuran jangkauan penyemprotan mengacu kepada SNI 7640:2011 yaitu posisi nosel datar pada ketinggian 60 cm dari permukaan *patternator* (Gambar 2)
3. Lebar Penyemprotan
Pengukuran lebar penyemprotan mengacu kepada SNI 7640:2011, yaitu dilakukan secara *vertikal* pada tinggi 60 cm jarak dari nosel ke permukaan *patternator*. Ilustrasi pola sebaran *droplet* untuk menentukan lebar penyemprotan dapat dilihat pada Gambar 3.
Lebar penyemprotan efektif diperoleh dari jarak perpotongan kurva murni dan grafik tumpang tindih (*overlapping*) yang memiliki koefisien variasi terkecil (Yuwana, 2014).
4. Debit Penyemprotan
Debit penyemprotan dapat diukur secara volumetrik atau dengan menggunakan media *patternator*
5. Diameter dan Kerapatan (Kepadatan) *Droplet*
Pengukuran diameter dan kerapatan *droplet* dilakukan pada kertas *concord*. Cairan yang digunakan adalah tinta hitam sebagai pemberi warna bila disemprotkan pada permukaan kertas *concord*. Hasil semprotan pada kertas *concord* selanjutnya dianalisis menggunakan aplikasi *ImageJ* untuk menentukan diameter dan kerapatan *droplet*.

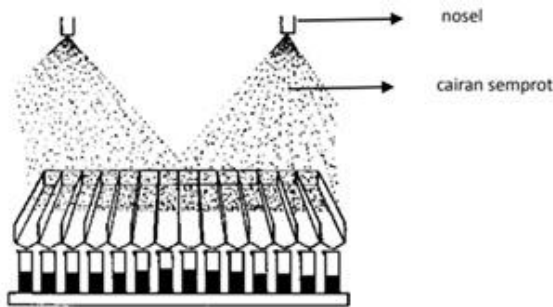
Setelah rangkaian kegiatan penelitian di laboratorium selesai dilakukan, maka selanjutnya dilakukan pengujian lapang MSM pada pohon manggis.



Gambar 1 Tampilan belakang *mobile sprayer machine*

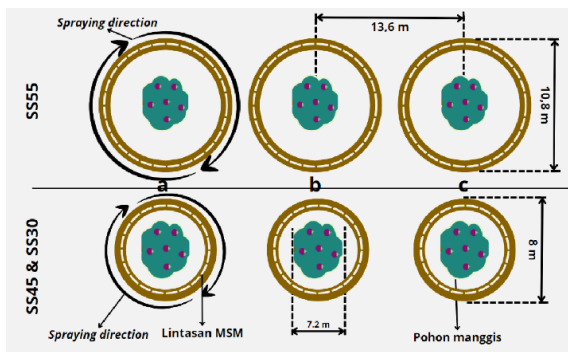


Gambar 2. Pengukuran jangkauan penyemprotan



Sumber: (Yuwana, 2014)

Gambar 3. Pola sebaran droplet pada patternator



Gambar 4. Tataletak (*layout*) lahan aplikasi penyemprotan insektisida pada pohon manggis menggunakan MSM

Aplikasi insektisida dilakukan di lahan percobaan pada tiga pohon manggis yang ditanam secara sejajar dengan jarak tanam antar pohon sebesar 13,6 meter, yang mencakup luas area 739,84 m². Jenis insektisida yang digunakan adalah Deltamethrin 25 g/l dengan merek dagang Decis. Penyemprotan dilakukan menggunakan MSM pada ketinggian nosel *adjustable* yang disesuaikan dengan tinggi pohon agar seluruh permukaan daun dapat terjangkau. Setiap pohon disemprot berdasarkan lebar dan jangkauan penyemprotan yang efektif sesuai dengan perlakuan yang diberikan. Tataletak (*layout*) lahan untuk aplikasi insektisida pada pohon manggis ditampilkan pada Gambar 4.

Pada saat aplikasi penyemprotan insektisida pada pohon manggis menggunakan MSM dilakukan, beberapa data dikumpulkan terutama terkait dengan kinerja MSM dalam melakukan penyemprotan insektisida pada pohon manggis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kinerja Sprayer Gendong Bermotor (KPS)

Kinerja suatu *sprayer* adalah tingkat keberhasilan suatu alat penyemprot dalam melaksanakan penyemprotan.

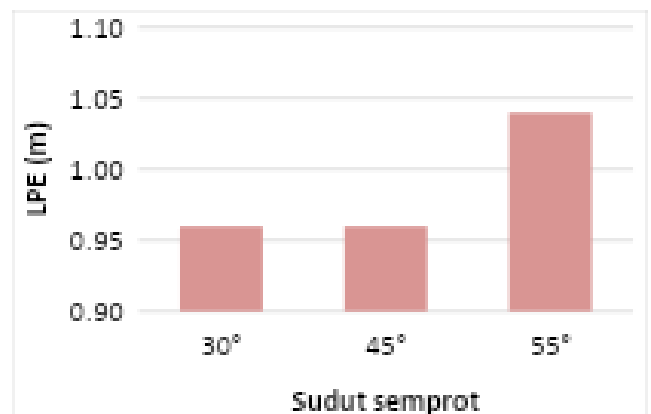
Parameter utama dalam kinerja *sprayer* meliputi kecepatan aliran *droplet*, lebar penyemprotan efektif, jangkauan penyemprotan efektif, debit penyemprotan efektif, diameter *droplet*, dan kerapatan *droplet*.

Lebar penyemprotan efektif (LPE) adalah parameter utama dalam kinerja *sprayer*. Pengukuran lebar penyemprotan dibutuhkan untuk menentukan nilai penyemprotan paling bagus (*optimum*) dalam pengaplikasian. Nilai LPE diperoleh dari grafik tumpang tindih (*overlapping*) yang menunjukkan keseragaman distribusi semprotan. Metode ini sejalan dengan pendekatan evaluasi distribusi semprotan menggunakan patternator yang mampu menggambarkan pola sebaran *droplet* secara kuantitatif (Dharmawan & Soekarno (2020).

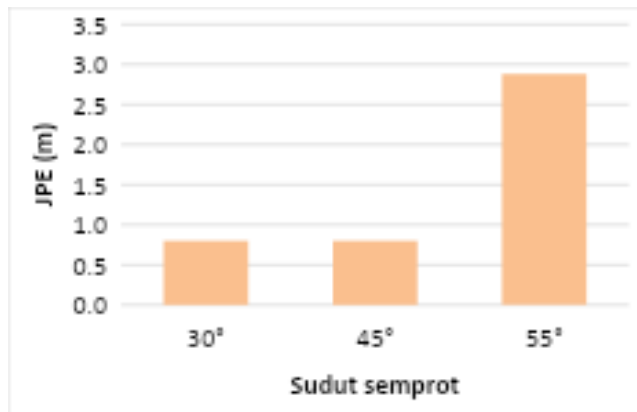
Grafik tumpang tindih disusun berdasarkan data hasil penyemprotan aktual, kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai *overlapping* dengan koefisien variasi (CV) terkecil. Tingkat keseragaman distribusi semprotan dapat dinilai melalui nilai CV, dimana semakin rendah nilai CV menunjukkan distribusi yang semakin merata dan kualitas penyemprotan yang lebih baik (Kluza *et al.* 2019). Data *overlapping* tersebut diperoleh dengan cara menggeser kurva ke arah kiri dan kanan hingga terbentuk titik perpotongan antara grafik distribusi awal dengan grafik *overlapping*.

Berdasarkan Gambar 5, nilai lebar penyemprotan efektif (LPE) menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya sudut semprot. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya sudut semprot yang menghasilkan sebaran *droplet* lebih luas, sehingga area penyemprotan menjadi lebih lebar. Nilai LPE maksimum diperoleh pada sudut semprot 55° dengan lebar semprot mencapai 1,04 m. Selain itu, jenis dan karakteristik nosel juga berpengaruh terhadap besarnya lebar penyemprotan yang dihasilkan. Penelitian oleh Sari dan Prasetyo (2021) menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik nosel dapat menyebabkan variasi pada lebar semprot yang dihasilkan.

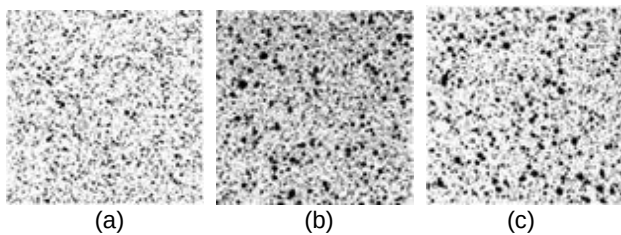
Jangkauan penyemprotan merupakan jarak semprot yang dihasilkan oleh sprayer gendong bermotor (KPS). Parameter ini dipengaruhi oleh besarnya tekanan cairan yang dihasilkan KPS dan memiliki hubungan berbanding lurus dengan kecepatan aliran *droplet*. Semakin tinggi kecepatan aliran *droplet*, maka semakin jauh pula jangkauan penyemprotan efektif (JPE) yang dapat dicapai. Selain itu, peningkatan sudut semprot nosel menyebabkan distribusi *droplet* menyebar lebih luas, sehingga memperbesar jangkauan penyemprotan (Pan *et al.* 2025). Sudut semprot yang semakin besar mengakibatkan sebaran *droplet* menjadi lebih jauh, sehingga nilai JPE maksimum diperoleh pada sudut semprot 55° dengan jarak semprot mencapai 2,88 m, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Lebar penyemprotan efektif (LPE) KPS



Gambar 6. Jangkauan penyemprotan efektif (JPE) KPS



Keterangan:

(a) Sebaran *droplet* pada sudut semprot 30°(b) Sebaran *droplet* pada sudut semprot 45°(c) Sebaran *droplet* pada sudut semprot 55°Gambar 7. Sebaran *droplet* pada 3 sudut semprot

Menurut Moekasan (2018), sudut semprot merupakan salah satu parameter penting dalam proses aplikasi pestisida berbasis pelarut air karena memengaruhi kemampuan penetrasi larutan serta deposisi *droplet* pada tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut semprot, maka kecepatan aliran *droplet* cenderung menurun, yaitu masing-masing sebesar 5,30 m/detik, 5,10 m/detik, dan 5,00 m/detik. Sebaliknya, sudut semprot yang lebih kecil menghasilkan kecepatan aliran yang lebih tinggi, sehingga mampu memberikan jangkauan penyemprotan yang lebih besar dengan jarak semprot maksimum mencapai 6,16 m. Kondisi ini juga memengaruhi terbentuknya pola sebaran dan ukuran *droplet*. Nuyttens *et al.* (2007) menunjukkan bahwa karakteristik semprotan seperti ukuran dan kecepatan *droplet* sangat memengaruhi efisiensi aplikasi insektisida. Semakin besar sudut semprot maka menghasilkan sebaran ukuran diameter yang semakin besar yaitu sebesar 42,73 μm , 151,39 μm , dan 188,45 μm , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

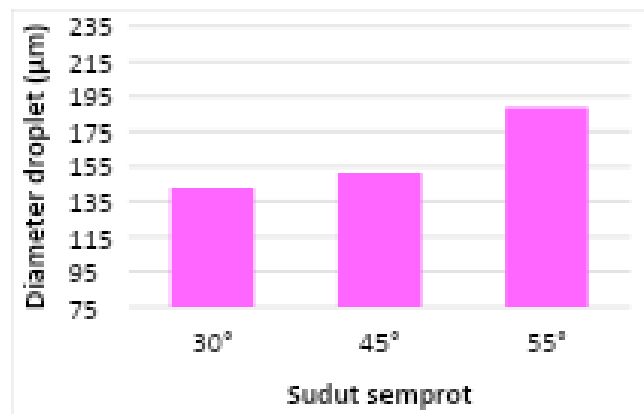
Pengaturan debit dan kontrol sistem penyemprotan berpengaruh terhadap efisiensi aplikasi pestisida sehingga penggunaan bahan kimia dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran (Rizal *et al.* 2017). Semakin besar lebar penyemprotan efektif (Gambar 5) maka semakin besar jangkauan penyemprotan efektif (Gambar 6), dan semakin besar ukuran diameter *droplet* (Gambar 8), maka menghasilkan debit aplikasi larutan insektisida yang semakin besar berturut-turut sebesar 212,77 liter/jam, 213,52 liter/jam, dan 249,10 liter/jam.

Hasil Aplikasi Insektisida di Lapangan

Aplikasi larutan insektisida di lapangan (kebun manggis) menggunakan *mobile sprayer machine* (MSM) dimana pipa teleskopik yang terpasang pada MSM dapat menaikkan dan menurunkan posisi nosel *adjustable* mengelilingi pohon dan mengikuti tinggi pohon manggis yang disemprot, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Jarak penyemprotan dari nosel ditentukan oleh besar jangkauan

penyemprotan efektif (JPE) dan intensitas penyemprotan ditentukan oleh besar lebar penyemprotan efektif (LPE). Semakin besar LPE (akibat semakin besar sudut semprot), maka semakin sedikit intensitas penyemprotannya sehingga semakin singkat waktu penyemprotan (aplikasi) larutan insektisida yaitu berturut-turut sebesar 0,282 jam, 0,281 jam, dan 0,277 jam sehingga berdampak terhadap besarnya kapasitas lapang efektif dan efisiensi lapang penyemprotan yaitu berturut-turut sebesar 0,262 ha/jam, 0,263 ha/jam, 0,267 ha/jam, 81,06%, 81,34%, dan 90,28%.

Peningkatan sudut semprot berpengaruh terhadap meningkatnya efisiensi lapang penyemprotan. Keberhasilan aplikasi pestisida sangat ditentukan oleh pemilihan ukuran *droplet* yang tepat, sehingga diperlukan keseimbangan antara cakupan semprotan yang optimal dan risiko *drift* yang rendah agar efisiensi aplikasi dapat tercapa (Nogueira *et al.* 2021). Kondisi tersebut berdampak pada penghematan biaya operasional, baik pada *knapsack power sprayer* (KPS) maupun *mobile sprayer machine* (MSM), dengan nilai masing-masing sebesar Rp746.559/ha, Rp743.913/ha, dan Rp682.040/ha. Selanjutnya, pada Tabel 1 disajikan hasil uji kinerja KPS dan MSM pada variasi sudut semprot 30°, 45°, dan 55°.

Gambar 8. Diameter *droplet* pada berbagai sudut semprot

Gambar 9. Aplikasi larutan insektisida menggunakan MSM

Tabel 1. Hasil uji kinerja penyemprotan insektisida

Parameter	Satuan	Hasil Uji Kinerja pada Sudut Semprot			Besarnya
		30°	45°	55°	
Lebar penyemprotan efektif	m	0,96	0,96	1,04	
Jangkauan penyemprotan efektif	m	0,80	0,80	2,88	
Kerapatan <i>droplet</i>	<i>droplet/cm²</i>	361	416	413	
Diameter <i>droplet</i>	µm	142,73	151,39	188,45	
Dosis insektisida	liter/ha	1	1	1	
Slip roda penggerak	%	8,75	8,75	8,75	
Kecepatan maju teoritis	m/detik	0,183	0,179	0,200	
Luas lahan terapan	ha	0,019	0,019	0,019	
Luas lahan per pohon	ha/pohon	0,074	0,074	0,074	
Waktu penyemprotan total	jam	0,282	0,281	0,277	
Waktu penyemprotan teoritis	jam/pohon	0,0571	0,0571	0,0625	
Waktu perpindahan antar objek	jam	0,008	0,008	0,010	
Waktu pengaturan tinggi nosel	jam	0,050	0,050	0,041	
Waktu pengisian larutan	jam	0,017	0,017	0,017	
Volume larutan terapan	liter	60	60	69	
Debit aplikasi larutan insektisida	liter/jam	212,77	213,52	249,10	
Dosis larutan insektisida	liter/ha	657,35	659,69	841,96	
Kapasitas keluaran larutan	liter/ha	810,99	810,99	932,63	
Kehilangan larutan insektisida	liter/ha	153,63	151,29	90,67	
Kehilangan larutan insektisida	%	18,94	18,66	9,72	
Kapasitas lapang teoritis	ha/jam	0,324	0,324	0,296	
Kapasitas lapang efektif	ha/jam	0,262	0,263	0,267	
Efisiensi lapang penyemprotan	%	81,06	81,34	90,28	
Biaya konsumsi bahan bakar KPS	Rp/jam	2.675	2.685	2.760	
Biaya konsumsi bahan bakar MSM	Rp/jam	7.490	7.481	7.617	
Biaya aplikasi larutan insektisida	Rp/jam	161.836	161.836	147.927	
Biaya tetap	Rp/jam	4.781	4.781	4.782	
Biaya operasional KPS dan MSM	Rp/jam	191.082	191.082	177.385	
Biaya total	Rp/jam	195.863	195.864	182.167	
Biaya aplikasi insektisida	Rp/ha	746.559	743.913	682.040	

Keterangan:

- Harga cairan insektisida = Rp500.000/liter
- Harga bahan bakar KPS (pertalite + oli) = Rp10.058/liter
- Harga bahan bakar MSM (pertalite) = Rp10.000/liter (Juni 2024)
- Upah kerja operator = Rp19.081/jam (berdasarkan UMK Kab. Bogor 2024 sebesar Rp4.579.541/bulan)
- Waktu operasional = 1440 jam/tahun (8 jam/hari, 30 hari/bulan)
- Umur ekonomis MSM (*mobile sprayer machine*) = 1 tahun
- Suku bunga kredit = 6% (data Bank Indonesia (BI) hingga Agustus 2024)

KESIMPULAN

Penggunaan KPS (*knapsack power sprayer*) yang dikombinasikan dengan MSM (*mobile sprayer machine*) pada variasi sudut semprot 30°, 45°, dan 55° menunjukkan bahwa peningkatan sudut semprot cenderung meningkatkan kinerja penyemprotan insektisida pada pohon manggis. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya lebar dan jangkauan penyemprotan, serta ukuran diameter *droplet*.

Seiring dengan peningkatan sudut semprot, efisiensi pengoperasian juga semakin baik, yang ditandai dengan meningkatnya kapasitas lapang efektif dan efisiensi penyemprotan, serta menurunnya kehilangan larutan insektisida. Kondisi ini berdampak langsung pada penurunan biaya aplikasi sehingga menjadi lebih hemat.

Penerapan teknologi ini memberikan manfaat praktis bagi pengguna, khususnya petani dan pelaku usaha hortikultura, karena mampu mempercepat proses kerja, meningkatkan pemerataan penyemprotan pada tanaman bertajuk tinggi, serta menekan biaya operasional. Oleh karena itu, MSM berpotensi menjadi alternatif teknologi

penyemprotan yang lebih efisien dan ekonomis dibandingkan metode konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyandi, F., Pratama, A. S., Nisa, N. K., Hidayanti, R., & Azizah, R. N. (2024). Comparison of the effectiveness of manual and machine spray equipment in applying Bernoulli's principle: A study among Cikole farmers. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)*, 7(2), 129–135. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i2.1072>
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2024). Analisis Komoditas Ekspor, 2019–2023, Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan; Sektor Industri Pengolahan; dan Sektor Pertambangan dan Lainnya. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/07/05/6ffc824be8e6f0857ec815a2/analisis-komoditas-ekspor-2019-2023--sektor-pertanian-kehutanan--dan-perikanan-sektor-industri-pengolahan-dan-sektor-pertambangan-dan-lainnya.html>
- Derksen, R. C., Zhu, H., Fox, R. D., Brazee, R. D., & Krause, C. R. (2007). Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. *Transactions of the ASABE*, 50(5), 1493–1501. <https://doi.org/10.13031/2013.23125>
- Dharmawan, A., & Soekarno, S. (2020). Uji distribusi semprotan sprayer pestisida dengan patternator berbasis water level detector test of sprayer *droplet* distribution using water level detector-based patternator. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol*, 9(2), 85-95. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i2.85-95>
- Farha Fitrahul Janah, Arifany, M., Aisyah, S., & Riana, F. (2021). Implementasi metode Case-Based Reasoning, Dempster-Shafer, dan Teorema Bayes pada Sistem Pakar Identifikasi Hama dan Penyakit Tanaman Manggis. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Agri-Informatika*, 8(2), 135–144. <https://doi.org/10.29244/jika.8.2.135-144>
- Ferguson, J. C., Chechetto, R. G., Adkins, S. W., Hewitt, A. J., Chauhan, B. S., Kruger, G. R., & O'Donnell, C. C. (2018). Effect of spray droplet size on herbicide efficacy on four winter annual grasses. *Crop Protection*, 112, 118-124.
- Kluza, P. A., Kuna-Broniowska, I., & Parafiniuk, S. (2019). Modeling and prediction of the uniformity of spray liquid coverage from flat fan spray nozzles. *Sustainability*, 11(23), 6716. <https://doi.org/10.3390/su11236716>
- Makarim, M. F., Nurmuslimah, S., & Sulaksono, D. H. (2022). Sistem Kontrol Otomatis Penyemprotan Pestisida Pada Lahan Pertanian Padi Menggunakan Mikrokontroler Arduino Berbasis Internet of Things. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, X, 32–40.
- Marno, M., Abadi, S., Widiyanto, E., Utomo, U. U., Fauji, N., & Hanifi, R. (2020). Modifikasi dan Pengujian Sistem Penyemprot Padi dengan Penambahan Pompa Elektrik. *Jrst (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 1-6. <https://doi.org/10.30595/jrst.v4i1.3658>
- Moekasan, T. K. (2018). Teknik penyemprotan pestisida pada pertanaman mentimun: pengaruhnya terhadap tingkat penutupan dan sebaran *droplet*. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 9(3), 174-187. <http://dx.doi.org/10.29244/jhi.9.3.174-187>
- Muttalib, S. A., Hidayat, A. F., Abdullah, S. H., Widiyartay, I. A., Rozidi, & Burhan, S. (2020). Pengembangan

- desain sprayer buah menggunakan quality function deployment. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(2), 149–156.
- Nidyasari, R. S., Akmal, H., & Ariyanti, N. S. (2018). Karakterisasi Morfologi dan Anatomi Tanaman Manggis dan Kerabatnya (*Garcinia spp.*) di Taman Buah Mekarsari. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 4(1), 12–20. <https://doi.org/10.29244/jsdh.4.1.12-20>
- Nogueira Martins, R., Freitas, M. A. M. D., Lima, A. D. C., & Furtado Junior, M. R. (2021). *Effect of nozzle type and pressure on spray droplet characteristics*. *Idesia (Arica)*, 39(1), 101–107. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000100101>
- Nuyttens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M., & Sonck, B. (2007). *Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics*. *Biosystems engineering*, 97(3), 333–345.
- Pan, X., Yang, S., Gao, Y., Wang, Z., Zhai, C., & Qiu, W. (2025). Evaluation of spray drift from an electric boom sprayer: Impact of boom height and nozzle type. *Agronomy*, 15(1), 160. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010160>
- Pramuhadi, G., Yanuar, M., Purwanto, J., & Sutejo, A. (2014). Rekayasa Mobile Sprayer Machine untuk Pemeliharaan Tanaman Tebu Lahan Kering. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPi)*, Agustus, 19(2), 103.
- Rizal, M., Subrata, I. D. M., & Setiawan, R. P. A. (2017). Desain dan Pengujian Prototipe Sistem Kontrol Mesin Sprayer Dosis Variabel untuk Aplikasi Penyemprotan Pertanian Presisi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 4(2), 131–138.
- Rophita, R., Saripurna, D., & Gilang Suryanata, M. (2021). Sistem Pakar Mendiagnosa Hama Dan Penyakit Pada Tanaman Jambu Kristal Menggunakan Metode Certainty Factor Keyword: Sistem Pakar Certainty Factor Jambu Kristal Hama dan Penyakit. *Jurnal CyberTech*, 4(1), 1–15. <https://ojs.trigunadharma.ac.id/>
- Sari, V. I., & Prasetyo, A. D. (2021). Perbedaan penggunaan nozzle polijet dan flat fan pada kalibrasi penyemprotan knapsack sprayer. *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)*, 5(1), 1–12.
- Sarwono, E., Subiyanto, Primadiyono, Y., Putri, R. D. ., Prasetyo, A. ., Asriningati, & Ilmi, F. (2022). Alat Penyempot Pestisida Tenaga Surya. *Electrician ; Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Eleltro*, 16(1), 66–72. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2228>
- Sinambela, B. . (2024). Dampak Penggunaan Pestisida Dalam Kegiatan Pertanian Terhadap Lingkungan Hidup dan Kesehatan. *Agrotek*, 8(2), 178–187.
- Situmorang, P. S. I., Ayu, S. F., & Lindawati. (2023). Market Share of Indonesian Mangosteen in China Market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1241(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1241/1/012042>
- Sofianto, Bambang Supeno, & Hery Haryanto. (2023). Identifikasi Hama Pengorok Daun Tanaman Manggis (*Garcinia mangostana L.*) di Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 2(3), 285–390. <https://doi.org/10.29303/jima.v2i3.2648>
- Sulandjari, K., & Purnama, R. W. (2023). Penyuluhan Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman Manggis (*Garcinia Mongostana L*) Secara Terpadu Pada Kelompok Tani Mukti di Desa Cibuntu Kecamatan Wanayasa Kabupaten Purwakarta. *Jurnal Budiman: Pembangunan Dan Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 1(01), 50–64. <https://doi.org/10.35706/budiman.v1i01.9352>
- Yuwana, N. A. J. (2014). Desain dan Konstruksi Grid Patternator Untuk Pengujian Kinerja Penyemprotan Sprayer. Institut Pertanian Bogor.