



Sistem Kontrol Otomatis pada Drone Sprayer untuk Pengendalian Hama Tanaman Padi: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis

Automatic Control System on Drone Sprayer for Rice Plant Pest Control: A Systematic Literature Review

Rizka Azhari¹✉ | Muhammad Sarjan¹ | Muhammad Taufik Fauzi¹ | Pending Dadih Permana¹

¹✉ Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115, Indonesia

Abstract

Pertanian padi menghadapi tantangan dalam pengendalian hama dan gulma yang berdampak pada produktivitas dan kualitas hasil panen. Penggunaan drone sprayer dengan sistem kontrol otomatis menawarkan solusi inovatif untuk penyemprotan pestisida dan herbisida secara presisi. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis, menganalisis jurnal nasional dan internasional (2017-2025) terkait drone, UAV, pengendalian hama padi, dan sistem kontrol otomatis. Hasil kajian menunjukkan bahwa drone sprayer efektif dalam menyesuaikan volume dan distribusi cairan berdasarkan kondisi tanaman, meningkatkan presisi penyemprotan, serta meminimalkan kontak petani dengan pestisida. Sistem kontrol otomatis juga meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi residu kimia, dan mendukung deteksi hama secara real-time. Teknologi ini berpotensi meningkatkan produktivitas lahan dan mendukung pertanian berkelanjutan. Penelitian ini menegaskan bahwa penerapan drone sprayer otomatis merupakan strategi penting dalam optimalisasi pengendalian hama padi.

Keywords: drone sprayer, pengendalian hama, padi, sistem kontrol otomatis, pertanian berkelanjutan.

Abstract

Rice farming faces challenges in pest and weed control, which impacts productivity and crop quality. The use of drone sprayers with automated control systems offers an innovative solution for precise pesticide and herbicide spraying. This research employed a systematic literature review approach, analyzing national and international journals (2017-2025) related to drones, UAVs, rice pest control, and automated control systems. The study results indicate that drone sprayers are effective in adjusting the volume and distribution of liquid based on crop conditions, improving spraying precision, and minimizing farmer contact with pesticides. The automated control system also improves operational efficiency, reduces chemical residues, and supports real-time pest detection. This technology has the potential to increase land productivity and support sustainable agriculture. This research confirms that the implementation of automated drone sprayers is an important strategy in optimizing rice pest control.

Keywords: drone sprayer, pest control, rice, automated control system, sustainable agriculture.

How to Cite: Azhari, R., Sarjan, M., Fauzi, M. T., & Permana, P.D. (2026). Sistem Kontrol Otomatis pada Drone Sprayer untuk Pengendalian Hama Tanaman Padi: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis. *Journal of Multidisciplinary Science and Natural Resource Management* 1(3): 77-83.

1. Pendahuluan

Pertanian padi merupakan salah satu sektor penting dalam ketahanan pangan, baik di tingkat nasional maupun global, mengingat padi adalah sumber pangan pokok bagi lebih dari separuh populasi dunia. Produktivitas tanaman padi sering terganggu oleh berbagai hama dan gulma, seperti keong mas (*Pomacea canaliculata*), wereng coklat, ulat grayak, dan gulma kompetitif yang mampu mengurangi ketersediaan nutrisi dan cahaya bagi tanaman padi (Taufik et al., 2022). Tantangan ini menjadi masalah serius karena pengendalian hama dan gulma secara tidak tepat dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani, menurunkan kualitas hasil panen, serta mengancam keberlanjutan sistem produksi padi. Metode tradisional penyemprotan manual atau semi-otomatis masih banyak digunakan di Indonesia, namun sering kali tidak efisien, membutuhkan tenaga kerja besar, dan berpotensi menimbulkan residu kimia berbahaya pada lingkungan maupun produk pertanian (Syarief, 2023).

Penggunaan metode konvensional ini juga memiliki kelemahan dalam hal distribusi pestisida yang tidak merata, sehingga beberapa bagian lahan menerima dosis berlebih, sedangkan area lain tetap terinfestasi hama atau gulma. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan biaya produksi akibat penggunaan pestisida yang tidak efisien, tetapi juga menimbulkan risiko kontaminasi lingkungan dan air tanah (Megawati Citra Alam et al., 2023). Paparan pestisida yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba tanah, membahayakan organisme non-target, serta meningkatkan residu kimia pada tanaman yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, efisiensi penyemprotan dan presisi distribusi pestisida menjadi isu kritis yang harus diatasi untuk memastikan keberlanjutan pertanian padi (Habriansyah et al., 2023). Seiring dengan kemajuan teknologi pertanian presisi, penggunaan drone sprayer atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle) mulai diadopsi untuk meningkatkan efisiensi pengendalian hama dan gulma pada tanaman padi (Paul et al., 2024). Drone sprayer dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis yang mampu menyesuaikan dosis dan area penyemprotan secara real-time, berdasarkan kondisi lahan dan intensitas infestasi hama. Teknologi ini menawarkan berbagai keuntungan, termasuk pengurangan tenaga kerja, percepatan waktu operasional, serta peningkatan presisi penyemprotan pestisida atau herbisida. Selain itu, drone sprayer juga mengurangi paparan manusia terhadap bahan kimia berbahaya, sehingga meningkatkan keamanan kerja di sektor pertanian (Musrian et al., 2024).

Sistem kontrol otomatis pada drone sprayer memanfaatkan berbagai sensor dan algoritma cerdas, seperti sensor RGB, multispektral, dan algoritma pembelajaran mesin untuk mendekripsi keberadaan hama atau gulma secara akurat. Informasi dari sensor ini memungkinkan drone menyesuaikan ketinggian terbang, kecepatan, dan laju semprot pestisida sesuai kebutuhan spesifik setiap area lahan (Guo, Cai, Bai, et al., 2024). Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengendalian hama, tetapi juga mengurangi pemborosan pestisida dan meminimalkan dampak lingkungan. Dengan sistem ini, petani dapat memperoleh data yang lebih presisi mengenai kondisi tanaman, distribusi hama, dan pola pertumbuhan gulma, yang mendukung pengambilan keputusan agronomis berbasis data (Sari et al., 2021). Hasil penelitian internasional menunjukkan bahwa penggunaan UAV dalam pertanian padi mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pestisida hingga 30–50%, mengurangi biaya operasional, serta memungkinkan deteksi hama secara real-time. Selain itu, teknologi ini juga memungkinkan penyemprotan yang lebih merata dan tepat sasaran, sehingga meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi risiko kerugian akibat serangan hama (Guo, Cai, Zhou, et al., 2024). Drone sprayer juga mempermudah pemantauan lahan yang luas atau sulit dijangkau secara manual, sehingga menjadi solusi efektif untuk pertanian modern yang memerlukan efisiensi tinggi dan ketepatan data (Seo & Lee, 2025). Di konteks nasional, penelitian terkait penerapan drone sprayer di Indonesia menunjukkan hasil yang menjanjikan. (Syarief, 2023) dan (Syarief et al., 2024) menemukan bahwa drone sprayer efektif dalam mengendalikan keong mas dan gulma pada lahan padi, dengan distribusi pestisida yang lebih merata dan waktu operasional yang lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Selain itu, uji lapang UAV berbasis quadcopter kapasitas 10 liter menunjukkan efisiensi tinggi dalam pemupukan dan penyemprotan pestisida, sekaligus meminimalkan tenaga kerja manusia dan risiko residu kimia berlebih (Rahman et al., 2021). Hal ini membuktikan bahwa teknologi drone sprayer dapat diterapkan secara praktis untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian padi di Indonesia.

Pengembangan prototipe drone hexacopter dengan sistem kontrol otomatis juga menambah dimensi inovasi dalam teknologi ini. Sistem ini mampu menyemprot pestisida secara presisi, menyesuaikan aliran cairan dan kecepatan terbang berdasarkan kondisi lahan, serta memonitor kesehatan tanaman menggunakan sensor dan algoritma cerdas. Pendekatan ini memungkinkan petani memaksimalkan penggunaan pestisida dengan tepat, sekaligus mengurangi biaya dan risiko lingkungan (Febrian & Huda, 2024). Teknologi ini mendukung pertanian presisi yang lebih cerdas, di mana keputusan operasional dapat dilakukan secara otomatis berbasis data lapangan yang akurat (Prasetya et al., 2025). Meskipun memiliki banyak keuntungan, implementasi drone sprayer masih menghadapi tantangan, seperti keterbatasan kapasitas baterai, kapasitas muatan cairan pestisida, kondisi cuaca yang tidak menentu, serta skala lahan yang luas dan beragam. Faktor-faktor ini memerlukan pengelolaan operasional yang cermat dan strategi optimasi untuk memastikan penyemprotan yang efektif (Guo, Cai, Bai, et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian literatur sistematis diperlukan untuk mengevaluasi bukti empiris mengenai efektivitas sistem kontrol otomatis pada drone sprayer, membandingkan kinerja dengan metode konvensional, serta menilai dampak operasional dan ekologis dari teknologi ini (Paul et al., 2024).

Berdasarkan uraian di atas, studi ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem kontrol otomatis pada drone sprayer dalam pengendalian hama dan gulma pada tanaman padi. Analisis dilakukan melalui tinjauan literatur nasional dan internasional terkait UAV, drone sprayer, algoritma kontrol otomatis, optimasi penyemprotan, serta dampak ekologis dan operasional. Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman komprehensif mengenai potensi dan keterbatasan teknologi drone sprayer dalam meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pertanian padi, sekaligus menjadi referensi bagi pengembangan kebijakan dan praktik pertanian presisi di masa depan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkaji dan mensintesis bukti empiris terkait efektivitas penggunaan *drone sprayer* dengan sistem kontrol otomatis dalam pengendalian hama pada tanaman padi. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan evaluasi yang komprehensif, terstruktur, dan objektif terhadap perkembangan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) di sektor pertanian presisi.

2.1 Strategi Pencarian Literatur

Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur secara sistematis pada basis data akademik bereputasi, termasuk Google Scholar, ScienceDirect, dan IEEE Xplore. Strategi pencarian menggunakan kata kunci spesifik yang disusun berdasarkan boolean logic, antara lain: ("Drone sprayer" OR "UAV") AND ("Pest control" OR "Weed management") AND ("Rice" OR "Paddy") AND ("Automated control system" OR "Precision agriculture"). Pencarian dibatasi pada literatur yang diterbitkan dalam rentang waktu delapan tahun terakhir (2017–2025) untuk memastikan relevansi teknologi yang dikaji.

2.2 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk menjamin kualitas dan relevansi data, diterapkan kriteria seleksi artikel sebagai berikut:

Kriteria Inklusi:

1. Artikel jurnal nasional maupun internasional dan prosiding konferensi yang membahas penerapan *drone sprayer* pada tanaman padi.
2. Fokus penelitian meliputi sistem kontrol otomatis, mekanisme penyemprotan presisi, atau integrasi sensor untuk deteksi hama/gulma.
3. Tersedia dalam teks lengkap (*full text*) dan ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris.

Kriteria Eksklusi:

1. Artikel yang hanya bersifat opini, editorial, atau ulasan buku tanpa data teknis.
2. Penelitian yang fokus pada penggunaan drone di luar komoditas padi atau untuk tujuan non-pertanian.
3. Dokumen yang tidak memiliki metodologi yang jelas.

Berdasarkan proses seleksi tersebut, diperoleh sebanyak 20 artikel utama yang memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut dalam studi ini.

2.3 Ekstraksi dan Analisis Data

Data dari artikel terpilih diekstraksi menggunakan matriks sintesis untuk mengidentifikasi parameter kunci, meliputi: jenis drone (rotary/fixed wing), spesifikasi sistem kontrol, jenis sensor deteksi (RGB/Multispektral), serta indikator kinerja (efisiensi waktu, pengurangan volume pestisida, dan akurasi penyemprotan). Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif dan sintesis tematik. Pendekatan ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas teknologi antar studi, mengidentifikasi pola optimalisasi sistem kontrol, serta memetakan dampak operasional dan lingkungan dari implementasi *drone sprayer* otomatis.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelusuran literatur, ditemukan berbagai studi yang membahas penerapan teknologi *drone sprayer* dengan sistem kontrol otomatis. Ringkasan temuan utama dari artikel-artikel terpilih disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Matriks Sintesis Studi Pemanfaatan Drone Sprayer dengan Sistem Kontrol Otomatis

Peneliti (Tahun)	Fokus Studi	Jenis Drone / Sistem Kontrol	Teknologi Algoritma	Sensor /	Temuan Utama & Efektivitas
Paul et al. (2024)	Optimasi volume semprot herbisida	UAV Sprayer (Model T30)	Kontrol Aliran Otomatis (<i>Flow Rate Control</i>)		Penggunaan volume semprot yang dioptimalkan meningkatkan deposisi droplet pada gulma target dan mengurangi penggunaan herbisida secara signifikan tanpa mengurangi efikasi pengendalian.
Guo, Cai, Bai, et al. (2024)	Pengenalan gulma variabel & penyemprotan	UAV Hexacopter	Kamera RGB + Deep Learning(YOLOv5)		Sistem mampu mendeteksi gulma secara <i>real-time</i> dan menyesuaikan penyemprotan hanya pada area terinfestasi (<i>spot spraying</i>), menghemat herbisida hingga 40-60%.
Syarief et al. (2024)	Pengendalian gulma padi	Drone Sprayer	Kontrol Manual & Semi-Otomatis		Efisiensi waktu penyemprotan meningkat drastis (10-15 menit/ha) dibandingkan manual (4-5 jam/ha). Efektivitas pengendalian gulma setara dengan metode konvensional namun lebih hemat tenaga kerja.
Musrian et al. (2024)	Pengaruh ketinggian terbang (<i>altitude</i>)	Drone Sprayer	Altimeter & GPS		Ketinggian terbang 1.5 - 2 meter memberikan cakupan semprot (<i>swath width</i>) dan penetrasi droplet paling optimal untuk tanaman padi fase vegetatif.
Rahman et al. (2021)	Efisiensi pemupukan cair	Quadcopter (Kapasitas 10L)	Sistem Telemetri & Flight Controller		Kapasitas 10 liter efektif untuk lahan skala kecil-menengah dengan pola terbang <i>zigzag</i> otomatis, mengurangi paparan zat kimia langsung ke petani.
Febrian & Huda (2024)	Rancang bangun sistem kontrol otomatis	Hexacopter Custom	Mikrokontroler + Sensor Ultrasonik		Prototipe mampu menjaga ketinggian stabil secara otomatis mengikuti kontur tanaman, menghasilkan distribusi cairan yang lebih merata dibanding kontrol manual.
Seo & Lee (2025)	Koordinasi Multi-Drone	Multi-UAV Swarm	Algoritma Density-Driven Coordination		Koordinasi antar <i>drone</i> memungkinkan cakupan area luas secara simultan tanpa tumpang tindih (<i>overlap</i>),

Syarief (2023)	Pengendalian Keong (Pomacea canaliculata)	Drone Sprayer -	meningkatkan efisiensi operasional pada lahan skala luas. Efektif mengendalikan hama keong mas dengan distribusi moluskisida yang merata di area tergenang, yang sulit dijangkau dengan penyemprotan manual.
-------------------	---	-----------------	---

3.1 Efektivitas Pengendalian Hama

Pengendalian hama merupakan aspek krusial dalam produksi padi karena serangan hama yang tidak terkendali dapat menurunkan hasil panen secara signifikan, bahkan hingga puluhan persen. Penelitian internasional menunjukkan bahwa penggunaan drone sprayer dengan sistem kontrol otomatis mampu meningkatkan efektivitas pengendalian hama secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Sistem kontrol otomatis pada drone memungkinkan penyesuaian volume semprot berdasarkan ketinggian tanaman, kondisi topografi lahan, jenis hama atau gulma yang menyerang, serta intensitas infestasi pada setiap area lahan. Dengan demikian, penyemprotan menjadi lebih presisi dan tepat sasaran, mengurangi pemborosan pestisida, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (Paul et al., 2024).

(Paul et al., 2024) menekankan pentingnya optimisasi volume semprot dalam penyemprotan pestisida dan herbisida di lahan padi. Penelitian mereka menunjukkan bahwa volume semprot yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pemborosan bahan kimia dan residu yang berlebihan pada tanaman, sementara volume yang terlalu rendah dapat mengurangi efektivitas pengendalian gulma dan hama. Drone sprayer yang dilengkapi sensor dan algoritma kontrol cerdas mampu menyesuaikan volume semprot secara real-time sesuai kondisi lapangan, sehingga distribusi cairan pestisida merata di seluruh area lahan. Efisiensi ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan dengan meminimalkan penggunaan bahan kimia berlebih. Selain itu, (Musrian et al., 2024) menemukan bahwa ketinggian terbang drone berpengaruh signifikan terhadap cakupan area dan presisi penyemprotan. Terbang terlalu rendah dapat menyebabkan penyemprotan tidak merata karena turbulensi dan hamburan droplet, sedangkan terbang terlalu tinggi dapat menurunkan ketepatan penyemprotan karena angin dan pengaruh jarak terhadap droplet. Sistem kontrol otomatis memungkinkan drone menyesuaikan ketinggian terbang secara dinamis berdasarkan kondisi tanaman dan pola infestasi hama. Hal ini memungkinkan setiap bagian tanaman menerima dosis pestisida yang optimal, meningkatkan efektivitas pengendalian hama secara keseluruhan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Syarief, 2023) dan (Syarief et al., 2024) menunjukkan hasil yang sejalan dengan temuan internasional. Penggunaan drone sprayer terbukti efektif dalam mengendalikan hama keong mas dan gulma pada tanaman padi, dengan efisiensi penggunaan pestisida meningkat hingga 35% dibandingkan metode penyemprotan manual atau semi-otomatis. Efisiensi ini tidak hanya terlihat dari pengurangan volume pestisida yang digunakan, tetapi juga dari penurunan biaya operasional dan tenaga kerja yang diperlukan. Drone mampu menjangkau area lahan yang luas atau sulit diakses secara manual, sehingga pengendalian hama menjadi lebih cepat, tepat, dan menyeluruh. Keunggulan lain dari penggunaan drone dengan sistem kontrol otomatis adalah kemampuan untuk melakukan pemantauan hama secara real-time. Sensor pada drone dapat mendeteksi intensitas serangan hama, sehingga dosis dan lokasi penyemprotan dapat disesuaikan secara adaptif (Guo, Cai, Bai, et al., 2024). Pendekatan ini lebih efisien dibandingkan metode konvensional yang cenderung menggunakan dosis seragam untuk seluruh lahan, tanpa mempertimbangkan variabilitas infestasi. Dengan demikian, risiko underdosing atau overdosing dapat diminimalkan, yang sangat penting untuk menjaga produktivitas tanaman dan mengurangi dampak lingkungan negatif (Sari et al., 2021). Secara keseluruhan, kombinasi antara optimisasi volume semprot, penyesuaian ketinggian drone, dan penggunaan sensor untuk deteksi hama membuat drone sprayer dengan sistem kontrol otomatis menjadi teknologi yang sangat efektif dalam pengendalian hama padi. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga mendukung praktik pertanian presisi yang lebih ramah lingkungan, mengurangi paparan pestisida pada manusia, dan meminimalkan residu kimia di tanaman. Dengan demikian, drone sprayer menawarkan solusi modern yang mengatasi keterbatasan metode penyemprotan konvensional, sekaligus memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan ekologis bagi sektor pertanian padi di Indonesia dan secara global.

3.2 Optimalisasi Sistem Kontrol Otomatis

Optimalisasi sistem kontrol otomatis pada drone sprayer merupakan aspek penting dalam pertanian presisi modern, karena kemampuan ini menentukan seberapa efektif dan efisien penyemprotan pestisida atau herbisida di lahan padi. Sistem kontrol otomatis memungkinkan drone untuk menyesuaikan laju aliran cairan berdasarkan kondisi lapangan secara real-time, termasuk kepadatan tanaman, tingkat infestasi hama, kelembaban tanah, dan topografi lahan. Dengan adanya kemampuan adaptif ini, drone dapat menyalurkan jumlah pestisida yang tepat ke setiap area, sehingga tidak terjadi pemborosan bahan kimia dan semua bagian tanaman menerima perlindungan yang optimal (Nordin et al., 2021).

Penelitian oleh (Nordin et al., 2021) dan (Prasetya et al., 2025) menunjukkan bahwa penggunaan UAV jenis hexacopter yang dilengkapi kontrol otomatis dapat meningkatkan presisi penyemprotan secara signifikan. Dengan algoritma kontrol cerdas, drone dapat mengatur kecepatan aliran, tekanan semprot, dan sudut penyemprotan sesuai kondisi tanaman dan distribusi lahan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengendalian hama, tetapi juga mendukung distribusi beban kerja yang merata, mengurangi stres pada drone, dan memperpanjang masa operasionalnya. Penggunaan UAV dengan kontrol otomatis terbukti lebih unggul dibandingkan penyemprotan manual atau semi-otomatis, karena kemampuan adaptifnya memungkinkan drone menyesuaikan tindakan secara langsung berdasarkan data sensor yang diterima. Selain itu, (Seo & Lee, 2025) mengembangkan

algoritma multi-UAV berbasis kontrol densitas yang memungkinkan koordinasi antar drone untuk cakupan lahan secara efisien. Dengan algoritma ini, beberapa drone dapat bekerja secara bersamaan di area lahan yang sama tanpa tumpang tindih, sehingga seluruh area lahan dapat disemprot secara optimal dengan waktu yang lebih singkat. Pendekatan ini juga secara signifikan mengurangi penggunaan bahan kimia karena dosis dapat disesuaikan dengan kepadatan tanaman dan intensitas infestasi hama di setiap lokasi. Hasilnya adalah peningkatan efisiensi operasional dan penurunan dampak lingkungan, sekaligus mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Secara keseluruhan, optimalisasi sistem kontrol otomatis pada drone sprayer bukan hanya sekedar teknologi canggih, tetapi juga strategi penting untuk meningkatkan presisi, efisiensi, dan keberlanjutan dalam pengendalian hama padi. Dengan kemampuan untuk menyesuaikan laju aliran cairan dan berkoordinasi dalam skala multi-UAV, drone sprayer dapat mengurangi penggunaan pestisida secara berlebihan, menghemat biaya operasional, serta menjaga kualitas dan kuantitas hasil panen. Implementasi sistem ini menjadi bukti nyata bagaimana inovasi teknologi dapat menjawab tantangan pertanian modern, meningkatkan produktivitas, sekaligus meminimalkan risiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

3.3 Deteksi Hama dan Gulma Berbasis UAV

Pemanfaatan drone atau UAV dalam pertanian padi tidak hanya berfokus pada penyemprotan pestisida, tetapi juga pada kemampuan deteksi hama dan gulma secara presisi. Drone yang dilengkapi dengan sensor RGB, multispektral, atau hiperspektral mampu mendeteksi infestasi hama secara dini, bahkan sebelum terlihat secara kasat mata oleh petani (Sari et al., 2021). Deteksi awal ini memungkinkan tindakan pengendalian dilakukan secara tepat sasaran, sehingga penyemprotan pestisida atau herbisida dapat diminimalkan, mengurangi pemborosan bahan kimia, dan menurunkan dampak negatif terhadap lingkungan serta kesehatan manusia (Guo, Cai, Bai, et al., 2024). Penelitian internasional menunjukkan bahwa sensor canggih pada UAV mampu memetakan area lahan secara detail, mengidentifikasi titik-titik infestasi hama, serta memantau pertumbuhan gulma dan stres tanaman akibat serangan hama. (Guo, Cai, Bai, et al., 2024) menekankan bahwa analisis citra berbasis deep learning memungkinkan drone membedakan gulma dari tanaman padi dengan akurasi tinggi, sehingga sistem kontrol otomatis dapat menyesuaikan dosis penyemprotan hanya pada area yang membutuhkan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengendalian hama, tetapi juga mengurangi risiko residu kimia di tanaman dan lahan sekitarnya. Di tingkat nasional, penelitian oleh (Taufik et al., 2022) dan (Habriansyah et al., 2023) membuktikan bahwa penggunaan UAV untuk deteksi hama meningkatkan efisiensi dan akurasi dibanding inspeksi manual. UAV dapat memindai lahan luas dalam waktu singkat, menghasilkan peta infestasi hama secara real-time, dan memfasilitasi pengambilan keputusan cepat untuk pengendalian hama. Waktu respons terhadap serangan hama menjadi lebih cepat, sehingga kerusakan pada tanaman dapat diminimalkan. Lebih jauh lagi, penggunaan UAV mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia, yang seringkali memerlukan waktu lebih lama dan rentan terhadap kesalahan pengamatan. Dengan demikian, integrasi drone dalam sistem pertanian modern tidak hanya meningkatkan produktivitas dan kualitas panen, tetapi juga mendukung praktik pertanian presisi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Dungani Rudi et al., 2018).

3.4 Dampak Lingkungan dan Efisiensi Operasional

Penggunaan drone sprayer otomatis memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan kontak langsung petani dengan pestisida. Dengan sistem kontrol yang terintegrasi, drone mampu menyemprot pestisida dan herbisida secara presisi tanpa memerlukan kehadiran petani di lapangan, sehingga risiko paparan bahan kimia berbahaya dapat diminimalkan. Kondisi ini penting karena paparan pestisida jangka panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada petani, mulai dari iritasi kulit hingga masalah pernapasan dan risiko penyakit kronis (Hariyanto & Santoso, 2017). Selain itu, penerapan drone otomatis juga menurunkan residu kimia yang tersisa pada tanaman padi. Pengaturan dosis dan distribusi cairan yang presisi memungkinkan setiap bagian tanaman menerima jumlah pestisida yang sesuai, menghindari penyemprotan berlebihan. Hal ini tidak hanya meningkatkan kualitas hasil panen, tetapi juga mengurangi risiko akumulasi bahan kimia dalam ekosistem pertanian, termasuk tanah, air, dan organisme non-target (Puspitasari et al., 2024). Dengan kata lain, drone sprayer mendukung praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dari sisi efisiensi penggunaan sumber daya, drone sprayer otomatis terbukti mampu menghemat konsumsi air dan pestisida. Pengaturan laju aliran cairan secara real-time memungkinkan distribusi yang merata dan tepat sasaran, sehingga kebutuhan pestisida menurun dibandingkan metode manual atau semi-otomatis. Efisiensi ini secara langsung mengurangi biaya operasional, memberikan keuntungan ekonomi bagi petani, serta menurunkan tekanan terhadap ketersediaan air dan bahan kimia di pertanian (Febrian & Huda, 2024). Dalam hal produktivitas lahan, drone UAV hexacopter dapat bekerja lebih lama dengan distribusi cairan yang stabil, sehingga area pertanian yang lebih luas dapat dicakup dalam waktu lebih singkat dibanding metode konvensional. Sistem kontrol otomatis juga memungkinkan pengaturan jalur terbang dan volume semprot sesuai kondisi lahan dan pertumbuhan tanaman, sehingga setiap area mendapat perlakuan optimal. Dengan demikian, produktivitas dan efisiensi kerja meningkat secara signifikan, sekaligus mengurangi kebutuhan tenaga kerja manusia di lapangan (Shandika, 2022).

Penggunaan drone juga berkontribusi terhadap pengelolaan pestisida yang lebih berkelanjutan. Dengan kemampuan untuk menyesuaikan dosis pestisida berdasarkan tingkat infestasi hama yang terdeteksi secara real-time, drone meminimalkan penyemprotan yang tidak perlu. Hal ini tidak hanya mengurangi limbah pestisida, tetapi juga menurunkan risiko resistensi hama terhadap bahan kimia, yang merupakan masalah kritis dalam pertanian modern. Dengan pendekatan ini, sistem pertanian menjadi lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi lapangan (Yahya et al., 2025). Lebih jauh, integrasi sensor dan algoritma kontrol canggih pada drone memungkinkan pengumpulan data lingkungan dan kondisi tanaman secara simultan selama operasi

penyemprotan. Informasi ini dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti evaluasi efektivitas pestisida, prediksi serangan hama, dan optimasi manajemen lahan. Dengan demikian, penggunaan drone tidak hanya sekadar menggantikan tenaga manusia, tetapi juga memperkaya basis data pertanian untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis bukti. Secara keseluruhan, dampak lingkungan yang berkurang, efisiensi operasional yang meningkat, dan peningkatan produktivitas lahan menunjukkan bahwa drone sprayer otomatis merupakan solusi inovatif dalam pertanian padi. Teknologi ini mampu menggabungkan keamanan petani, keberlanjutan lingkungan, dan optimalisasi penggunaan sumber daya. Dengan penerapan yang tepat, drone sprayer otomatis dapat menjadi bagian integral dari strategi pertanian pintar yang mendukung produksi pangan yang aman, efisien, dan ramah lingkungan (Hariyanto & Santoso, 2017; Febrian & Huda, 2024; Puspitasari et al., 2024).

4. Kesimpulan

Berdasarkan kajian literatur jurnal nasional dan internasional, penggunaan drone sprayer dengan sistem kontrol otomatis terbukti sangat efektif dalam pengendalian hama dan gulma pada tanaman padi. Drone sprayer mampu menyesuaikan volume penyemprotan secara adaptif berdasarkan kondisi tanaman, ketinggian lahan, dan intensitas infestasi hama, sehingga meningkatkan presisi dan efisiensi penggunaan pestisida. Hal ini memungkinkan deposisi cairan pestisida yang lebih merata, mengurangi penggunaan bahan kimia berlebihan, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan serta kesehatan petani. Sistem kontrol otomatis yang terintegrasi dengan sensor RGB atau multispektral memungkinkan deteksi hama dan gulma secara real-time, sehingga intervensi pengendalian dapat dilakukan lebih cepat dan tepat sasaran. Drone juga mampu mengoptimalkan distribusi cairan pestisida dan herbisida, menghemat penggunaan air, serta meminimalkan residu kimia pada tanaman. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung produktivitas lahan secara keseluruhan dan menurunkan risiko kerugian hasil panen akibat infestasi hama. Secara keseluruhan, integrasi drone sprayer dengan algoritma kontrol otomatis mendukung praktik pertanian presisi dan berkelanjutan. Teknologi ini menawarkan solusi modern bagi petani dalam meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan produksi padi. Selain itu, adopsi drone dengan sistem kontrol otomatis dapat menjadi landasan pengembangan inovasi pertanian berbasis teknologi, termasuk integrasi dengan sistem manajemen berbasis IoT dan kecerdasan buatan, untuk mendukung pengelolaan lahan yang lebih cerdas, efisien, dan ramah lingkungan.

5. Saran

Penelitian lebih lanjut sebaiknya diarahkan pada pengembangan algoritma kontrol otomatis yang mampu menyesuaikan penyemprotan secara adaptif terhadap perubahan cuaca dan kondisi lahan secara real-time. Upaya ini perlu didukung dengan peningkatan penggunaan sensor multispektral atau hyperspectral untuk deteksi hama dan gulma yang lebih akurat, serta penerapan kombinasi sistem multi-UAV guna memperluas cakupan lahan, meningkatkan efisiensi, dan meminimalkan penggunaan pestisida secara signifikan. Selain aspek teknis, pelatihan bagi petani mengenai pengoperasian drone sprayer otomatis menjadi hal krusial untuk memastikan adopsi teknologi yang aman dan optimal. Terakhir, evaluasi dampak lingkungan jangka panjang mutlak dilakukan untuk menjamin bahwa penggunaan teknologi ini tetap mendukung prinsip pertanian berkelanjutan..

Ucapan Terimakasih

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.

References

- Dungani Rudi, P. A. A. S., Yuniarti Karnita, Karliati Tati, S. I. and, & Ihak, S. (2018). We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %. Long-Haul Travel Motivation by International Tourist to Penang, i(tourism), 13.
- Febrian, J., & Huda, Y. (2024). Rancang Bangun Sistem Kontrol Penyemprotan Cairan Pestisida Otomatis Menggunakan Drone UAV Hexacopter. Jurnal Pendidikan Tambusai, 8(2), 10423–10437.
- Guo, Z., Cai, D., Bai, J., Xu, T., & Yu, F. (2024). Intelligent Rice Field Weed Control in Precision Agriculture: From Weed Recognition to Variable Rate Spraying. Agronomy, 14(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy14081702>
- Guo, Z., Cai, D., Zhou, Y., Xu, T., & Yu, F. (2024). Identifying rice field weeds from unmanned aerial vehicle remote sensing

- imagery using deep learning. *Plant Methods*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01232-0>
- Habriansyah, I., Destinirenza, A., Rizky, E. A., Taufik, A., Mukhtar, M., Hamzah, F., & Paisal, P. (2023). Drone Untuk Keperluan Penyemprotan Tanaman Padi. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 21(2), 286–291. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v21i2.4476>
- Hariyanto, K., & Santoso, D. W. (2017). Pengembangan Sistem Penyemprotan Pada Platform Mengurangi Biaya Pertanian Dalam Mendorong Konsep Pertanian Pintar (Smart Farming). *Nasional Teknologi Terapan*, 1(1), 87–97.
- Megawati Citra Alam, Bayu Aji, S., Puri Dwi Purwanti, & Kustiani, E. (2023). Inovasi Pertanian dalam Penyemprotan Pestisida dengan Drone untuk Tanaman yang Sehat dan Aman di Area Persawahan Desa Musir Lor Kecamaan Rejosari Kabupaten Nganjuk. *JATIMAS : Jurnal Pertanian Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 143–151. <https://doi.org/10.30737/jatimas.v3i2.5127>
- Musrilan, T., Aninditya, M. W., & Nurcholis, J. (2024). Optimizing Weed Control: A Study on the Influence of Drone Sprayer Altitude in Herbicide Application. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2024.012.01.01>
- Nordin, M. N., Mat Jusoh, M. S., Abu Bakar, B. H., Hassan Basri, M. S., Kamal, F., Ahmad, M. T., Mail, M. F., Masarudin, M. F., Misman, S. N., & Teoh, C. C. (2021). Preliminary Study on Pesticide Application in Paddy Field using Drone Sprayer. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 2(2). <https://doi.org/10.36877/aafrj.a0000147>
- Paul, R. A. I., Palanisamy, M. A., Peramaiyan, P., Kumar, V., Bagavathiannan, M., Gurjar, B., Vijayakumar, S., Djanaguiraman, M., Pazhanivelan, S., & Ramasamy,
- K. (2024). Spray volume optimization with UAV-based herbicide application for effective droplet deposition and weed control in direct-seeded rice. *Frontiers in Agronomy*, 6(November), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1491842>
- Prasetya, D. A., Roidah, I. S., & Aditiawan, F. P. (2025). Design of a Hexacopter Drone Prototype for Fertilizer and Pesticide Spraying. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 2025, 655–659. <https://doi.org/10.11594/nstp.2025.4796>
- Puspitasari, S. I., Amin, M., & Mabrouk, A. Ben. (2024). Future Technology: AI and Drones for Sustainable Pest Control in Saudi Arabia and Indonesia. *Assyfa Journal of Farming and Agriculture*, 1(2), 54–65. <https://doi.org/10.61650/ajfa.v1i2.217>
- Rahman, K., Novitasari, E., & Lestari, N. (2021). Uji Efisiensi Lapang Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Berbasis Quadcopter Kapasitas 10 Liter dalam Pemupukan Tanaman Padi. 7, 257–264.
- Sari, M. Y. A., Hassim, Y. M. M., Hidayat, R., & Ahmad, A. (2021). Monitoring Rice Crop and Paddy Field Condition Using UAV RGB Imagery. *International Journal on Informatics Visualization*, 5(4), 469–474. <https://doi.org/10.30630/JOIV.5.4.742>
- Seo, S., & Lee, K. (2025). Density-Driven Multidrone Coordination for Efficient Farm Coverage and Management in Smart Agriculture. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1–14. <https://doi.org/10.1109/TCST.2025.3631091>
- Shandika, R. (2022). Rancang Bangun Penyemprot Pestisida Untuk Pertanian Padi Berbasis Quadcopter. *RODA: Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Otomotif*, 2(1), 11. <https://doi.org/10.24114/roda.v2i1.30812>
- Syarief, M. (2023). Efektifitas dan Efisiensi Drone Sprayer untuk Pengendalian Hama Keong Mas (*Pomacea canaliculata* Lamarck) pada Tanaman Padi (*Oryza sativa L.*). *Jurnal Agroplant*, 6(1), 65–76. <https://doi.org/10.56013/agr.v6i1.2028>
- Syarief, M., Rahmawati, D., Mujiono, & Fittryah, L. D. (2024). Efektivitas dan Efisiensi Drone Sprayer untuk Pengendalian Gulma pada Tanaman Padi (*Oryza sativa L.*). *Agrip prima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 8(1), 52–60. <https://doi.org/10.25047/agrip prima.v8i1.523>
- Taufik, A., Habriansyah, I., Fachturrahman, F., & Sumbung, H. F. R. (2022). Drone Untuk Deteksi Hama dan Penyemprotan Pestisida pada Tanaman Padi. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 20(2), 139–145. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v20i2.3737>
- Yahya, Z., Mujahiddin, D. E., Setiawan, R., & Sujalu, A. P. (2025). The Utilised Unmanned Aerial Vehicles in Forest Plantation Maintenance. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(9), 527–532. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i9.12623>