



Analisis Hambatan Adopsi Drone Sprayer pada Mekanisasi Pertanian Menggunakan *Interpretive Structural Modelling* (ISM)

Barrier of Drone Sprayer Adoption for Agricultural Mechanization using *Interpretive Structural Modelling* (ISM)

Wahyudi Adi Prasetyo ^{*,1}, Rizqi Permana Sari ¹, Arief Ikar ¹, Krisnawanti ²

¹Program Studi Manajemen Logistik, School of Logistics and Transportation, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

²Program Studi Manajemen Rekayasa, School of Logistics and Transportation, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

*Penulis Korespondensi
Email: wahyudi@ulbi.ac.id



Abstrak. Indonesia memiliki potensi sebagai salah satu pemasok beras utama di Asia Tenggara. Namun demikian, tren penurunan produksi domestik yang disertai peningkatan impor menunjukkan adanya tantangan struktural dalam sektor pertanian. Upaya modernisasi melalui digitalisasi pertanian, termasuk penggunaan drone sprayer belum diadopsi secara luas oleh petani kecil. Pendekatan *Interpretive Structural Modelling* (ISM) dilakukan untuk menganalisis hambatan adopsi drone sprayer di kalangan petani Desa Jatimulya Subang. Hasil menunjukkan bahwa biaya, persepsi, kapabilitas teknis, dukungan institusional, dan faktor demografis merupakan penghambat utama, dengan akar masalah pada lemahnya dukungan institusional dan kendala demografis. Temuan ini menegaskan pentingnya penguatan peran institusi melalui edukasi, pelatihan, literasi, serta regenerasi petani guna mempercepat adopsi teknologi. Studi ini menghasilkan model sistemik sebagai dasar perumusan strategi intervensi yang lebih efektif di sektor pertanian.

Kata kunci: adopsi teknologi, agrikultur, drone sprayer, *interpretive structural modelling*, mekanisasi pertanian.

Abstract. Indonesia, as an agrarian economy, holds substantial potential to become a leading rice supplier in Southeast Asia; however, declining production trends accompanied by rising imports indicate structural challenges in the sector. Efforts to modernize agriculture through digitalization, particularly the adoption of drone sprayer, remain limited among smallholder farmers. This study employs *Interpretive Structural Modeling* (ISM) to systematically examine the barriers to drone sprayer adoption in Jatimulya Village, Subang. The findings reveal that cost constraints, risk perception, limited technical capability, inadequate institutional support, and demographic factors constitute the primary barriers. Furthermore, weak institutional support and demographic limitations are identified as the root drivers influencing other constraints. These results underscore the critical role of institutional strengthening through targeted education, technical training, farmer literacy enhancement, and generational renewal initiatives. This study contributes a systemic model that provides a robust analytical basis for designing targeted and effective intervention strategies to accelerate agricultural technology adoption.

Keywords: *agriculture, agriculture mechanization, drone sprayer, interpretive structural modelling, technology adoption.*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris yang seharusnya bisa menjadi pemasok beras terbesar di Asia Tenggara. Namun kenyataannya, produksi beras terus turun dari tahun ke tahun. Sebaliknya, nilai impor beras justru cenderung naik dari tahun ke tahun (BPS, 2025). Dengan adanya fenomena ini, jika jumlah pasokan beras dalam negeri terus menurun, hal ini akan berdampak pada ketidakseimbangan permintaan dan pasokan beras dalam negeri. Opsi yang akan dipilih tentunya akan terus menambah kuota impor beras dari luar negeri.

Menyadari hal tersebut, pemerintah terus mendorong modernisasi pertanian melalui penerapan teknologi digital dan otomasi sebagai upaya untuk meningkatkan produktivitas serta efisiensi pertanian. Modernisasi pertanian mencakup mekanisasi, digitalisasi, serta sistem pertanian berbasis data yang bertujuan meningkatkan efisiensi dan daya saing sektor ini (Boga, 2025). Teknologi drone sprayer (unmanned aerial vehicle/UAV) memiliki beragam fungsi penting dalam kegiatan pertanian modern, mulai dari pemetaan lahan, pemantauan kondisi tanaman, hingga penyemprotan input pertanian secara presisi. Dalam praktiknya, penggunaan drone sprayer telah terbukti mampu meningkatkan efektivitas operasional dengan signifikan, terutama dalam mengurangi kebutuhan waktu dan tenaga kerja di lapangan (Syarief *et al.*, 2024).

Contoh penerapan teknologi ini dapat dilihat di Bantul, Yogyakarta, di mana petani lokal mulai meminati penyemprotan pestisida menggunakan drone sprayer karena dinilai lebih efisien; drone sprayer hanya memerlukan 20 liter pestisida untuk menyemprot satu hektare lahan dalam waktu sekitar 1 jam (Rachmawati, 2021). Sebaliknya, metode manual membutuhkan sekitar 30 tangki atau setara 480 liter untuk cakupan lahan yang sama dengan waktu 20 jam per satu hektar lahan (Halawa, 2024). Efisiensi ini tidak hanya mempercepat pekerjaan dan mengurangi beban tenaga kerja, tetapi juga meningkatkan ketepatan semprot dan mengurangi risiko paparan bahan kimia berbahaya yang selama ini sering dialami petani dalam proses penyemprotan manual (Farid *et al.*, 2021).

Di Indonesia, adopsi teknologi drone sprayer mulai terlihat di beberapa wilayah, meskipun penerapannya di kawasan pedesaan masih terbatas. Misalnya, di Yogyakarta dan Lampung, beberapa dinas pertanian telah melakukan pelatihan dan demonstrasi penggunaan drone sprayer untuk membantu petani menyemprot pestisida secara efisien. Di Bantul, sejumlah petani bahkan telah mulai menggunakan jasa penyemprotan drone sprayer dari penyedia swasta karena dianggap lebih hemat waktu dan biaya (Koran-Jogja.com, 2021). Meskipun demikian, adopsi secara

nasional masih rendah, terutama di kalangan petani kecil yang ragu untuk menggunakan teknologi ini.

Modernisasi pertanian sering kali menjadi milik segelintir pihak yang memiliki akses modal dan teknologi, sementara petani kecil masih tertinggal dalam penerapannya. Contohnya dapat dilihat di Desa Jatimulya, Subang, di mana hanya sebagian kecil petani yang menggunakan jasa penyemprotan dengan drone sprayer, sementara sebagian besar lainnya tetap menggunakan metode manual meskipun akses terhadap teknologi sudah tersedia. Kondisi ini menandakan bahwa kehadiran teknologi canggih seperti drone sprayer belum serta-merta diikuti oleh kesiapan adopsi dari kalangan petani lokal.

Di Desa Jatimulya, layanan drone sprayer pertanian disediakan oleh pihak ketiga, yakni perusahaan penyewaan (PT Maxxi Tani), alih-alih dioperasikan langsung oleh petani. Petani yang menggunakan drone sprayer bergantung pada operator penyedia jasa tersebut untuk melakukan penyemprotan. Konsekuensinya, penggunaan drone sprayer harus menyesuaikan jadwal dan ketersediaan layanan dari luar. Hambatan operasional yang muncul adalah jadwal penyemprotan yang sering mundur karena padatnya antrean pemesanan, ditambah risiko kendala teknis seperti kerusakan mesin drone sprayer. Dengan kata lain, alih teknologi ini belum sepenuhnya mandiri di tangan petani, melainkan masih bergantung pada dukungan eksternal.

Selain kendala operasional, petani juga meragukan dampak penggunaan drone sprayer terhadap hasil panen. Kekhawatiran muncul karena hembusan baling-baling drone sprayer berpotensi merontokkan bunga padi serta menyebabkan semprotan pestisida mengenai tanaman palawija di sekitar lahan. Keraguan tersebut diperkuat oleh temuan lokal yang menunjukkan hasil panen pada lahan yang disemprot drone sprayer hanya sekitar 6 ton/ha, lebih rendah dibandingkan metode manual yang mencapai 11 ton/ha. Kondisi ini menurunkan kepercayaan petani terhadap efektivitas teknologi drone sprayer.

Harga satu unit drone sprayer yang beredar pada platform perdagangan elektronik di Indonesia dapat mencapai Rp.100 juta, sehingga tidak terjangkau oleh mayoritas petani kecil. Layanan penyewaan drone sprayer memang tersedia sebagai alternatif, tetapi biaya sewa per hektare masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan penyemprotan manual menggunakan tenaga manusia. Dari sisi teknis, drone sprayer membutuhkan keterampilan khusus baik dalam pengoperasian maupun perawatannya, yang sering kali belum dimiliki oleh petani lokal. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan operator terlatih menjadi hambatan tambahan yang perlu dipertimbangkan.

Dari aspek sosial, preferensi petani terhadap metode konvensional juga belum mudah diubah. Petani cenderung mempertimbangkan adopsi teknologi apabila tersedia bukti empiris

mengenai manfaat yang diperoleh ([Anam et al., 2025](#)). Oleh karena itu, pendekatan sosialisasi dan edukasi menjadi penting agar kepercayaan petani terhadap drone sprayer bisa dibangun secara perlahan. Sayangnya, dukungan pemerintah berupa insentif atau subsidi terhadap adopsi drone sprayer pertanian masih tergolong minim, sehingga sejauh ini teknologi ini baru dapat diakses oleh segelintir pelopor yang mampu melewati kendala-kendala tersebut.

Singkatnya, terdapat jurang pemisah yang jelas antara potensi teknologi drone sprayer yang begitu menjanjikan dan kenyataan penerapannya di lapangan. Secara teori, drone sprayer pertanian dapat mencakup area secara cepat dan efektif serta meningkatkan produktivitas secara signifikan, namun dalam praktiknya, hambatan sosial, teknis, dan ekonomis masih menjadi kendala besar. Kekhawatiran petani terhadap dampak penggunaan teknologi baru, keterbatasan keterampilan dalam pengoperasian perangkat, serta tingginya harga drone sprayer yang dapat mencapai puluhan hingga ratusan juta rupiah menjadi faktor utama yang menghambat adopsi di tingkat petani kecil ([Pandeya et al., 2025](#)). Selain itu, kurangnya dukungan dari sisi pelatihan dan pembiayaan membuat teknologi ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal, terutama oleh petani dengan keterbatasan akses dan sumber daya ([Sudarwati & Nasution, 2024](#)).

Sebagian besar penelitian terdahulu mengenai adopsi drone sprayer berfokus pada identifikasi faktor-faktor penghambat, namun belum menjelaskan hubungan struktural antar faktor tersebut. Untuk memahami kompleksitas hubungan antar faktor tersebut, diperlukan pendekatan yang mampu memetakan keterkaitan, tingkat pengaruh, dan hierarki antar elemen. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah Interpretive Structural Modelling (ISM). Beberapa penelitian yang berhasil memetakan hubungan antar faktor pendorong ataupun faktor penghambat dalam adopsi teknologi di bidang pertanian dan peternakan telah dilakukan oleh [Srinivasan and Yadav \(2024\)](#), [da Silveira et al. \(2023\)](#) dan [Kaushik et al. \(2021\)](#) menggunakan ISM. Namun hingga kini, belum ada penelitian yang memetakan hubungan struktural antar faktor penghambat adopsi drone sprayer pada petani skala kecil di Indonesia. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk: 1. Mengetahui faktor penghambat adopsi drone sprayer pada petani Jatimulya, 2. Mengetahui struktur hubungan antar faktor hambatan adopsi drone sprayer pada petani Jatimulya. Dengan menggunakan ISM, penelitian ini akan menghasilkan model sistemik yang menunjukkan struktur kausal antar hambatan. Hasil dari analisis ISM ini tidak hanya bermanfaat secara akademik, tetapi juga memberikan implikasi praktis bagi pengambilan kebijakan. Dengan mengetahui hambatan yang paling berpengaruh, pihak terkait seperti pemerintah, penyuluh pertanian, dan penyedia teknologi dapat menyusun intervensi yang lebih efektif dan efisien.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan pada salah satu wilayah operasional jasa drone sprayer perusahaan Maxxi Tani di Desa Jatimulya. Data penelitian diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur terhadap lima informan yang dipilih secara purposive. Data hasil wawancara dianalisis menggunakan pendekatan Grounded Theory untuk mengidentifikasi faktor penghambat, kemudian dilanjutkan dengan Interpretive Structural Modelling (ISM) guna memetakan hubungan struktural antar faktor. Rentang waktu penelitian dilakukan pada bulan Juli-Oktober.

2.1 Subjek Penelitian

Informan penelitian terdiri atas dua petani pengguna jasa drone sprayer, dua petani non-pengguna jasa drone sprayer, dan satu orang penyuluh pertanian di Desa Jatimulya. Hal ini digunakan sebagai pendekatan validitas triangulasi sumber data. Seluruh informan memiliki pengalaman bertani lebih dari lima tahun serta berperan sebagai pemilik sekaligus penggarap lahan. Adapun kriteria petani pengguna drone sprayer adalah petani yang secara rutin menggunakan layanan drone sprayer dari PT Maxxi Tani selama minimal satu tahun.

Pemilihan informan dilakukan secara purposive berdasarkan tingkat keterlibatan mereka dalam penggunaan teknologi drone sprayer pertanian. Dari total empat petani pengguna drone sprayer yang aktif di Desa Jatimulya, dua orang dipilih sebagai informan karena memiliki intensitas penggunaan yang tinggi dan pemahaman yang baik terhadap proses adopsi teknologi tersebut. Selain itu, penelitian juga melibatkan petani non-pengguna dan penyuluh pertanian untuk memperoleh perspektif yang beragam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi adopsi drone sprayer di tingkat petani. Penelitian ini berfokus pada perspektif petani dan penyuluh sebagai aktor utama dalam adopsi teknologi drone sprayer di tingkat lapangan. Oleh karena itu, pandangan dari penyedia jasa drone sprayer, pemerintah daerah, maupun lembaga pendukung lainnya belum terakomodasi secara langsung dalam penelitian ini.

2.2 Lokasi Penelitian

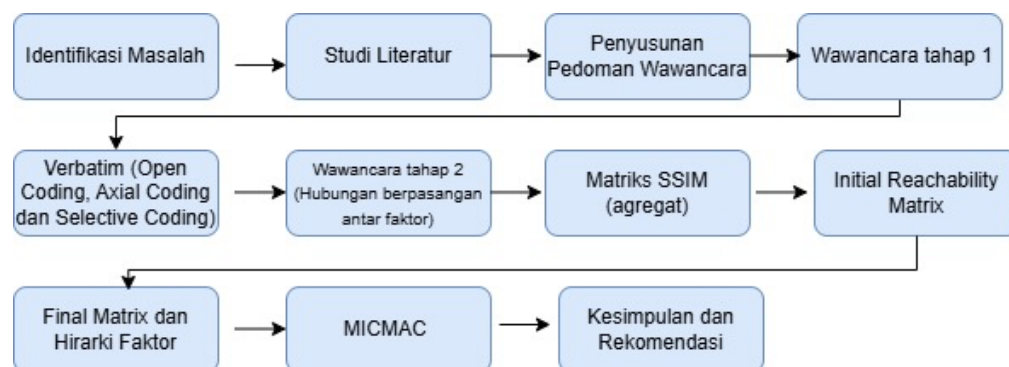
Penelitian dilakukan pada salah satu wilayah operasional Maxxi Tani yaitu Desa Jatimulya, Kecamatan Comprang, Kabupaten Subang.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini disusun secara sistematis dalam delapan tahapan utama, mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan simpulan dan rekomendasi ([Gambar 1](#)). Setiap tahap memiliki peran yang saling berkaitan dan mendukung proses eksplorasi secara menyeluruh terhadap hambatan adopsi teknologi drone sprayer oleh petani. Berikut penjelasan alur penelitian secara berurutan. Langkah awal dilakukan dengan mengamati fenomena di lapangan serta menelaah laporan dan data yang relevan, yang menunjukkan rendahnya tingkat adopsi drone sprayer pertanian,

khususnya di kalangan petani kecil di Desa Jatimulya. Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan studi pustaka secara mendalam terhadap literatur yang berkaitan dengan adopsi teknologi pertanian, *grounded theory*, ISM, dan MICMAC. Tujuannya adalah untuk menyusun landasan teori yang solid, mengelompokkan jenis-jenis hambatan, serta merumuskan kerangka pemikiran sebagai dasar metodologis. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur kepada empat informan kunci, terdiri dari dua petani yang pernah menggunakan layanan drone sprayer dan dua petani yang masih menggunakan metode manual. Data hasil wawancara tahap satu dianalisis menggunakan pendekatan *grounded theory* melalui tiga tahap utama: *open coding*, *axial coding*, dan *selective coding*. Tahapan *open coding* adalah memecah data wawancara menjadi potongan-potongan makna, lalu potongan makna selanjutnya dikelompokkan menjadi kategori pada tahapan *axial coding* dan kategori tersebut dipilih sebagai faktor pada tahapan *selective coding*.

Setelah didapatkan kategorisasi, selanjutnya dilakukan wawancara tahap dua untuk menggali hubungan antar faktor melalui pertanyaan hubungan berpasangan antar faktor. Hasil wawancara tahap dua kemudian diolah menggunakan metode ISM. Perangkat lunak Eximpro digunakan untuk mengagregatkan hasil hubungan berpasangan yang didapatkan dari lima informan untuk melakukan pemetaan *Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)* dan *Reachability Matrix*, Hierarki faktor dan analisis MICMAC. Tahap akhir berupa penyusunan simpulan yang merangkum temuan utama, khususnya hambatan utama dan hubungan antar hambatan yang telah teridentifikasi.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Desa Jatimulya merupakan desa agraris yang berada di wilayah Kecamatan Comprang, dengan mayoritas penduduknya bermata pencaharian sebagai petani padi. Berdasarkan data Badan Pertanahan Nasional (BPN), total luas lahan pertanian di desa ini mencapai 857 bau, sedangkan data Petugas Pendata Lapangan Sensus (PPLS) mencatat 797 bau lahan yang aktif digunakan untuk kegiatan pertanian. Lahan tersebut terbagi menjadi 36 blok pengelolaan, yang tersebar merata di seluruh wilayah desa.

Pengelolaan lahan dilakukan melalui 7 kelompok tani, dengan rata-rata luas lahan yang dikelola per kelompok mencapai 113 bau. Setiap kelompok tani terdiri dari sekitar 37 orang penggarap, sehingga total terdapat 259 orang petani penggarap, termasuk ketua kelompok. Rata-rata satu orang petani mengelola lahan seluas 3 bau, dengan variasi mulai dari 1 bau hingga 3 bau per orang. Namun, dari keseluruhan jumlah tersebut, hanya 4 orang petani yang tercatat aktif menggunakan layanan drone sprayer untuk kegiatan pertaniannya. Artinya, mayoritas petani di desa ini masih bergantung pada cara-cara manual dan konvensional. Ketimpangan ini menggambarkan adanya kesenjangan signifikan antara petani yang telah mengakses otomasi teknologi dan petani lokal yang belum terjangkau oleh inovasi tersebut.

3.1 Faktor Penghambat Adopsi *Drone Sprayer* di Desa Jatimulya

Dari hasil *open coding* terhadap 5 informan, terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi implementasi drone sprayer yaitu aspek biaya, persepsi, teknis, dukungan lembaga dan demografi. Setelah proses *open coding* dilakukan, tahap selanjutnya adalah *axial coding* untuk mengidentifikasi hubungan antar faktor sebagai dasar penyusunan SSIM. Matriks SSIM ini digunakan untuk menganalisis interaksi antar elemen yang diperoleh dari data wawancara. Hasil SSIM dari Narasumber 1-5 dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Selanjutnya, hasil dari SSIM akan diagregatkan membentuk model konseptual hubungan antar faktor seperti pada [Gambar 3](#). Dari hasil model konseptual yang didapatkan terdapat interaksi antar faktor penghambat.

NO	A1	A2	A3	A4	A5
A1		V	A	A	A
A2			A	A	A
A3				A	A
A4					V
A5					

NO	A1	A2	A3	A4	A5
A1		V	O	A	A
A2			A	A	A
A3				A	A
A4					O
A5					

NO	A1	A2	A3	A4	A5
A1		V	X	O	O
A2			A	A	A
A3				X	O
A4					O
A5					

NO	A1	A2	A3	A4	A5
A1		V	O	A	O
A2			A	A	A
A3				A	A
A4					O
A5					

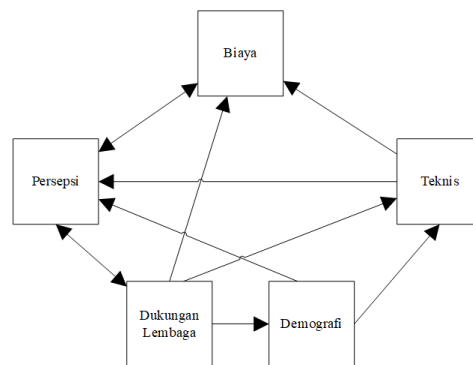
NO	A1	A2	A3	A4	A5
A1		V	A	A	A
A2			X	A	A
A3				A	A
A4					O
A5					

Gambar 2. Matriks SSIM

Pada Aspek biaya, dimana skema sewa menjadi pilihan utama dalam implementasi drone sprayer karena lebih ringan secara biaya dan fleksibel dalam pembayaran terutama dengan sistem pembayaran pasca panen. Aspek biaya dipengaruhi oleh teknis dan ketersediaan drone sprayer baik drone sprayer itu sendiri ataupun suku cadangnya selain itu aspek biaya dipengaruhi oleh dukungan lembaga yang dimana bantuan dari pemerintah ataupun swasta dapat mempengaruhi biaya dari skema penyewaan drone sprayer.

Temuan dari studi literatur menunjukkan bahwa hambatan paling konsisten dan dominan dalam adopsi teknologi drone sprayer berasal dari dimensi ekonomi, khususnya terkait tingginya

biaya sebagai penghalang utama. Berbagai penelitian secara seragam menegaskan bahwa mahalnya investasi awal menjadi rintangan terbesar bagi petani (Alam *et al.*, 2023; Fikri *et al.*, 2023). Harga drone sprayer jauh lebih tinggi dibandingkan alat semprot konvensional, sehingga tidak sebanding dengan keterbatasan modal dan daya beli petani di Indonesia. Tantangan finansial ini juga tidak berhenti pada biaya pembelian, melainkan berlanjut pada biaya operasional dan pemeliharaan yang tinggi, diperburuk oleh sulitnya akses terhadap suku cadang serta minimnya layanan perbengkelan (Yasar *et al.*, 2024). Dengan demikian, faktor biaya tidak hanya mencerminkan harga perangkat, tetapi juga lemahnya ekosistem pendukung teknologi drone sprayer itu sendiri.



Gambar 3. Model Hubungan Antar Faktor

Sejalan dengan temuan literatur, hasil wawancara lapangan menunjukkan bahwa biaya merupakan pertimbangan utama yang memengaruhi persepsi dan keputusan petani untuk mengadopsi drone sprayer. Hambatan ini tidak berdiri sendiri, tetapi terbagi menjadi beberapa subfaktor yang saling berkaitan, yaitu perbandingan biaya antara penggunaan drone sprayer dan tenaga manual, keterbatasan modal yang mendorong petani lebih memilih skema sewa daripada membeli, serta kebutuhan akan fleksibilitas dalam metode pembayaran. Secara keseluruhan, baik temuan literatur maupun lapangan memperlihatkan bahwa dimensi biaya tetap menjadi faktor sentral yang menentukan kesiapan dan kemampuan petani dalam mengadopsi teknologi drone sprayer.

Pada Aspek persepsi, dimana petani menyatakan bahwa sistem paket drone sprayer yang digunakan praktis dan efisien dalam segi biaya maupun waktu menyangkut seluruh proses penyemprotan dari awal hingga akhir. Aspek persepsi dipengaruhi oleh semua aspek mulai dari biaya yang dapat merubah persepsi petani yang bisa dianggap lebih murah atau lebih mahal, selain itu ketersediaannya dapat dianggap sebagai faktor teknis yang mempengaruhi persepsi petani terhadap drone sprayer karena baik efektivitasnya maupun hasilnya. Aspek demografis dan dukungan lembaga juga mempengaruhi persepsi petani dimana demografis dapat mempengaruhi aplikasi penggunaan dan penerimaan drone sprayer di lapangan karena petani muda yang biasanya

lebih mudah menerima teknologi baru sedangkan dukungan lembaga dapat mempengaruhi karena pemerintah ataupun swasta bisa menciptakan ekosistem skema sewa drone sprayer yang mempengaruhi persepsi petani mengenai teknologi drone sprayer. Persepsi negatif atau skeptisisme yang meluas di kalangan petani juga dapat mendorong lembaga (seperti dinas pertanian atau lembaga penelitian) untuk lebih gencar melakukan program penyuluhan, dan sosialisasi untuk mengubah persepsi tersebut. Biaya drone sprayer yang tinggi juga menciptakan persepsi bahwa drone sprayer hanya untuk petani kaya, karena adopsinya rendah, skala pasar untuk drone sprayer pertanian tidak berkembang, akibatnya, harga suku cadang dan layanan perbaikan tetap mahal, yang kembali memperberat biaya.

Pembahasan terhadap studi-studi terdahulu secara konsisten menunjukkan bahwa persepsi petani—yang mencakup sikap, keyakinan, dan pola pikir—muncul sebagai salah satu rintangan sosial-kultural paling signifikan dalam adopsi teknologi drone sprayer. Resistensi ini sering berakar pada rasa skeptis terhadap nilai tambah yang ditawarkan teknologi baru, di mana penelitian [Juwanda *et al.* \(2022\)](#) menemukan bahwa inovasi kerap dipersepsikan tidak lebih baik atau bahkan tidak memiliki keunggulan yang jelas dibandingkan teknik tradisional yang telah terbukti selama bertahun-tahun. Sikap ini semakin diperkuat oleh kecenderungan petani mempertahankan kebiasaan lama yang tertanam dalam struktur sosial, sebagaimana dicatat oleh, yang menyoroti peran kepercayaan tradisional dan resistensi terhadap perubahan sebagai hambatan utama. Keraguan tersebut diperburuk oleh persepsi bahwa drone sprayer merupakan teknologi yang rumit dan tidak sesuai dengan kapabilitas petani, petani menganggap pengoperasian drone sprayer terlalu sulit dan data hasil pemetaan terlalu kompleks untuk ditafsirkan.

Temuan lapangan mendukung gambaran tersebut, meskipun menunjukkan dinamika yang lebih kompleks. Di Desa Jatimulya, hasil wawancara menunjukkan bahwa persepsi petani bukan semata-mata negatif, melainkan terbagi menjadi beberapa dimensi. Dari sisi ekonomi, sebagian besar narasumber memiliki persepsi positif, di mana biaya sewa drone sprayer dianggap sebanding bahkan lebih murah dibandingkan dengan penggunaan tenaga manual. Para petani menggambarkan bahwa biaya sewa sekitar Rp175.000 per hektare hampir sama dengan upah dua pekerja manual (sekitar Rp150.000) ditambah biaya konsumsi seperti sarapan dan uang rokok. Persepsi positif ini semakin diperkuat oleh adanya skema pembayaran pascapanen yang dinilai sangat membantu dan meringankan beban modal penggarap.

Pada Aspek teknis, penggunaan drone sprayer masih terdapat sejumlah kekhawatiran dan hambatan teknis di lapangan. Petani menilai tekanan angin dari drone sprayer berpotensi menghambat efektivitas obat terutama jika angin kencang. Selain itu, keterbatasan operator juga

menyebabkan jadwal penyemprotan tidak tepat waktu. Aspek teknis mempengaruhi biaya karena ketersediaannya maupun efektivitasnya dilapangan. Sebaliknya, aspek teknis dipengaruhi oleh dukungan lembaga baik dari pemerintah maupun swasta yang dapat mempengaruhi teknis dari segi ketersediaan maupun pengaplikasian drone sprayer dilapangan. Faktor demografi berpengaruh kepada tingkat penerimaan petani pada teknologi drone sprayer.

Pembahasan studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa hambatan teknis dalam adopsi teknologi drone sprayer dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori utama, yaitu kondisi internal petani dan kondisi eksternal. Dari sisi internal, temuan literatur secara konsisten menegaskan bahwa rendahnya kapasitas sumber daya manusia menjadi penghalang paling signifikan (Aldillah, 2016). Kurangnya pengetahuan, keterampilan, dan literasi teknologi di kalangan petani (Tulungen, 2024), diperparah oleh tingkat pendidikan yang relatif rendah (Aldillah, 2016), membuat drone sprayer dipersepsikan sebagai teknologi yang terlalu rumit untuk dioperasikan dan menghasilkan data yang sulit ditafsirkan.

Kondisi ini semakin diperburuk oleh kurang efektifnya fasilitas penyuluhan, minimnya akses terhadap pelatihan, dan terbatasnya kesempatan untuk melihat demonstrasi langsung, sehingga petani tidak mendapatkan pengalaman teknis yang memadai untuk memahami dan mengoperasikan drone sprayer secara benar. Sementara itu, dari sisi eksternal, faktor lingkungan seperti gangguan angin terbukti dapat menurunkan akurasi dan efektivitas penyemprotan petani (Alam *et al.*, 2023). Hambatan ini juga diperkuat oleh keterbatasan infrastruktur pendukung, seperti sulitnya akses suku cadang, minimnya layanan perbengkelan, serta kurangnya tenaga ahli atau operator terlatih yang dapat menangani kendala teknis di lapangan (Aldillah, 2016; Daum, 2023; Fikri *et al.*, 2023).

Temuan lapangan menunjukkan bahwa hambatan teknis merupakan salah satu pertimbangan utama petani dalam mempertimbangkan adopsi drone sprayer, meliputi kerumitan teknologi, aspek operasional, dan tantangan logistik yang mereka hadapi langsung di lahan. Kekhawatiran paling konsisten yang muncul adalah mengenai efektivitas dan kualitas hasil penyemprotan. Para narasumber meragukan apakah drone sprayer mampu bekerja sebaik tenaga manual, terutama dalam kondisi angin yang dinilai berpotensi membuat pestisida tidak tepat sasaran dan terbang sia-sia. Beberapa petani juga mengemukakan kekhawatiran bahwa tekanan angin dari baling-baling drone sprayer dapat merusak bagian tanaman, seperti merontokkan bunga atau malai pada fase generatif, atau bahkan merobohkan padi yang telah menguning. Salah seorang narasumber bahkan menilai drone sprayer kurang efektif karena volume air yang digunakan jauh lebih sedikit dibandingkan penyemprotan manual, sehingga muncul persepsi bahwa dosis pestisida menjadi tidak maksimal. Selain itu, hambatan operasional dan logistik juga

menjadi persoalan penting, terutama terkait keterbatasan jumlah operator dan unit drone sprayer yang tersedia, yang pada akhirnya menimbulkan kendala dalam penjadwalan.

Aspek dukungan lembaga dimana pemerintah belum mendukung penggunaan drone sprayer dalam pertanian dimana pelatihannya masih minim dan edukasinya juga masih minim. Edukasi hanya dilakukan oleh pihak swasta terutama perusahaan penjual jasa dan obat. Sehingga para petani berharap adanya bantuan dari pemerintah akan bantuan pelatihan dan bantuan mengenai teknologi drone sprayer ini. Dukungan lembaga mempengaruhi semua aspek mulai dari demografi yang dimana dukungan lembaga dapat membantu petani muda lebih aktif dan membawa regenerasi petani. Dari segi teknis pemerintah dapat menciptakan ekosistem pengaplikasian drone sprayer yang juga berkaitan dengan biaya. Dukungan lembaga juga mempengaruhi persepsi petani terhadap implementasi drone sprayer (Tarigan, 2019).

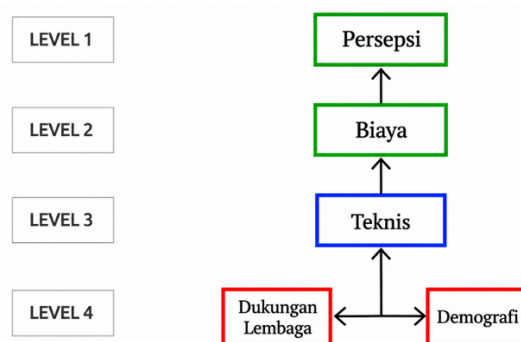
Lemahnya dukungan kelembagaan secara konsisten diidentifikasi sebagai faktor penghambat yang signifikan dalam adopsi teknologi drone sprayer. Kesamaan utama terletak pada penekanan terhadap tidak efektifnya peran penyuluhan dimana literatur menyoroti lemahnya dukungan dan bimbingan teknis (Yasar *et al.*, 2024; Tarigan, 2019), temuan yang dapat dikonfirmasi di lapangan melalui keluhan petani bahwa jarang adanya kehadiran Penyuluh Pertanian Lapangan (PPL) untuk memberikan arahan terkait teknologi. Namun, temuan lapangan memberikan detail yang lebih spesifik mengenai konsekuensi dari kelemahan tersebut. Jika literatur secara umum mengkritik kurangnya kebijakan pemerintah yang mencakup insentif, kredit, dan program percontohan (Juwanda *et al.*, 2022) temuan lapangan secara langsung menggambarkan adanya kekosongan peran pemerintah yang hampir total. Di lapangan, proses pengenalan, edukasi, dan penyediaan layanan drone sprayer pertanian masih banyak digerakkan oleh sektor swasta, perguruan tinggi, dan penyedia jasa teknologi. Kondisi ini menunjukkan bahwa akses petani terhadap teknologi drone sprayer masih sangat bergantung pada aktor eksternal yang berperan sebagai penyedia informasi, pelatihan, maupun layanan operasional drone sprayer (Singh & Singh, 2025)

Pada Aspek demografi, kurangnya keberadaan petani muda menjadi faktor penghambat bagi teknologi drone sprayer untuk bisa diadopsi. Mayoritas petani saat ini adalah petani berusia lanjut yang sulit melakukan adaptasi dengan perubahan teknologi dan tidak adanya edukasi membuat adopsi teknologi drone sprayer ini semakin sulit. Dukungan lembaga yang dapat mempengaruhi para petani dengan mendapatkan edukasi secara langsung sehingga para petani mengetahui secara teknis cara pemakaian drone sprayer. Selain itu, demografi juga mempengaruhi persepsi petani tergantung dari usianya karena petani muda lebih mudah menerima teknologi baru.

Sejalan dengan tinjauan pustaka, temuan lapangan mengonfirmasi bahwa faktor demografi dan kualitas sumber daya manusia memegang peranan krusial dalam adopsi teknologi drone sprayer. Studi-studi terdahulu yang secara konsisten menyoroti bagaimana tingkat pendidikan, umur, dan pengalaman bertani menjadi penghambat (Orjuela-Garzon *et al.*, 2024; Fikri *et al.*, 2023), di mana populasi petani yang didominasi oleh generasi senior dengan pola pikir yang berpegang pada metode tradisional menjadi penghalang utama dari sisi sumber daya manusia. Namun, hasil temuan di lapangan menunjukkan sudut pandang yang lebih jelas dan agak bertolak belakang dengan yang ada di literatur. Ditemukan bahwa demografi menciptakan sebuah tantangan dimana krisis regenerasi dan kelangkaan tenaga kerja muda justru menjadi faktor pendorong utama yang menciptakan kebutuhan akan otomatisasi, sementara pada saat yang sama, karakteristik demografis dari populasi petani yang ada menjadi penghambat utama adopsi solusi tersebut.

3.2 Hierarki Faktor Penghambat Adopsi Drone sprayer

Hasil dari matriks SSIM selanjutnya diubah menjadi *Reachability Matrix* untuk menentukan Final Matrix. Matriks ini akan menghasilkan model hierarki hubungan antar faktor yang selanjutnya digunakan sebagai solusi dari penghambat adopsi drone sprayer. Hasil dari hierarki faktor dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Hierarki Hubungan antar Faktor Penghambat.

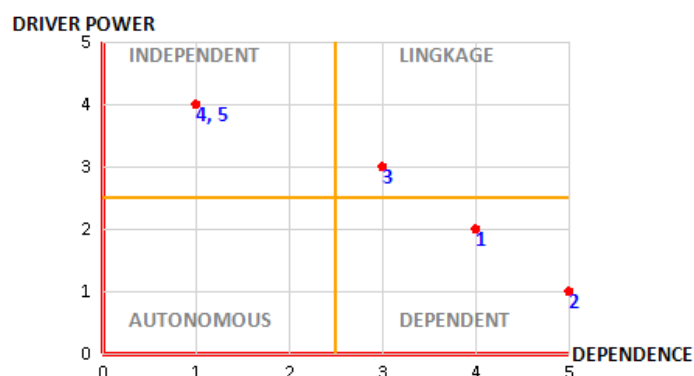
Berdasarkan struktur yang ditampilkan pada [Gambar 4](#), hubungan antar faktor penghambat implementasi drone sprayer menunjukkan pola berlapis yang saling mempengaruhi. Pada level paling dasar (Level 4) terdapat faktor dukungan lembaga dan demografi yang menjadi akar permasalahan utama. Kedua faktor ini bersifat saling bergantung, di mana kualitas sumber daya manusia dan kesiapan ekosistem pendukung menentukan sejauh mana adopsi teknologi dapat berjalan. Rendahnya kapasitas petani dari sisi pendidikan dan usia, ditambah minimnya dukungan kelembagaan seperti pelatihan dan penyuluhan, membentuk dasar dari berbagai hambatan di level berikutnya.

Faktor-faktor fundamental tersebut kemudian berpengaruh langsung terhadap hambatan teknis pada Level 3. Ketidaksiapan lembaga dalam menyediakan dukungan teknis dan terbatasnya kemampuan petani dalam mengoperasikan teknologi modern menciptakan kesenjangan keterampilan. Hambatan ini juga diperparah oleh ketidaksesuaian teknologi drone sprayer dengan kondisi agroekosistem setempat, seperti bentuk lahan atau kondisi cuaca, sehingga menghambat efektivitas penggunaannya di lapangan. Kondisi ini menjadikan aspek teknis sebagai penghubung penting antara fondasi dasar dan faktor ekonomi di level yang lebih tinggi.

Selanjutnya, hambatan teknis berimplikasi langsung pada biaya (Level 2), yang kemudian membentuk persepsi petani terhadap drone sprayer di Level 1 sebagai puncak hierarki. Kesulitan teknis dan risiko kegagalan operasional membuat biaya investasi dianggap tidak sepadan dengan manfaatnya. Akibatnya, muncul persepsi negatif seperti anggapan bahwa teknologi drone sprayer tidak efisien, terlalu mahal, atau tidak sesuai kebutuhan. Dengan demikian, persepsi petani bukanlah hambatan yang berdiri sendiri, melainkan hasil akhir dari rangkaian kendala struktural yang berawal dari faktor demografis dan lemahnya dukungan kelembagaan di tingkat paling dasar.

Dalam analisis MICMAC, setiap elemen dipetakan ke dalam sebuah grafik berdasarkan dua dimensi utama: *Driver Power* (kekuatan pendorong) sebagai sumbu Y (vertikal) dan *Dependence* (ketergantungan) sebagai sumbu X (horizontal). Pemetaan ini, seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 5](#), berfungsi untuk mengelompokkan dan mengidentifikasi peran dari setiap elemen. Angka pada grafik dalam kuadran 1 hingga 4 merupakan faktor-faktor penghambat yang sedang diteliti.

Faktor dukungan lembaga (No.4) dan demografi (No.5) merupakan faktor pemicu utama yang sangat memengaruhi elemen-elemen lain dalam adopsi drone sprayer, namun tidak dipengaruhi oleh faktor lainnya. Dukungan dari lembaga (seperti pemerintah atau swasta) dan kondisi demografi (seperti usia petani atau ketersediaan tenaga kerja) menjadi fondasi yang menentukan keberhasilan atau kegagalan implementasi drone sprayer.



Gambar 5. Grafik MICMAC

Faktor teknis (No.3) yang berada kuadran *linkage* bersifat tidak stabil karena memiliki daya dorong dan ketergantungan yang sama-sama tinggi. Aspek teknis seperti ketersediaan teknologi drone sprayer, kemudahan operasional, dan layanan purna jual sangat memengaruhi persepsi dan biaya. Namun, perkembangan aspek teknis ini juga sangat bergantung pada adanya dukungan lembaga (untuk regulasi dan riset) serta kondisi demografi (untuk adopsi). Dengan demikian, faktor teknis berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan akar penyebab dengan konsekuensi akhir.

Pada kuadran *dependent*, terdapat faktor Biaya (No.1) dan Persepsi (No.2). Keduanya memiliki daya dorong yang rendah namun sangat bergantung pada faktor-faktor lain. Ini berarti bahwa biaya dan persepsi lebih merupakan akibat atau hasil akhir dari elemen-elemen lain. Misalnya, persepsi petani akan menjadi positif jika didukung oleh lembaga dan teknologi yang andal. Begitu pula, biaya bisa ditekan jika ada dukungan berupa subsidi. Dalam analisis MICMAC ini, tidak ditemukan faktor yang berada di kuadran *Autonomous*. Hal ini menunjukkan bahwa semua faktor penghambat yang diidentifikasi saling terhubung dan merupakan bagian integral dari sistem. Tidak ada satu pun faktor yang terisolasi atau tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika implementasi drone sprayer secara keseluruhan.

Secara metodologis, penelitian ini berkontribusi melalui integrasi *Grounded Theory* dan Interpretive Structural Modelling (ISM) untuk menghasilkan model struktural hambatan adopsi drone sprayer yang berbasis pada temuan empiris lapangan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi faktor penghambat sekaligus pemetaan hubungan hierarkis antar faktor, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan yang hanya berfokus pada identifikasi hambatan secara parsial. Dari hasil model ISM tersebut, didapatkan lima faktor penghambat dalam adopsi teknologi drone sprayer yaitu: biaya, persepsi, teknis, dukungan lembaga, dan demografi. Faktor Dukungan Lembaga dan Demografi berperan sebagai akar penyebab yang perlu diprioritaskan penanganannya karena memiliki pengaruh terbesar terhadap sistem. Faktor Teknis berperan sebagai penghubung yang dipengaruhi oleh akar masalah tersebut dan sekaligus memengaruhi faktor Biaya dan Persepsi sebagai konsekuensi akhir. Dengan memahami struktur pengaruh ini, intervensi dapat diarahkan pada pemberdayaan lembaga dan penguatan kapasitas petani sebagai langkah mendasar untuk memperbaiki kondisi teknis, mengurangi biaya, serta membentuk persepsi positif terhadap penggunaan drone sprayer.

Pengaruh dari temuan ini menunjukkan bahwa upaya untuk mempercepat adopsi drone sprayer tidak akan efektif jika hanya berfokus pada solusi teknis atau fokus pada biaya semata, karena keduanya hanyalah akibat dari masalah yang lebih dalam. Oleh karena itu, direkomendasikan dua hal utama. Pertama, diperlukan fokus pada penguatan peran kelembagaan,

terutama melalui program penyuluhan yang aktif dalam memberikan edukasi, pelatihan, dan demonstrasi langsung di lapangan untuk mengatasi kekosongan peran yang saat ini diisi oleh sektor swasta. Kedua, perlu dikembangkan program literasi dan regenerasi yang secara spesifik menyoal petani untuk menjembatani kesenjangan kapabilitas yang disebabkan oleh faktor demografis, sekaligus memperkuat model layanan berbasis jasa yang memungkinkan adopsi teknologi tanpa menuntut penguasaan teknis mendalam dari setiap individu petani.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi lima faktor utama yang menghambat adopsi drone sprayer pada petani di Desa Jatimulya, yaitu biaya, persepsi, teknis, dukungan lembaga, dan demografi. Hasil analisis Interpretive Structural Modelling (ISM) menunjukkan bahwa faktor-faktor tersebut membentuk struktur hubungan yang saling memengaruhi. Temuan ini memberikan kontribusi ilmiah berupa model struktural hambatan adopsi drone sprayer pada petani skala kecil yang tidak hanya mengidentifikasi faktor penghambat, tetapi juga menjelaskan hubungan hierarkis antar faktor sebagai dasar perumusan strategi intervensi yang lebih efektif.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya melibatkan petani dan penyuluh sebagai informan utama serta dilakukan pada satu wilayah studi, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi secara luas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan lebih banyak pemangku kepentingan dan lokasi penelitian yang beragam. Selain itu, model yang dihasilkan dapat dikembangkan menggunakan pendekatan seperti System Dynamics, DEMATEL, ANP, atau SEM untuk menguji dan memperdalam hubungan antar faktor yang telah teridentifikasi.

Singkatan yang Digunakan

ISM *Interpretive Structural Modelling*
SSIM *Structural Self-Interaction Matrix*

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Wahyudi Adi Prasetyo: Konseptualisasi, Kurasi data, Analisis formal, Penulisan utama. **Rizqi Permana Sari:** Administrasi proyek, Modelling, Pengawasan, Visualisasi, Penulisan. **Arief Ikar:** Pengambilan data, Transkripsi, Analisis Koding, Penulisan laporan kegiatan. **Krisnawanti:** Modelling, Validator, Penulisan penyuntingan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan pendanaan LPPM Universitas Logistik dan Bisnis Internasional. Terima kasih atas pihak Maxxi Tani, para petani dan penyuluh yang terlibat sebagai informan.

Daftar Pustaka

- Alam, M. C., Aji, S. B., Purwanti, P. D., & Kustiani, E. (2023). Inovasi Pertanian dalam Penyemprotan Pesticida dengan Drone sprayer untuk Tanaman yang Sehat dan Aman di Area Persawahan Desa Musir Lor Kecamatan Rejoso Kabupaten Nganjuk. *Jatimas: Jurnal Pertanian Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 143–151. <https://doi.org/10.30737/jatimas.v3i2.5127>.
- Aldillah, R. (2016). Kinerja Pemanfaatan Mekanisasi Pertanian Dan Implikasinya Dalam Upaya Percepatan Produksi Pangan Di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi (FAE)*, 34(2), 163-177. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/fae/article/view/1141>.
- Anam, C., Qibtiyah, M., Kusumawati, D. E., Hamidah, E., & Istiqomah, I. (2025). Pelatihan Teknologi Drone sprayer Sebagai Upaya Mendukung Pertanian Presisi Pada Komunitas Petani. *Bernas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(3), 2296–2303. <https://doi.org/10.31949/jb.v6i3.14212>.
- Boga, K. (2025, February 19). *Pertanian Masa Depan: Modern, Efisien, dan Berkelanjutan*. <https://perkebunan.brmp.pertanian.go.id/berita/pertanian-masa-depan-modern-efisien-dan-berkelanjutan>.
- BPS. (2025, July 31). *Impor Beras Menurut Negara Asal Utama, 2017-2024*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTA0MyMx/impor-beras-menurut-negara-asal-utama-2017-2023.html>.
- da Silveira, F., Barbedo, J. G. A., da Silva, S. L. C., & Amaral, F. G. (2023). Proposal for a framework to manage the barriers that hinder the development of agriculture 4.0 in the agricultural production chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 108281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108281>.
- Daum, T. (2023). Mechanization and sustainable agri-food system transformation in the Global South. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00868-x>.
- Farid, B. D. R. M., Ridwan, I., Adzima, A. F., & Anshori, M. F. (2021). Penggunaan Pesawat Tanpa Awak (Drone sprayer) Dalam Melakukan Pemantauan Dan Identifikasi Otomatis Pada Pertanaman Jagung Di Kelompok Tani Pattarowangta, Kabupaten Takalar. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 7(1). <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jdp/article/view/18536>.
- Fikri, M. R., Candra, T., Saptaji, K., Noviarini, A. N., & Wardani, D. A. (2023). A review of Implementation and Challenges of Unmanned Aerial Vehicles for Spraying Applications and Crop Monitoring in Indonesia. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.00379>
- Halawa, D. N. (2024). Peran Teknologi Pertanian Cerdas (Smart Farming) untuk Generasi Pertanian Indonesia. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 6(02), 502–512. <https://doi.org/10.53863/kst.v6i02.1226>.
- Juwanda, M., Zikri, I., & Agussabti, A. (2022). Persepsi Petani Dan Penyuluh Terhadap Teknologi Smart Farming Kentang Di Kabupaten Bener Meriah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 405-414. <https://doi.org/10.17969/JIMFP.V7I4.22001> https://www.researchgate.net/publication/370942592_Persepsi_Petani_Dan_Penyuluh_Terhadap_Teknologi_Smart_Farming_Kentang_Di_Kabupaten_Bener_Meriah.
- Kaushik, H., Rajwanshi, R., & Bahaduria, A. (2021). *An I.S.M.-Based Study on the Interactions Among Technology Adoption Drivers in Dairy Farming*. *BHU Management Review*, 9(2). https://www.researchgate.net/publication/390520786_An_ISM-

[Based Study on the Interactions Among Technology Adoption Drivers in Dairy Farming.](#)

- Koran-Jogja.com. (2021). *Kenalkan Drone sprayer Sekar, Penyemprot Pupuk Asal Bantul.* <https://Koran-Jogja.Com/Kenalkan-Drone-sprayer-Sekar-Penyemprot-Pupuk-Asal-Bantul/>.
- Orjuela-Garzon, W. A., Sandoval-Aldana, A., & Mendez-Arteaga, J. J. (2024). Systematic Literature Review of Barriers and Enablers to Implementing Food Informatics Technologies: Unlocking Agri-Food Chain Innovation. *Foods* 13(21). <https://doi.org/10.3390/foods13213349>.
- Pandeya, S., Gyawali, B. R., & Upadhaya, S. (2025). Factors Influencing Precision Agriculture Technology Adoption Among Small-Scale Farmers in Kentucky and Their Implications for Policy and Practice. *Agriculture (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture15020177>.
- Rachmawati, R. R. (2021). Smart Farming 4.0 Untuk Mewujudkan Pertanian Indonesia Maju, Mandiri, Dan Modern. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38(2), 137. <https://doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.137-154>. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/fae/article/view/1096>.
- Singh, R., & Singh, S. (2025) A Review of Indian-Based Drone sprayers in the Agriculture Sector: Issues, Challenges, and Solutions. *Sensors*. 25, 4876. <https://www.mdpi.com/3439878>.
- Srinivasan, K., & Yadav, V. K. (2024). An empirical investigation of barriers to the adoption of smart technologies integrated urban agriculture systems. *Journal of Decision Systems*, 33(4), 878–912. <https://doi.org/10.1080/12460125.2023.2189652>.
- Sudarwati, L., & Nasution, N. F. (2024). Upaya Pemerintah dan Teknologi Pertanian dalam Meningkatkan Pembangunan dan Kesejahteraan Petani di Indonesia. *Jurnal Kajian Agraria Dan Kedaulatan Pangan (JKAKP)*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.32734/jkakup.v3i1.15847>
- Syarief, M., Rahmawati, D., Mujiono, & Fittryah, L. D. (2024). Efektivitas dan Efisiensi Drone sprayer untuk Pengendalian Gulma pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L). *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 8(1), 52–60. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v8i1.523>
- Tarigan, H. (2019). Mekanisasi Pertanian dan Pengembangan Usaha Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA). *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 36(2), 117. <https://doi.org/10.21082/fae.v36n2.2018.117-128>. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/fae/article/view/1132>.
- Tulungen, F. R. (2024). Teknologi Pertanian Presisi Untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi Padi Di Indonesia. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 5(1). <https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/view/3135>
- Yasar, H., Raza, M. H., Faisal, M., Nadeem, N., Khan, N., Kassem, H. S., ..., & Mahmood, S. (2024). Does farm mechanization improve farm performance and ensure food availability at household level? Empirical evidence from Pakistan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1453221>