

## MITIGASI RISIKO PENGGUNAAN PGPR PADA USAHATANI BAWANG MERAH DI KABUPATEN NGANJUK INDONESIA



Irzaq Galuh Pranata<sup>1\*)</sup>, Fitri Krismiratsih<sup>1)</sup>, Suwinda Fibriani<sup>1)</sup>, Dwi Putri Sunaryanti<sup>1)</sup>,  
Dini Nafisatul Mutmainah<sup>1)</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Negeri Jember Indonesia

\*Corresponding author: [irzaq\\_galuh@polije.ac.id](mailto:irzaq_galuh@polije.ac.id)

### To cite this article:

Galuh, I., Krismiratsih, F., Fibriani, S., Sunaryanti, D. P., & Mutmainah, D. N. (2025). Mitigasi Risiko Penggunaan PGPR pada Usahatani Bawang Merah di Kabupaten Nganjuk Indonesia. *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis Dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 10(6), 592–602. <https://doi.org/10.37149/jia.v10i6.2439>

**Received:** September 24, 2025; **Accepted:** December 24, 2025; **Published:** December 29, 2025

### ABSTRACT

The adoption of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in Indonesia remains limited, despite their potential to improve crop productivity and reduce dependence on synthetic inputs in intensive shallot production systems. This study aims to identify and prioritize the key risk sources that impede PGPR adoption and to formulate institution-oriented mitigation strategies. The research was conducted in Nganjuk Regency, East Java, using the House of Risk (HOR) framework to characterize risk events, link them to their causal agents, and derive a hierarchy of preventive actions based on their Aggregate Risk Potential. The results reveal that the most influential risks arise from institutional and behavioral dimensions rather than from the technical aspects of PGPR application. Weak institutional support, limited technical assistance during the transition phase, and inadequate dissemination of scientific information were identified as the primary factors shaping farmers' perceptions of uncertainty and adoption decisions. Technical considerations related to product formulation or field performance exerted comparatively lower influence on the overall risk structure. Based on the prioritization outcomes, three mitigation directions are highlighted: strengthening cross-institutional coordination to ensure coherent support mechanisms, enhancing the capacity and engagement of extension officers to facilitate knowledge transfer, and establishing participatory learning platforms that allow farmers to observe and validate PGPR performance under local conditions. These measures are expected to reduce perceived uncertainty and create enabling conditions for more consistent uptake of biological inputs. In summary, this study identifies the primary risk sources that constrain PGPR adoption and provides a set of targeted, institution-based mitigation strategies derived from a structured risk analysis. The findings provide an evidence-based foundation for strengthening institutional support systems and identify avenues for future research on communication models and institutional interventions to enhance the diffusion of biofertilizers in smallholder farming systems.

**Keywords:** biofertilizer adoption; organic farming; plant growth-promoting rhizobacteria; risk assessment models; sustainable agriculture.

### PENDAHULUAN

Ketergantungan pertanian pada pupuk kimia merupakan salah satu tantangan signifikan dalam konteks pertanian modern. Pupuk kimia yang menyediakan nutrisi dengan cepat bagi tanaman, sering dianggap sebagai solusi efisien untuk meningkatkan hasil pertanian. Namun, penggunaan jangka panjang dapat menyebabkan banyak permasalahan, termasuk penurunan kualitas tanah, pencemaran lingkungan, dan meningkatnya biaya produksi (Aldiansyah et al., 2024; Pelealu & Mambu, 2020; Sesanti et al., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa efisiensi jangka pendek dari pupuk kimia justru menyembunyikan risiko ekologis dan ekonomi yang dapat mengancam keberlanjutan sektor pertanian.

Sebagai respon terhadap permasalahan tersebut, muncul pergeseran paradigma menuju praktik pertanian berkelanjutan melalui penggunaan pupuk organik dan agen hayati. Salah satu



inovasi penting dalam konteks ini adalah pemanfaatan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), yaitu mikroorganisme yang hidup di sekitar akar tanaman dan berperan dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi, menekan penyakit, serta mendorong pertumbuhan tanaman (Choliq et al., 2020; Sacita & Firdamayanti, 2022). Integrasi PGPR dengan bahan organik, seperti kotoran ayam, terbukti mampu meningkatkan kualitas pertumbuhan, hasil panen, dan kandungan gizi tanaman seperti tomat dan bawang merah (Nurjanah et al., 2022; Sari & Sudiarso, 2022), sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia (Saputra & Stevanus, 2019).

Meskipun manfaat PGPR secara agronomis telah banyak dibuktikan, penerapannya di lapangan tidak selalu menunjukkan hasil yang konsisten. Efektivitas PGPR terbukti bervariasi menurut jenis tanaman, kondisi tanah, iklim, serta sumber bahan baku yang digunakan (Ichwan et al., 2022; Rahmayanti, 2023; Utami et al., 2017). Misalnya, dalam pertanian bawang merah, variasi konsentrasi PGPR perlu dioptimalkan sesuai dengan takaran pupuk organik yang digunakan (Kafrawi, 2021). Selain itu, ada juga ketergantungan terhadap bahan baku PGPR yang mungkin berbeda secara komposisi dan potensi di berbagai lokasi, yang dapat menyebabkan hasil yang tidak konsisten (Naihati et al., 2018).

Selain faktor teknis, keterbatasan pengetahuan petani mengenai manfaat dan cara penerapan PGPR menjadi hambatan signifikan dalam adopsi teknologi ini. Sebagian besar petani mungkin belum sepenuhnya siap atau berpengetahuan cukup untuk mengimplementasikan teknologi berbasis PGPR secara efektif (Noviana et al., 2023; Suryanto et al., 2021). Akibatnya, muncul risiko kegagalan penerapan PGPR serta potensi kerugian ekonomi. Oleh karena itu, upaya penyuluhan dan pemberdayaan masyarakat menjadi kunci penting untuk memperluas pemahaman dan kepercayaan terhadap teknologi ini (Sacita & Firdamayanti, 2022; Suryanto et al., 2021).

Di sisi lain, masih terdapat persoalan pada aspek kualitas dan stabilitas produk PGPR komersial. Perbedaan dalam proses produksi, formulasi, dan penyimpanan dapat mempengaruhi efektivitas produk di lapangan (Sitawati et al., 2022). Apabila tidak diantisipasi, ketidakkonsistenan ini berpotensi menurunkan kepercayaan pasar dan menghambat integrasi PGPR dengan sistem pertanian berkelanjutan yang diharapkan. Dengan demikian, penggunaan PGPR tidak hanya menyangkut persoalan teknis dan biologis, tetapi juga mencakup dimensi manajerial, sosial, dan ekonomi yang saling berinteraksi.

Meskipun literatur mengenai manfaat biologis PGPR sangat kaya, penelitian yang secara komprehensif memetakan risiko adopsi teknologi ini masih terbatas. Sebagian besar studi berfokus pada efektivitas biologis dan respons tanaman, sementara dimensi manajerial, kelembagaan, dan perilaku petani kurang mendapat perhatian. Belum banyak penelitian yang mengidentifikasi sumber risiko, hubungan antar-risiko, serta prioritas mitigasi yang relevan untuk konteks usaha tani. Padahal, keberhasilan adopsi PGPR sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem agribisnis dalam mengenali dan mengelola risiko yang muncul sepanjang rantai penerapan, mulai dari formulasi, distribusi, hingga penggunaan oleh petani. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan sumber risiko utama yang menghambat adopsi PGPR serta merumuskan strategi mitigasinya.

Penelitian ini mengisi celah tersebut menerapkan pendekatan House of Risk (HOR) untuk mengidentifikasi, memetakan, dan memprioritaskan berbagai sumber risiko dalam penerapan PGPR. HOR memungkinkan integrasi antara risk events dan risk agents dalam matriks keterkaitan, sehingga dapat menghasilkan strategi mitigasi yang terstruktur dan berbasis prioritas. Meskipun metode ini banyak digunakan dalam sektor industri dan manajemen rantai pasok, penerapannya pada konteks agribisnis biofertilizer masih sangat terbatas. Adaptasi HOR pada sistem yang melibatkan proses biologis, variabilitas lingkungan, dan perilaku petani memberikan nilai tambah metodologis dibandingkan pendekatan risiko konvensional di sektor pertanian.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan nilai kebaruan dengan mengadaptasi HOR untuk menganalisis risiko penggunaan PGPR di lapangan, yang memiliki karakteristik berbeda dari proses industri karena melibatkan faktor biologis, lingkungan, dan sosial ekonomi petani. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam dua hal: (1) secara teoretis, memperluas penerapan metode HOR dari sektor industri ke bidang agribisnis yang berbasis hayati; dan (2) secara praktis, menyediakan dasar ilmiah bagi pengambilan keputusan dan strategi mitigasi risiko penggunaan PGPR agar lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur, pada komoditas bawang merah. Pemilihan lokasi ini menggunakan *purposive method* yang didasarkan pada peran Nganjuk sebagai sentra produksi bawang merah di Jawa Timur yang memiliki kontribusi signifikan terhadap pasokan

nasional (Sholihah, 2023). Pemilihan *key informan* dalam penelitian ini dilakukan dengan teknik *purposive*, yaitu dengan mempertimbangkan keterlibatan, pengalaman, dan kompetensi dalam budidaya bawang merah maupun dalam penggunaan PGPR. *Key informan* meliputi 5 petani bawang merah yang telah menggunakan PGPR untuk memperoleh perspektif pengalaman dan kendala di lapangan, 3 penyuluh pertanian lapangan yang mendampingi petani dalam adopsi inovasi, serta 3 perwakilan dari Dinas Pertanian dan Balai Penyuluhan Pertanian yang berperan dalam regulasi dan program pertanian. Jumlah ini memenuhi batas minimal penelitian eksploratif untuk pemetaan risiko (10–30 responden) dan dianggap memadai karena sistem budidaya relatif homogen.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan dua pendekatan utama, yaitu wawancara mendalam dan *Focus Group Discussion* (FGD). Validasi dilakukan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan hasil wawancara antar *key informan* (petani, penyuluh, dan perwakilan instansi terkait), serta diskusi kelompok terarah (FGD) untuk memastikan konsistensi dan keabsahan data risiko yang teridentifikasi dan mitigasinya.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *House of Risk* (HOR) untuk mengidentifikasi, memetakan, dan memprioritaskan risiko dalam penerapan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Pemilihan metode *House of Risk* (HOR) dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko secara sistematis. Dibandingkan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang bersifat subjektif karena penilaian risikonya hanya didasarkan pada persepsi individu terhadap tingkat keparahan, frekuensi, dan deteksi tanpa mempertimbangkan hubungan antar penyebab risiko, metode HOR menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan menekankan hubungan antara *risk event* dan *risk agent* dalam suatu matriks terintegrasi. Sementara itu, dibandingkan dengan *Analytic Network Process* (ANP) yang mampu menangkap hubungan antar elemen risiko namun membutuhkan perhitungan yang kompleks dan intensif secara komputasional, HOR memberikan keseimbangan antara kedalaman analisis dan kemudahan penerapan di lapangan.

Implementasi metode HOR dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap analisis utama. Tahap pertama (HOR I) difokuskan pada proses identifikasi *risk event* dan *risk agent* melalui wawancara mendalam dan diskusi kelompok terarah (FGD) dengan *key informan*. Setiap keterkaitan antara *risk event* dan *risk agent* dianalisis menggunakan matriks korelasi dengan penilaian tingkat keparahan (*severity*) dan probabilitas kejadian (*occurrence*). Nilai keterkaitan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung *Aggregate Risk Potential* (ARP) yang menjadi dasar penentuan prioritas risiko.

Tahap kedua (HOR II) bertujuan untuk merancang strategi mitigasi risiko melalui evaluasi efektivitas dan efisiensi tindakan yang diusulkan. Rasio antara tingkat efektivitas mitigasi dan sumber daya yang diperlukan digunakan sebagai kriteria kuantitatif dalam menentukan urutan prioritas tindakan mitigasi yang paling optimal. Hasil akhir dari kedua tahap ini berupa pemetaan risiko dan rekomendasi strategi mitigasi yang diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan risiko penggunaan biofertilizer berbasis PGPR secara efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi dan prioritas sumber risiko utama yang menghambat adopsi PGPR

Penggunaan PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*) dalam pertanian modern menawarkan banyak potensi untuk merangsang pertumbuhan tanaman sekaligus meningkatkan resistensinya terhadap penyakit. Namun, terdapat sejumlah risiko yang perlu dipertimbangkan terkait penggunaannya terutama dari segi sosio-ekonomi. Berdasarkan identifikasi *risk event* atau peristiwa risiko yang berpotensi muncul dalam penggunaan PGPR pada budidaya bawang merah adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Risiko kejadian/*risk event*

<i>Risk Event</i>	<i>Code</i>	<i>Saverity</i>
Persepsi risiko hasil ( <i>yield risk</i> ) saat masa transisi dianggap tinggi (takut gagal panen)	E1	9
Aplikasi PGPR tidak efektif meningkatkan hasil panen	E2	7
Distribusi produk PGPR di lapang tidak merata, sehingga petani sulit mengakses	E3	8
Tidak ada tolak ukur tingkat keberhasilan dalam menggunakan PGPR	E4	8

Sumber: Data Primer diolah, 2025

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa persepsi risiko hasil panen (*yield risk*) pada masa transisi menuju penggunaan PGPR menempati tingkat keparahan tertinggi, diikuti dengan risiko efektivitas aplikasi yang belum optimal, distribusi produk yang belum merata, dan ketiadaan tolak ukur keberhasilan yang jelas. Temuan ini memperlihatkan bahwa adopsi PGPR pada usahatani bawang merah di Kabupaten Nganjuk masih menghadapi hambatan dari sisi persepsi risiko dan pengalaman empiris petani. Sebagian besar petani menunjukkan kecenderungan *risk averse*, yaitu lebih memilih stabilitas hasil daripada mencoba inovasi yang belum teruji secara luas di tingkat lokal. Sikap tersebut sejalan dengan pandangan bahwa petani kecil cenderung menghindari ketidakpastian, terutama ketika perubahan praktik budidaya berpotensi mengganggu pendapatan jangka pendek. Hasil penelitian serupa yang dilakukan oleh (Suryani et al., 2020) dimana, banyak petani khawatir bahwa produk hayati tidak seefektif pestisida sintesis, yang dalam jangka pendek telah terbukti memberikan hasil cepat dalam mengatasi masalah hama dan penyakit. Tingginya persepsi risiko ini berimplikasi pada sikap hati-hati, bahkan resistensi dalam adopsi inovasi.

Dalam kerangka teori adopsi inovasi Rogers (2003), situasi ini mencerminkan tahapan *persuasion* dan *decision*, di mana individu mengevaluasi manfaat dan risiko sebelum mengadopsi teknologi baru. Persepsi negatif terhadap PGPR menandakan lemahnya aspek *relative advantage* dan *observability*, dalam arti petani belum melihat bukti konkret bahwa PGPR memberikan hasil panen yang lebih tinggi atau mengurangi biaya produksi dibandingkan pupuk kimia. Selain itu, rendahnya *trialability* atau kesempatan untuk mencoba dalam skala kecil juga menjadi kendala penting, karena petani membutuhkan pengalaman langsung untuk menilai efektivitas PGPR (Prokopy et al., 2019; Tey et al., 2017). Hanya sebagian petani di Kabupaten Nganjuk yang telah mencoba PGPR meskipun secara terbatas, sementara petani lain menunggu hasil yang nyata sebelum memutuskan untuk ikut serta, menunjukkan bahwa proses difusi inovasi masih berada pada tahap awal.

Risiko distribusi produk yang belum merata turut memperlambat difusi, karena keterbatasan akses dan ketidakkonsistenan kualitas produk dapat menurunkan kepercayaan terhadap inovasi (Wulansari et al., 2022). Dalam konteks difusi, ketersediaan input merupakan prasyarat penting agar petani dapat menguji dan mengadopsi inovasi secara berkelanjutan (Arslan et al., 2022). Demikian pula, tidak adanya tolak ukur keberhasilan yang jelas memperkuat persepsi ketidakpastian, karena petani sulit membandingkan hasil PGPR dengan sistem konvensional secara obyektif. Aspek *complexity* dan *relative advantage* menjelaskan bahwa semakin sulit suatu inovasi dipahami atau diukur manfaatnya, semakin rendah pula tingkat adopsinya (Makamane et al., 2023; Mottaleb et al., 2016).

Tabel 2. Agen risiko/*risk agent*

<i>Risk Agent</i>	Code	Occurance
Petani tidak paham bahwa PGPR butuh waktu adaptasi	A1	10
Dosis, waktu, atau metode aplikasi PGPR tidak tepat.	A2	8
Strain PGPR yang dipakai tidak sesuai dengan bawang merah lokal.	A3	6
Tekanan sosial dari kelompok tani yang mayoritas masih pakai input kimia "takut beda sendiri".	A4	8
Kurangnya pendampingan teknis dalam masa transisi	A5	8
Produk PGPR palsu atau mutu rendah beredar di pasaran	A6	7
Kurangnya kadar organik tanah	A7	9
Waktu aplikasi PGPR tidak tepat	A8	7
Petani mencampur PGPR dengan bahan kimia yang mematikan mikroba	A9	6
Residu pestisida/kimia di tanah menekan pertumbuhan mikroba PGPR	A10	7
Kualitas PGPR mandiri tidak konsisten	A11	5
Petani lebih familiar membeli input kimia daripada hayati, sehingga PGPR kurang diprioritaskan	A12	6
Sosialisasi produk PGPR oleh produsen masih minim	A13	9
Tidak ada standar indikator keberhasilan penggunaan PGPR yang disepakati	A14	9
Minimnya penelitian lapang yang memberikan data kuantitatif tentang efektivitas PGPR.	A15	9
Kurangnya sosialisasi hasil uji PGPR oleh lembaga penelitian/pemerintah.	A16	9
Tidak adanya panduan teknis (SOP) resmi penggunaan PGPR.	A17	8
Tidak ada monitoring/evaluasi hasil penggunaan PGPR oleh penyuluh/pendamping.	A18	8

Sumber: Data primer diolah, 2025.

Fenomena ini menunjukkan bahwa risiko-risiko yang muncul tidak hanya berdampak pada tingkat adopsi inovasi, tetapi juga pada stabilitas produktivitas usahatani bawang merah di Kabupaten Nganjuk. Pola adopsi yang parsial dan berbasis pengalaman pribadi menyebabkan variasi hasil antarpelaku usaha, yang pada gilirannya memengaruhi efisiensi penggunaan lahan dan perencanaan input dalam satu musim tanam. Ketika sebagian petani masih mengandalkan input kimia sementara yang lain mulai menggunakan PGPR, kesenjangan produktivitas dan biaya produksi di antara mereka semakin nyata. Dalam jangka pendek, kondisi ini dapat memperlambat konsistensi produksi bawang merah dan menurunkan daya saing wilayah, terutama jika adaptasi inovasi hayati seperti PGPR tidak disertai dengan proses pembelajaran kolektif dan penguatan kepercayaan di tingkat petani.

Faktor-faktor penyebab risiko (*risk agent*) yang teridentifikasi menunjukkan bahwa hambatan dalam penggunaan PGPR tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup aspek perilaku petani, mutu produk, serta kelemahan sistem pendukung inovasi. Hambatan perilaku muncul karena sebagian petani belum memahami bahwa PGPR membutuhkan waktu adaptasi sebelum memberikan hasil yang optimal, sehingga ekspektasi hasil yang cepat sering kali menimbulkan persepsi kegagalan. Selain itu, rendahnya kadar bahan organik tanah dapat menurunkan efektivitas mikroba rizosfer, menghambat kolonisasi, dan menurunkan efisiensi inokulasi.

Faktor sosial seperti tekanan kelompok tani yang masih berorientasi pada input kimia turut memperkuat resistensi terhadap perubahan perilaku budidaya, sebagaimana diungkap oleh Tey et al., (2019) dan Nastis et al., (2019) bahwa norma sosial dan persepsi risiko ekonomi sering kali menjadi penghambat adopsi inovasi pertanian berkelanjutan. Di sisi lain, kurangnya sosialisasi dan data empiris dari lembaga penelitian atau produsen membuat petani sulit memperoleh bukti konkret atas efektivitas PGPR di tingkat lapangan. Secara keseluruhan, kombinasi antara keterbatasan pengetahuan, dukungan kelembagaan yang belum optimal, dan kondisi lingkungan yang kurang mendukung menyebabkan tingginya peluang munculnya peristiwa risiko yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel 3. Matriks *house of risk* fase 1

Risk Agent	Ei				Oi	ARP	Rank
	E1	E2	E3	E4			
A1	9	3	0	0	10	1.020	7
A2	0	9	0	0	5	315	11
A3	1	3	0	0	4	120	17
A4	9	0	0	0	6	486	8
A5	9	3	0	3	9	1.134	5
A6	0	3	0	0	4	84	18
A7	0	3	0	0	9	189	16
A8	1	9	0	0	5	360	10
A9	0	9	0	0	4	252	14
A10	0	9	0	0	5	315	11
A11	0	3	3	0	5	225	15
A12	0	0	9	0	6	432	9
A13	1	0	3	0	9	297	13
A14	9	0	0	9	9	1.377	2
A15	9	1	0	9	9	1.440	1
A16	9	0	3	3	9	1.161	4
A17	3	3	0	9	9	1.080	6
A18	9	0	0	9	8	1.224	3
<b>Si</b>	9	7	8	8			

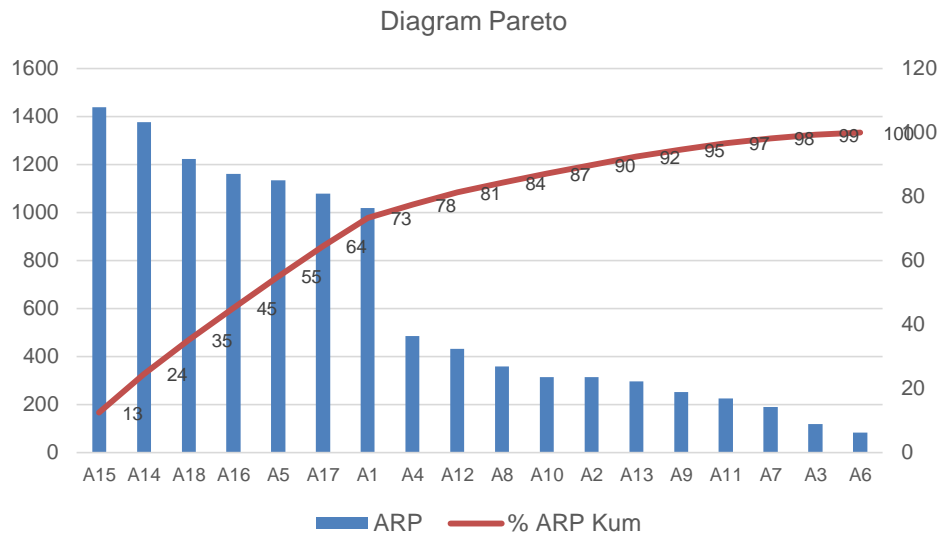
Sumber: Data primer diolah, 2025.

Analisis HOR fase 1 menunjukkan bahwa risiko penggunaan PGPR pada budidaya bawang merah terutama muncul dari lemahnya infrastruktur kelembagaan dan mekanisme komunikasi inovasi. Pola skor yang muncul menegaskan bahwa ketidakpastian petani lebih banyak dipicu oleh kurangnya bukti lapang yang dapat diakses, ketiadaan acuan kinerja yang disepakati, serta absennya sistem pemantauan rutin oleh penyuluh. Temuan ini mencerminkan adanya kegagalan sistemik dalam menyediakan informasi yang kredibel dan berkelanjutan, sehingga proses pembelajaran petani tidak berjalan optimal. Kondisi tersebut memperkuat pandangan Rogers (2003), bahwa kualitas arus informasi menjadi penentu utama dalam membentuk persepsi manfaat dan risiko suatu inovasi, khususnya pada tahap awal proses adopsi.

Selain itu, pola risiko yang muncul menunjukkan bahwa adopsi PGPR masih dibayangi oleh ketidakpastian prosedural dan lemahnya dukungan kelembagaan. Ketiadaan pendampingan teknis yang konsisten selama masa transisi, serta absennya panduan kerja atau SOP yang jelas, membuat petani tidak memiliki rujukan operasional yang dapat diandalkan. Dalam kondisi seperti ini, keputusan adopsi sangat dipengaruhi oleh persepsi subjektif terhadap risiko, sebagaimana ditegaskan Prokopy et al., (2019), bahwa kehadiran penyuluh dan kejelasan protokol teknis merupakan faktor kunci dalam menurunkan ambiguitas teknologi baru. Rendahnya kehadiran penyuluh dan lemahnya mekanisme monitoring menyebabkan proses pembelajaran sosial (*social learning*) berjalan lambat, sehingga norma-norma konservatif berbasis input kimia tetap dominan (Tey et al., 2017).

Sebaliknya, faktor-faktor teknis yang sering diasumsikan sebagai hambatan utama justru menunjukkan pengaruh yang relatif kecil dalam dinamika risiko adopsi. Isu terkait mutu produk atau kesesuaian strain PGPR dengan varietas lokal tidak muncul sebagai determinan dominan, sehingga implikasinya lebih bersifat marginal dibandingkan persoalan kelembagaan. Pola ini konsisten dengan temuan Kassie et al. (2013), yang menegaskan bahwa keputusan adopsi inovasi lebih banyak digerakkan oleh persepsi petani, dukungan institusional, serta sejauh mana informasi yang tersedia dapat dipercaya. Dalam konteks Nganjuk, kondisi tersebut menegaskan perlunya penguatan mekanisme kelembagaan yang mampu menyediakan transparansi hasil uji lapang, memperluas ruang komunikasi antar pelaku agribisnis, dan memastikan keterlibatan petani dalam proses pembelajaran. Upaya-upaya ini penting untuk mengurangi persepsi risiko sekaligus membangun keyakinan kolektif terhadap efektivitas PGPR sebagai alternatif input kimia.

Hasil perhitungan nilai *Aggregate Risk Potential (ARP)* memberikan urutan prioritas dari masing-masing *risk agent* berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap terjadinya *risk event*. Namun, tidak semua *risk agent* dapat ditangani sekaligus karena keterbatasan sumber daya dan fokus intervensi. Oleh karena itu, digunakan prinsip Pareto untuk menentukan *risk agent* yang paling kritis. Dengan pendekatan ini, sekitar 20% *risk agent* yang memiliki nilai ARP tertinggi diasumsikan menyumbang sekitar 80% potensi risiko. Hasil pemilihan berdasarkan prinsip Pareto inilah yang kemudian menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi pada tahap selanjutnya.



Gambar 1. Pengolahan risiko menggunakan diagram pareto

Berdasarkan hasil pengolahan *risk agent* menggunakan prinsip Pareto, diperoleh hasil proporsi sebesar 37:73 yang menunjukkan bahwa sebagian kecil *risk agent* berkontribusi terhadap sebagian besar potensi risiko penggunaan PGPR pada usahatani bawang merah. Terdapat tujuh *risk agent* yang dominan, yaitu: A15, A14, A18, A16, A5, A17, A1. *Risk agent* dominan tersebut akan menjadi dasar untuk tahap analisis berikutnya, yakni perumusan strategi pencegahan (*preventive action*) agar upaya mitigasi risiko dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

Berdasar pada daftar *risk agent* prioritas melalui analisis HOR fase 1 dengan menggunakan metode penilaian tingkat keparahan (*severity*), kemungkinan terjadi (*occurrence*), serta hasil perankingan berbasis prinsip Pareto, langkah berikutnya adalah memasuki fase 2 (Puji et al., 2019). Pada tahap ini, fokus analisis beralih dari sekadar identifikasi risiko menuju perancangan tindakan pencegahan (*preventive actions*) yang paling efektif (Puji, 2024). Hasil wawancara mengungkapkan

berbagai tindakan pencegahan yang dapat dilakukan untuk menghindari munculnya risiko prioritas sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tindakan pencegahan risiko prioritas penggunaan PGPR

Code	Risk Agent	Code	Preventive Action
A15	Minimnya penelitian lapang yang memberikan data kuantitatif tentang efektivitas PGPR.	PA1	Melakukan penelitian lapang berskala multi-lokasi untuk menghasilkan data kuantitatif efektivitas PGPR
A14	Tidak ada standar indikator keberhasilan penggunaan PGPR yang disepakati	PA2	Menyusun standar indikator keberhasilan PGPR (misalnya indikator pertumbuhan, produktivitas, kualitas tanah).
A18	Tidak ada monitoring/evaluasi hasil penggunaan PGPR oleh penyuluh/pendamping.	PA3	Membentuk sistem monitoring & evaluasi oleh penyuluh/pendamping berbasis laporan periodik petani.
A16	Kurangnya sosialisasi hasil uji PGPR oleh lembaga penelitian/pemerintah.	PA4	Mengoptimalkan diseminasi hasil riset PGPR melalui demplot, media digital, dan forum petani.
A5	Kurangnya pendampingan teknis dalam masa transisi	PA5	Menyediakan pendampingan teknis berkelanjutan terutama saat masa transisi penggunaan PGPR
A17	Tidak adanya panduan teknis (SOP) resmi penggunaan PGPR.	PA6	Menyusun SOP penggunaan PGPR berbasis hasil penelitian dan pengalaman lapangan.
A1	Petani tidak paham bahwa PGPR butuh waktu adaptasi	PA7	Melakukan pelatihan & edukasi petani mengenai karakteristik PGPR, termasuk waktu adaptasi

Sumber: Data primer diolah, 2025.

Berdasarkan pada *preventive action* yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah merumuskan strategi implementasi agar tindakan tersebut dapat dijalankan secara nyata di lapangan. Strategi implementasi ini merupakan fase ke 2 dari metode analisis HOR. Pada tahap ini, berbagai alternatif tindakan pencegahan (*preventive action*) disusun, lalu dinilai sejauh mana efektivitasnya dalam menekan risiko serta mempertimbangkan kemudahan penerapannya di lapangan (Puji & Yul, 2021). Hasil analisis ini kemudian menghasilkan urutan prioritas tindakan yang menjadi dasar rekomendasi strategi mitigasi penggunaan PGPR pada usahatani bawang merah. Hasil Analisis HOR fase 2 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks *House of Risk* fase 2

Risk Agent	Preventive Action							ARP
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	
A15	9	3	1	1	0	0	0	1.440
A14	3	9	3	1	0	3	0	1.377
A18	1	3	9	1	3	3	0	1.224
A16	1	1	1	9	3	1	0	1.161
A5	0	0	3	3	9	1	3	1.134
A17	0	3	3	1	1	9	0	1.080
A1	0	0	1	3	3	0	9	1.020
$TE_k$	19.476	24.786	25.410	22.032	21.501	19.818	12.582	
$D_k$	4	3	3	2	2	3	2	
$ETD_k$	4.869	8.262	8.470	11.016	10.751	6.606	6.291	
Rank	7	4	3	1	2	5	6	

Sumber: Data primer diolah, 2025.

Berdasarkan hasil pemeringkatan *preventive action* pada Tabel 5, tindakan pencegahan yang memiliki nilai *Effectiveness to Difficulty* (ETDk) tertinggi dipandang sebagai alternatif paling strategis dalam menekan *risk agent* prioritas adopsi PGPR. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak seluruh tindakan pencegahan memiliki tingkat pengaruh dan kemudahan implementasi yang sama, sehingga diperlukan proses seleksi berdasarkan prioritas untuk memastikan efektivitas mitigasi risiko di tingkat lapangan. Oleh karena itu, *preventive action* dengan peringkat tertinggi selanjutnya disintesis dan dirumuskan sebagai strategi mitigasi risiko adopsi PGPR berbasis *House of Risk* fase 2.

## Strategi Mitigasi

Hasil analisis *House of Risk* fase 2, strategi mitigasi risiko adopsi PGPR pada usahatani bawang merah dapat dikelompokkan ke dalam tiga pilar utama, yaitu penguatan diseminasi pengetahuan, pendampingan teknis berkelanjutan, dan penguatan kelembagaan pendukung adopsi. Optimalisasi diseminasi melalui demplot, media digital, dan forum petani menjadi strategi mitigasi prioritas utama karena mampu menekan beberapa risk agent sekaligus, terutama yang berkaitan dengan keterbatasan bukti lapang dan arus informasi. Strategi ini diperkuat dengan pendampingan teknis dan sistem monitoring yang berfungsi mengurangi ketidakpastian selama masa transisi adopsi. Selain itu, penyusunan SOP dan pelatihan petani berperan sebagai strategi mitigasi struktural yang menjamin konsistensi penerapan PGPR di tingkat lapangan. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa mitigasi risiko adopsi PGPR tidak hanya bergantung pada aspek teknis, tetapi memerlukan intervensi institusional yang terintegrasi.

Implementasi strategi mitigasi tersebut diwujudkan melalui penguatan mekanisme diseminasi yang memungkinkan petani memperoleh bukti empiris dan informasi teknis secara langsung dari pengalaman lapang. Pendekatan ini dianggap krusial karena secara langsung menjawab persoalan mendasar berupa keterbatasan bukti lapang, ketidakjelasan indikator keberhasilan, serta rendahnya arus informasi dari lembaga penelitian menuju petani. Temuan ini memperkuat pandangan Rogers (2003), bahwa kekuatan saluran komunikasi, terutama yang menyediakan bukti empiris yang dapat diverifikasi, memiliki pengaruh besar terhadap proses adopsi. Sejalan dengan itu, penelitian Tey et al. (2017), menunjukkan bahwa paparan informasi yang bersifat visual dan berbasis pengalaman nyata turut meningkatkan persepsi kegunaan teknologi di kalangan petani. Dalam konteks PGPR, kegiatan seperti demplot dan pelatihan lapang bukan hanya berfungsi sebagai media penyampaian informasi, tetapi juga membangun ruang pembelajaran partisipatif yang memungkinkan petani mengamati, mendiskusikan, dan mengevaluasi performa teknologi secara langsung. Pendekatan ini terbukti meningkatkan kepercayaan dan memperkuat keputusan adopsi, sebagaimana disorot oleh (Istri Dewi et al., 2024).

Tindakan prioritas berikutnya yaitu penyediaan pendampingan teknis berkelanjutan terutama pada masa transisi. Pendampingan yang konsisten berperan penting dalam mengurangi ketidakpastian terhadap hasil penggunaan PGPR dan memastikan transfer pengetahuan berlangsung efektif. Penyuluh dan fasilitator berfungsi sebagai *change agents* yang menjembatani kesenjangan informasi antara peneliti dan pengguna inovasi. Hasil ini sejalan dengan temuan (Arslan et al., 2022), dalam meta analisisnya menunjukkan bahwa frekuensi pendampingan dan akses konsultasi lapang merupakan faktor dominan dalam mempercepat proses adopsi teknologi. Dalam konteks petani bawang merah di Nganjuk, pendampingan teknis menjadi kunci karena banyak petani masih berada pada tahap "*persuasion*", dimana mereka sudah mengetahui PGPR, tetapi belum sepenuhnya yakin untuk mengadopsinya secara permanen.

Selanjutnya, penguatan pendampingan teknis melalui sistem monitoring dan evaluasi rutin menjadi langkah yang tidak kalah penting dalam mempercepat pemahaman petani terhadap penggunaan PGPR. Pendekatan ini memberi ruang bagi penyuluh untuk mendampingi proses adaptasi petani secara lebih dekat, sekaligus memastikan bahwa praktik yang diterapkan sesuai dengan rekomendasi lapangan. Sistem pendampingan semacam ini terbukti berperan sebagai jembatan informasi yang membuat proses pembelajaran berlangsung lebih terarah, terutama ketika petani memasuki fase penggunaan awal yang rawan kesalahan teknis. Temuan ini sejalan dengan Kassem et al. (2021), yang menunjukkan bahwa ketersediaan layanan penyuluhan yang terstruktur mampu meningkatkan konsistensi petani dalam mengadopsi biofertilizer, karena mereka memperoleh rujukan yang jelas ketika menghadapi ketidakpastian di lapangan. Dalam konteks petani bawang merah di Nganjuk, mekanisme monitoring menjadi penting bukan hanya untuk memastikan implementasi, tetapi juga untuk membangun keyakinan bahwa PGPR dapat memberikan hasil yang stabil, meskipun efektivitas jangka panjangnya tetap memerlukan kajian lebih lanjut.

Penyusunan SOP penggunaan PGPR muncul sebagai langkah strategis yang dapat memperkuat konsistensi penerapan inovasi di tingkat petani. Keberadaan panduan yang jelas dan terstandar membantu mengurangi kebingungan prosedural yang kerap muncul pada fase awal adopsi, sehingga praktik di lapangan menjadi lebih seragam dan dapat dievaluasi secara sistematis. Pendekatan ini sejalan dengan temuan Thomas et al. (2023), yang menekankan bahwa kejelasan instruksi teknis dan pelatihan formal berperan besar dalam membangun kepercayaan petani terhadap biofertilizer. Dengan adanya SOP, proses penyuluhan dan pelatihan di Nganjuk dapat berlangsung lebih terarah, karena penyuluh maupun kelompok tani memiliki rujukan operasional yang sama. Dalam jangka panjang, keberadaan SOP bukan hanya mempermudah proses pendampingan, tetapi juga dapat mempercepat pergeseran menuju praktik budidaya yang lebih berkelanjutan melalui penerapan PGPR yang konsisten dan berbasis bukti.

Inisiatif pelatihan yang menekankan karakteristik biologis dan fase adaptasi PGPR berperan penting dalam membangun kapasitas teknis sekaligus menggeser perilaku adopsi petani. Salah satu hambatan umum di lapangan adalah kecenderungan petani menilai PGPR kurang efektif karena respons tanaman tidak muncul secara instan, berbeda dengan pupuk kimia. Pelatihan yang dirancang untuk menjelaskan mekanisme kerja mikroba dapat membantu mengurangi bias persepsi ini. Backer et al. (2018), menunjukkan bahwa pemahaman yang lebih baik mengenai proses biologis di balik biofertilizer mampu meningkatkan toleransi petani terhadap ketidakpastian hasil pada fase awal penerapan. Dalam konteks Nganjuk, pendekatan edukatif semacam ini berpotensi memperkuat keyakinan petani terhadap manfaat jangka panjang PGPR terhadap kesehatan tanah dan pengurangan ketergantungan pada input kimia, sehingga mendukung akselerasi adopsi yang lebih berkelanjutan.

Penelitian lapang berskala multi lokasi diperlukan untuk menghasilkan bukti ilmiah yang lebih kuat mengenai efektivitas PGPR pada berbagai kondisi agroekosistem bawang merah. Data kuantitatif yang dihasilkan, seperti peningkatan pertumbuhan, produktivitas, atau kualitas tanah, dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, menyusun standar teknis, sekaligus memperkuat kepercayaan petani dalam mengadopsi PGPR. Beberapa peneliti menekankan bahwa kurangnya uji lapang berskala besar dan multi lokasi yang dapat membuktikan efektivitas PGPR secara konsisten di berbagai agroekosistem, hal ini dikarenakan respon tanaman terhadap PGPR berbeda pada kondisi tanah dan iklim yang bervariasi (Backer et al., 2018; Shah et al., 2021).

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, analisis risiko dengan metode House of Risk (HOR) sangat bergantung pada penilaian subjektif dari informan, baik petani, penyuluh, maupun pakar, sehingga kemungkinan bias dalam penentuan tingkat keparahan, frekuensi, maupun korelasi risiko tidak dapat dihindari. Kedua, penelitian difokuskan pada usahatani bawang merah di wilayah tertentu, sehingga hasil temuan belum sepenuhnya dapat digeneralisasi ke komoditas lain ataupun ke daerah dengan karakteristik agroekosistem yang berbeda. Ketiga, *preventive action* yang dirumuskan melalui HOR fase 2 masih bersifat konseptual dan belum diuji secara langsung dalam praktik budidaya di lapangan, sehingga efektivitasnya dalam mengurangi risiko penggunaan PGPR masih memerlukan validasi lebih lanjut. Selain itu, keterbatasan waktu, jumlah informan kunci, dan cakupan wilayah penelitian turut membatasi kedalaman serta keluasan peta risiko yang dihasilkan.

Sejalan dengan keterbatasan tersebut, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada validasi implementasi *preventive action* di tingkat petani melalui uji coba lapang secara berkelanjutan, sehingga dapat diketahui sejauh mana efektivitas strategi mitigasi risiko dalam kondisi nyata. Selain itu, perluasan objek penelitian ke wilayah lain dan pada komoditas berbeda akan memperkaya pemahaman tentang risiko penggunaan PGPR dalam berbagai konteks agroekosistem. Penelitian mendatang juga diharapkan dapat mengombinasikan pendekatan HOR dengan metode analisis risiko kuantitatif atau multi-kriteria lainnya seperti *Analytic Network Process* atau *Analytical Hierarchy Process*, sehingga menghasilkan rekomendasi yang lebih komprehensif, aplikatif, dan berdaya guna dalam mendukung peningkatan adopsi PGPR oleh petani.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengidentifikasi bahwa hambatan utama adopsi PGPR pada usahatani bawang merah didominasi oleh risiko kelembagaan dan perilaku petani, seperti lemahnya diseminasi hasil riset, ketiadaan standar keberhasilan, serta terbatasnya pendampingan. Hasil pemeringkatan *House of Risk* menunjukkan bahwa risiko terkait arus informasi dan dukungan institusional menempati prioritas tertinggi. Oleh karena itu, strategi mitigasi diarahkan pada penguatan pendampingan teknis, standarisasi penggunaan PGPR, serta optimalisasi diseminasi melalui demplot dan forum petani. Kajian lanjutan perlu mengevaluasi efektivitas intervensi kelembagaan tersebut pada berbagai ekosistem pertanian.

## REFERENSI

- Aldiansyah, M. R., Kautsar, V., & Mawandha, H. G. (2024). Pemanfaatan limbah blotong dari pabrik gula sebagai pupuk hayati untuk peningkatan produktivitas tanaman padi. *Jurnal Pengelolaan Perkebunan*, 5(1). <https://doi.org/10.54387/jpp.v5i1.52>
- Arslan, A., Floress, K., Lamanna, C., Lipper, L., & Rosenstock, T. S. (2022). A meta-analysis of the adoption of agricultural technology in Sub-Saharan Africa. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000018>

- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Choliq, F. A., Martosudiro, M., & Jalaweni, S. C. (2020). Aplikasi plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) terhadap infeksi chrysanthemum mild mottle virus (CMMV), pertumbuhan, dan produksi tanaman krisan (*Chrysanthemum* sp.). *Agroradix: Jurnal Ilmu Pertanian*. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v3i2.1952>
- Ichwan, B., Rinaldi, R., & Malini, H. (2022). Pengaruh plant growth promoting rhizobacteria alami dan pupuk kandang ayam terhadap pertumbuhan dan hasil cabai merah. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v4i2.20436>
- Istri Dewi, A. A., Iwan Putra, I. P., & Made Dewi, N. L. (2024). Pemberdayaan kelembagaan petani melalui pemasaran digital hasil tani di Subak Sidakarya, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali. *Bernas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. <https://doi.org/10.31949/jb.v5i3.9668>
- Kafrawi. (2021). Efikasi variasi konsentrasi PGPR untuk memacu pertumbuhan bawang merah (*Allium ascalonicum* F.) di berbagai takaran media kompos. *Agroplantae: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan*. <https://doi.org/10.51978/agro.v10i1.230>
- Kassem, H. S., Alotaibi, B. A., Aldosri, F. O., & Muddassir, M. (2021). Exploring the relationship between information-seeking behavior and adoption of biofertilizers among onion farmers. *Agronomy*, 11(6), 1258. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061258>
- Kassie, M., Jaleta, M., Shiferaw, B., Mmbando, F., & Mekuria, M. (2013). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: Evidence from rural Tanzania. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 525–540. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.007>
- Makamane, A., Van Niekerk, J. A., Loki, O., & Mdoda, L. (2023). Determinants of climate-smart agriculture (CSA) technologies adoption by smallholder food crop farmers in Mangaung Metropolitan Municipality, Free State. *South African Journal of Agricultural Extension*, 51(4), 52–74. <https://doi.org/10.17159/2413-3221/2023/v51n4a1645>
- Mottaleb, K. A., Krupnik, T. J., & Erenstein, O. (2016). Factors associated with small-scale agricultural machinery adoption in Bangladesh: Census findings. *Journal of Rural Studies*, 46, 155–168. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.06.012>
- Naihati, Y. F., Taolin, R. I. C. O., & Rusae, A. (2018). Pengaruh takaran dan frekuensi aplikasi PGPR terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.). *Savana Cendana*, 3(1), 1–3. <https://doi.org/10.32938/sc.v3i01.215>
- Nastis, S. A., Mattas, K., & Baourakis, G. (2019). Understanding farmers' behavior towards sustainable practices and their perceptions of risk. *Sustainability*, 11(5), 1303. <https://doi.org/10.3390/su11051303>
- Noviana, G., Ardiani, F., Astuti, Y. T. M., Krisdiarto, A. W., & Rochmiyati, S. M. (2023). Pelatihan pembuatan PGPR untuk pengembangan perkebunan kakao secara berkelanjutan. *Jurnal Altifani: Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*. <https://doi.org/10.25008/altifani.v3i1.350>
- Nurjanah, C., Rosmala, A., & Isnaeni, S. (2022). Pengaruh pupuk kandang ayam dan plant growth promoting rhizobacteria terhadap pertumbuhan, hasil, dan kualitas hasil sawi pagoda. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. <https://doi.org/10.29244/jhi.13.2.57-63>
- Pelealu, J., & Mambu, S. M. (2020). Efektivitas aplikasi pupuk hijau terhadap pertumbuhan terong pada kelompok tani di Desa Sea, Kecamatan Pineleng, Kabupaten Minahasa. *Vivabio: Jurnal Pengabdian Multidisiplin*. <https://doi.org/10.35799/vivabio.2.3.2020.31182>
- Prokopy, L. S., Floress, K., Arbuckle, J. G., Church, S. P., Eanes, F. R., Gao, Y., Gramig, B. M., Ranjan, P., & Singh, A. S. (2019). Adoption of agricultural conservation practices in the United States: Evidence from 35 years of quantitative literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(5), 520–534. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.520>
- Puji, A. A. (2024). Supply chain risk mitigation based on the integration of house of risk and MOORA. *Teknik Industri*, 25(2), 145–160.
- Puji, A. A., Mansur, A., & Widodo, I. D. (2019). Analysis of supply chain risk mitigation integrated with fuzzy logic, house of risk, and AHP (case study at CV Multiguna). *AIP Conference Proceedings*, 030091. <https://doi.org/10.1063/1.5098266>

- Puji, A. A., & Yul, F. A. (2021). House of risk model and AHP–TOPSIS untuk pengelolaan risiko rantai pasok darah. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.24014/jti.v7i1.11353>
- Rahmayanti, F. A. (2023). Pengaruh aplikasi plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) dan pupuk kandang kambing untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium cepa* L.) varietas Lokananta. *Zuriat*. <https://doi.org/10.24198/zuriat.v34i1.46670>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Sacita, A. S., & Firdamayanti, E. (2022). Training pembuatan PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) bagi petani dalam mengamankan dan meningkatkan produksi tanaman padi di Desa Bassiang, Kecamatan Ponrang Selatan, Kabupaten Luwu. *Abdimas Langkanae*. <https://doi.org/10.53769/jpm.v2i1.63>
- Saputra, J., & Stevanus, C. T. (2019). Aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit pada tanaman karet menghasilkan. *Warta Per karetan*. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v1i1.587>
- Sari, D. E., & Sudiarmo, S. (2022). Pengaruh aplikasi pupuk kandang sapi dan PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) pada pertumbuhan dan hasil tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Produksi Tanaman*. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2022.010.12.07>
- Sesanti, R. N., Sudrajat, D., Ali, F., & Sari, R. M. (2021). Potensi cuka bambu Bukit Asam Pelabuhan Tarahan untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia pada budidaya tanaman pakchoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. <https://doi.org/10.25181/jppt.v21i2.2159>
- Shah, A., Nazari, M., Antar, M., Msimbira, L. A., Naamala, J., Lyu, D., Rabileh, M., Zajonc, J., & Smith, D. L. (2021). PGPR in agriculture: A sustainable approach to increasing climate change resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 667546. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667546>
- Sholihah, S. N. (2023). *Outlook bawang merah*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sitawati, S., Sintawati, M. B., & Fajriani, S. (2022). Efektivitas plant growth promotion rhizobacteria (PGPR) dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan pembungaan tanaman aster ericoides (*Symphyotrichum ericoides*). *Jurnal Hortikultura Indonesia*. <https://doi.org/10.29244/jhi.13.2.64-71>
- Suryani, D., Pratamasari, R., Suyitno, S., & Maretalinia, M. (2020). Perilaku petani padi dalam penggunaan pestisida di Desa Mandaluhurip, Kecamatan Jatiwaras, Kabupaten Tasikmalaya. *Window of Health: Jurnal Kesehatan*. <https://doi.org/10.33096/woh.v3i2.602>
- Suryanto, A., Sudiarmo, S., Permanasari, P. N., Fajarwati, S. K., & Damaiyanti, D. R. (2021). Peran PGPR sebagai bahan ramah lingkungan dalam kegiatan pemberdayaan kelompok tani di Desa Pujon Kidul. *JAPI (Jurnal Akses Pengabdian Indonesia)*. <https://doi.org/10.33366/japi.v6i1.2399>
- Tey, Y. S., Li, E., Bruwer, J., Abdullah, A. M., Brindal, M., Radam, A., & Darham, S. (2017). Factors influencing the adoption of sustainable agricultural practices in developing countries: A review. *Environmental Engineering & Management Journal*, 16(2).
- Thomas, S., Vijay, A., Nair, D. S., Varghese, T., & Mathew, A. (2023). A study on farmers' awareness and perception towards biofertilizers. *Research Administration*, 5(2), 2443–2453.
- Utami, C. D., Sitawati, S., & Nihayati, E. (2017). Aplikasi plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) sebagai upaya pengurangan pupuk anorganik pada tanaman krisan potong (*Chrysanthemum* sp.). *Biotropika: Journal of Tropical Biology*. <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2017.005.03.1>
- Wulansari, A., Sumarji, S., & Supriyono, S. (2022). Strategi pemasaran produk agens hayati *Trichoderma* sp. di CV Trubus Mas Lestari Kabupaten Kediri. *Manajemen Agribisnis: Jurnal Agribisnis*. <https://doi.org/10.32503/agribisnis.v22i2.2486>