

PENDEKATAN *BIOLOGICAL CONTROL* BERBASIS *PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA* (PGPR) DALAM MENGURANGI KETERGANTUNGAN PESTISIDA KIMIA PADA SISTEM PRODUKSI PADI: A REVIEW ARTICLE

A BIOLOGICAL CONTROL APPROACH BASED ON PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) TO REDUCE CHEMICAL PESTICIDE DEPENDENCE IN RICE PRODUCTION SYSTEMS: A REVIEW ARTICLE

Muhammad Afdhal Yusuf Wibowo¹, Tanjung Safitri¹, Rafaly Drieva Ayu¹, Daway Andhin Salvara¹, Loekas Soesanto¹

¹Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. DR. Soeparno No.63, Karang Bawang, Grendeng, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53122

Diterima redaksi: 07 Mei 2026 / Direvisi: 30 Mei 2026/ Disetujui: 10 Juni 2026/

Diterbitkan online: 20 Juni 2025

DOI: 10.21111/agrotech.v12i01.10

Abstrak. Padi (*Oryza sativa L.*) merupakan salah satu komoditas pangan utama yang strategis dan menjadi tumpuan ketahanan pangan global. Namun, dalam praktik pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) pada sistem produksi padi hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan pestisida kimia sintesis secara berlebihan, yang berdampak pada degradasi kualitas lingkungan, resistensi patogen, serta adanya gangguan terhadap kesehatan manusia serta keseimbangan ekosistem. Dalam konteks ini, pendekatan pengendalian hayati yang berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) menawarkan solusi alternatif yang berkelanjutan serta ramah lingkungan. Data diekstraksi menggunakan *Protokol Ekstraksi Data* (PED) dalam bentuk tabel sintesis yang memuat karakteristik agen hayati, patogen target, mekanisme biokontrol, serta adanya kapasitas PGPR dalam merestorasi kesehatan tanah. Selain itu, aplikasi PGPR secara nyata dapat meningkatkan parameter pertumbuhan vegetatif tanaman dan produktivitas gabah, dengan kemampuan mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen sintesis hingga 50% serta menurunkan penggunaan fungisida kimia sebanyak 40-60% sehingga dapat disimpulkan PGPR berpotensi besar sebagai agen pengendalian hayati.

Kata kunci : Padi, PGPR, pengendalian hayati, pestisida kimia, produksi padi.

Abstract. Rice (*Oryza sativa L.*) is a strategic food commodity and a key pillar of global food security. However, the practice of controlling plant pests (OPT) in rice production systems is still dominated by the excessive use of synthetic chemical pesticides, which has resulted in environmental degradation, pathogen resistance, and disruption to human health and ecosystem balance. In this context, a biological control approach based on *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) offers a sustainable and environmentally friendly alternative solution. Data were extracted using a *Data Extraction Protocol* (DEP) in the form of a synthesis table containing the characteristics of the biological agent, target pathogen, biocontrol mechanism, and the capacity of PGPR to restore soil health. In addition, PGPR application can significantly improve plant vegetative growth parameters and grain productivity, with the ability to reduce the need for synthetic nitrogen fertilizers by up to 50% and reduce the use of chemical fungicides by 40-60%. Therefore, it can be concluded that PGPR has great potential as a biological control agent.

Keywords: biological control, chemical pesticides, PGPR, rice, rice production.

* Korespondensi email: muhammadafdhal0611@gmail.com

Alamat : Jl. Profesor DR. HR Boenjamin No.708, Dukuhbandong, Grendeng, Kec. Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah

Pendekatan *Biological Control* Berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Pgpr) dalam Mengurangi Ketergantungan Pestisida Kimia pada Sistem Produksi Padi: A Review Article
PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa*) adalah makanan pokok bagi lebih dari separuh populasi dunia dan merupakan landasan ketahanan pangan global, bersama dengan jagung (*Zea mays*) dan gandum (*Triticum* spp.) (Kobua *et al.*, 2025). Serangan terus menerus oleh hama tanaman (Organisme Pengganggu Tumbuhan) dan penyakit telah menyebabkan penurunan produktivitas dan kualitas panen (Kalogiannidis *et al.*, 2022). Ketergantungan petani pada pestisida kimia sintetis tidak hanya merugikan kesehatan mereka tetapi juga berkontribusi pada penurunan keseimbangan ekosistem. Petani menyatakan bahwa ketika padi mengalami serangan hama, maka petani sebanyak 96,67% mutlak melakukan pengendalian dengan penggunaan pestisida kimia, karena mereka berkeyakinan akan meningkatkan produktivitas padi (Situmorang *et al.*, 2021). Salah satu alternatif yang dapat dilakukan petani tersebut adalah penggunaan agen pengendalian biologis, khususnya bakteri (Fadli *et al.*, 2025). Di antara mikroorganisme tanah potensial, bakteri yang dikenal sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) adalah yang paling menjanjikan. Dalam hal ini, PGPR dapat digunakan untuk meningkatkan kesehatan tanaman dan mendorong laju pertumbuhan tanaman tanpa mencemari lingkungan (Vejan *et al.*, 2016).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) adalah kelompok mikroorganisme bermanfaat tertentu yang secara langsung mempengaruhi padi atau berinteraksi dengan padi dan mikroorganisme yang secara tidak langsung mempengaruhi padi (Cong *et al.*, 2023). Penggunaan PGPR saat ini sebagai *biostimulants* dan *bioprotectants* untuk meningkatkan produksi tanaman masih sangat sedikit, sehingga penelitian mengenai pemanfaatan PGPR sebagai *biostimulants* dan *bioprotectants* sangat penting dilakukan dalam usaha untuk meningkatkan produksi

tanaman yang ramah lingkungan (Fitri *et al.*, 2024).

Salah satu mekanisme kunci yang mendasari peran PGPR sebagai bioprotektan adalah melalui aktivasi *Induced Systemic Resistance* (ISR). ISR merupakan mekanisme pertahanan sistemik pada tanaman yang dipicu oleh mikroba non-patogenik seperti PGPR. Berbeda dengan pertahanan lokal, ISR menciptakan kondisi *—priming* yang membuat seluruh bagian tanaman termasuk jaringan yang jauh dari akar menjadi lebih sigap merespons serangan patogen tanpa beban energi berlebih. Aktivasi ini dimediasi oleh jalur persinyalan asam jasmonat (JA) dan etilen (ET) yang dipicu oleh senyawa elisitor dari bakteri seperti *Bacillus* atau *Pseudomonas*. Proses ini meningkatkan produksi enzim antioksidan, senyawa fenolik, serta penebalan dinding sel melalui deposisi lignin (Zuluaga *et al.*, 2024). Pengoptimalan ISR dalam budidaya padi sangat strategis untuk membangun "benteng" pertahanan alami, mengurangi ketergantungan pada fungisida kimia, dan mewujudkan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan (Ojala *et al.*, 2023).

Fokus utama penelitian ini yaitu identifikasi mekanisme biologis dari berbagai genus bakteri menguntungkan, seperti spesies *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang dilaporkan dapat menghasilkan gibberellin, yang berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman bahkan dalam kondisi stress (Yang *et al.*, 2024). Penelitian ini membahas analisis efektivitas *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam menekan tingkat serangan hama dan penyakit dibandingkan dengan penggunaan pestisida konvensional.

Penelitian ini bertujuan untuk menguraikan peran strategis serta mekanisme mendalam PGPR dalam memicu ketahanan sistemik tanaman padi terhadap ancaman biotik. Melalui tinjauan pustaka yang menyeluruh, penelitian ini bermaksud

mengevaluasi sejauh mana aplikasi PGPR dapat menggantikan atau mengurangi frekuensi penggunaan pestisida kimia dalam praktik pertanian. Kebaruan artikel review ini terletak pada pendekatannya yang integratif dan spesifik terhadap komoditas padi. Berbeda dengan kajian sebelumnya yang cenderung membahas peran PGPR secara umum lintas komoditas atau memisahkan fungsi PGPR sebagai biostimulant dan bioprotectant secara terpisah, artikel ini mengkaji kedua peran tersebut secara simultan dalam satu kerangka analisis terpadu pada sistem produksi padi (*Oryza sativa*). Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi ilmiah mengenai implementasi manajemen pengendalian hayati guna mewujudkan sistem pertanian padi yang lebih sehat, ekonomis, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur sistematis (*Systematic Literature Review*) untuk mengkaji potensi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) sebagai agen kontrol hayati. Metode ini dipilih untuk mengintegrasikan berbagai temuan nyata mengenai efikasi mikrobia tanah dalam meminimalkan penggunaan pestisida sintesis pada sistem produksi padi (Backer *et al.*, 2018). Prosedur penelitian dilakukan secara terstruktur dengan mengikuti kerangka kerja pencarian, penyaringan, dan sintesis data untuk membedah mekanisme mikrobia dalam menekan patogen serta perannya dalam mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Jiao *et al.*, 2021). Desain penelitian ini difokuskan pada pengintegrasian temuan-temuan nyata mengenai interaksi rhizobakteri dengan sistem imun tanaman melalui mekanisme *Induced Systemic Resistance* (ISR), produksi metabolit sekunder, dan kompetisi nutrisi (Hashem *et al.*, 2019). Dengan desain ini, peneliti dapat merumuskan proposisi ilmiah

yang kuat mengenai transisi dari sistem produksi padi konvensional yang padat input kimia menuju pertanian berkelanjutan berbasis bioteknologi tanah (Basu *et al.*, 2021).

Sampel penelitian terdiri dari 25 artikel ilmiah yang dipublikasikan antara tahun 2016 hingga 2025, yang mencakup jurnal internasional bereputasi dan jurnal nasional terakreditasi. Pemilihan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi yang ketat, yakni literatur yang secara spesifik membahas aplikasi PGPR pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) dan varietas unggul tertentu seperti IPB-3S (Andini & Tondok, 2020). Data yang diekstraksi mencakup berbagai genus mikrobia unggul, terutama *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., dan konsorsium bakteri fungsional yang telah teruji efektivitasnya dalam menanggulangi penyakit penting pada padi seperti hawar daun bakteri (*Xanthomonas oryzae*) dan penyakit tular benih (Cong *et al.*, 2023). Penggunaan 25 jurnal ini memberikan landasan data yang representatif untuk memetakan keberhasilan aplikasi PGPR di berbagai skala, mulai dari skala laboratorium hingga uji lapangan dengan sistem tanam yang beragam (Ekawati, 2019).

Instrumen yang digunakan adalah Protokol Ekstraksi Data (PED) dalam bentuk tabel sintesis. Parameter yang diekstraksi dari setiap literatur mencakup:

1. Karakteristik Agensi Hayati yang berfokus pada *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., dan konsorsium mikrobia.
2. Identifikasi patogen spesifik (misalnya *Xanthomonas oryzae*, cendawan tular benih seperti *Fusarium* spp. dan *Rhizoctonia*)
3. Mekanisme biokontrol berdasarkan kompetisi nutrisi, produksi metabolit sekunder, atau penguatan imunitas tanaman.
4. Kapasitas PGPR dalam merestorasi kesehatan tanah dan mengurangi residu pestisida kimia (Iqbal *et al.*, 2024).

Pendekatan *Biological Control* Berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Pgpr) dalam Mengurangi Ketergantungan Pestisida Kimia pada Sistem Produksi Padi: A Review Article
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi literatur jurnal yang telah dilakukan, isolat bakteri yang digunakan menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan patogen secara langsung. Isolat *Bacillus velezensis* Y6 terbukti secara efektif menekan pertumbuhan miselium jamur *Rhizoctonia solani* yang merupakan penyebab utama penyakit hawar pelepah padi (Tao *et al.*, 2024). Pengamatan pada media pertumbuhan menunjukkan terbentuknya zona hambat yang luas di sekitar koloni bakteri, yang mengindikasikan adanya produksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat antifungal. Analisis genomik lebih lanjut mengonfirmasi bahwa isolat ini memiliki genetik yang mampu mensintesis senyawa lipopeptida seperti iturin dan fengycin yang merusak integritas membran sel jamur patogen (Yang *et al.*, 2025).

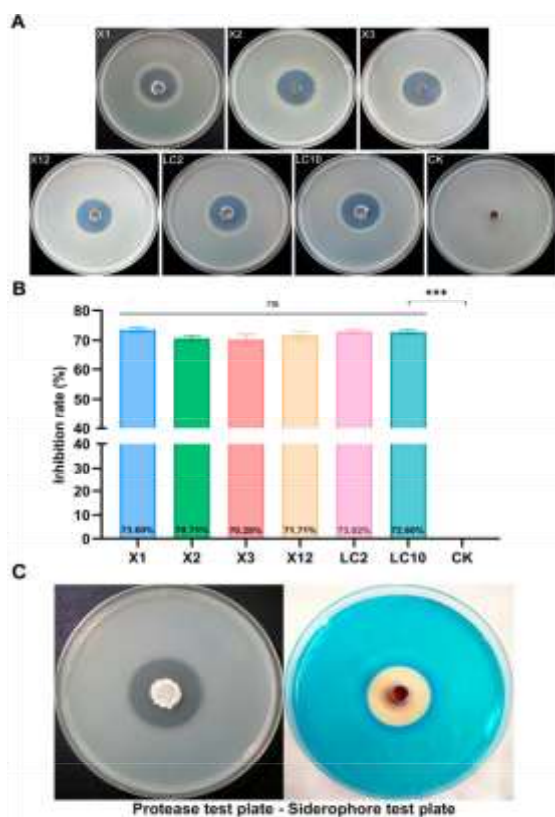
Implementasi PGPR pada skala lapangan memberikan hasil yang signifikan dalam menekan tingkat serangan penyakit. Aplikasi PGPR pada tanaman padi dapat dilakukan pada tiga fase utama: (1) perlakuan benih (*seed treatment*) sebelum persemaian, (2) perlakuan akar bibit saat transplanting (perendaman akar selama 15–30 menit dalam suspensi PGPR dengan kerapatan 10^8 CFU mL⁻¹), dan (3) aplikasi semprot atau kocor ke zona perakaran pada fase vegetatif aktif (14–21 hari setelah tanam). Andini & Tondok (2020) membuktikan bahwa perlakuan benih dengan suspensi PGPR sebelum persemaian efektif menekan cendawan tular benih hingga 73%, sedangkan Elsharkawy *et al.* (2022) menunjukkan bahwa perendaman benih dalam suspensi *Pseudomonas* sp. menghasilkan persentase perkecambahan tertinggi (89%) sekaligus meningkatkan vigor tanaman secara nyata. Fadli (2025) melaporkan bahwa petani di lahan rawa lebak berhasil mengaplikasikan PGPR secara mandiri dengan metode fermentasi bahan

lokal, diaplikasikan sejak pembibitan hingga fase vegetatif maksimal (± 35 HST), dengan frekuensi 2–3 kali aplikasi. Metode yang paling efektif dan efisien menurut kajian literatur adalah kombinasi perlakuan benih dan aplikasi kocor pada awal tanam, karena memungkinkan kolonisasi PGPR sejak dini di zona perakaran sehingga proteksi sistemik (ISR) sudah aktif sebelum serangan patogen terjadi (Backer *et al.*, 2018).

Penggunaan formulasi bioagen berbasis bakteri mampu menurunkan indeks keparahan penyakit atau *Disease Severity Index* secara drastis dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi perlakuan (Yang *et al.*, 2025). Selain penyakit hawar pelepah, aplikasi *Bacillus velezensis* juga tercatat mampu mengurangi gejala penyakit bercak cokelat yang disebabkan oleh *Bipolaris oryzae* (Pires *et al.*, 2025). Penurunan intensitas penyakit ini menunjukkan bahwa bakteri rhizosfer mampu menciptakan perlindungan yang stabil bagi tanaman padi selama masa pertumbuhan di lahan sawah. Dalam kajian literatur ini, tingkat serangan penyakit dianalisis menggunakan dua parameter utama, yaitu insidensi penyakit (*disease incidence*) dan tingkat keparahan penyakit (*disease severity* atau *Disease Severity Index/DSI*). Insidensi penyakit menunjukkan persentase tanaman atau unit yang terinfeksi (%) dari keseluruhan populasi yang diamati, sedangkan keparahan penyakit menggambarkan luas maupun tingkat kerusakan jaringan tanaman akibat infeksi patogen dalam bentuk persentase atau skala numerik. Reedoy *et al.* (2025) menjadikan DSI sebagai variabel utama dan melaporkan penurunan DSI hawar pelepah padi hingga 60% pada perlakuan agen hayati berbasis bakteri dibandingkan dengan kontrol. Penelitian Elsharkawy *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa seluruh isolat *Pseudomonas* sp. yang diuji mampu menekan *disease index* hawar pelepah padi hingga 37% setara dengan fungisida karbendazim, serta

M. A. Y. Wibowo, T. Safitri, R. D. Ayu, D. A. Salvara, L. Soesanto

meningkatkan tinggi tanaman sebesar 26%, bobot segar sebesar 140%, dan bobot kering sebesar 100%.



Gambar 1. Isolation antimicrobial assay of AN6 against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo). (A) In vitro antagonistic activity of AN6 against Xoo strains. (B) Inhibitory rate of AN6 against Xoo growth. *** $p < 0.001$; ns, not statistically significant. Statistical analysis was performed using GraphPad software, evaluated through one-way analysis of variance (ANOVA), followed by Dunnett multiple comparison post hoc tests. (C) Protease and siderophore production of AN6 (Yang *et al.*, 2025).

Dampak Aplikasi PGPR terhadap Parameter Pertumbuhan dan Produktivitas Gabah

Berdasarkan tabel 1, aplikasi PGPR secara umum mampu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi yang ditunjukkan oleh peningkatan tinggi tanaman, jumlah anakan, serta hasil

gabah. Isolat *Bacillus velezensis* dan berbagai konsorsium PGPR terbukti meningkatkan pertumbuhan tanaman sekaligus menekan serangan penyakit, sehingga produktivitas dapat dipertahankan bahkan setara dengan penggunaan pestisida kimia (Romadhona *et al.*, 2025; Pires *et al.*, 2025). Aplikasi PGPR terbukti meningkatkan bobot 1.000 butir gabah (Fitri *et al.*, 2024), sedangkan penggunaan varietas IPB-3S mampu mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen sintesis hingga 30% (Andini & Tondok, 2020). Kombinasi PGPR dengan metode *Alternate Wetting and Drying* (AWD) juga mendukung sistem budidaya padi yang lebih berkelanjutan melalui peningkatan pertumbuhan tanaman dan efisiensi penggunaan sumber daya (Kobua *et al.*, 2025). PGPR memiliki potensi menjadi teknologi hayati yang efektif untuk meningkatkan produktivitas padi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia.

Mekanisme Kerja PGPR dalam Peningkatan Ketersediaan Unsur Hara

Salah satu kontribusi terpenting PGPR yang sering kurang mendapat perhatian adalah kemampuannya dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman padi. Mekanisme ini bersifat langsung dan berdampak nyata pada efisiensi pemupukan serta pengurangan kebutuhan pupuk anorganik sintesis (Zuluaga *et al.*, 2024).

Fiksasi nitrogen biologis oleh PGPR menjadi salah satu mekanisme utama yang berperan dalam mengurangi penggunaan pupuk nitrogen sintesis hingga 30% hingga 50% (Kobua *et al.*, 2025). Kemampuan PGPR juga melarutkan fosfat yang terikat di dalam tanah, yang dapat membuat unsur P lebih mudah tersedia bagi tanaman, sehingga kebutuhan pupuk SP-36 dan TSP dapat ditekan.

Pendekatan *Biological Control* Berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Pgpr) dalam Mengurangi Ketergantungan Pestisida Kimia pada Sistem Produksi Padi: A Review Article

Tabel 1. Pengaruh aplikasi PGPR terhadap parameter pertumbuhan vegetatif dan produktivitas gabah tanaman padi (*Oryza sativa* L.) berdasarkan kajian literatur

Isolat PGPR	Varietas Padi	Tinggi Tanaman	Anakan Produktif	Hasil Gabah	Referensi
B. <i>velezensis</i> konsorsium	+ Tidak spesifik	Meningkat nyata	Meningkat 18% vs kontrol	Kompetitif vs pestisida kimia	Romadhona <i>et al.</i> , 2025
PGPR konsorsium	Cakrabuana	Meningkat nyata	Meningkat nyata	Bobot 1.000 butir meningkat	Fitri <i>et al.</i> , 2024
B. <i>velezensis</i>	Tidak spesifik	Meningkat	Meningkat per rumpun	DSI menurun drastis	Pires <i>et al.</i> , 2025
PGPR <i>native strains</i>	IPB-3S	Meningkat	Meningkat	Kebutuhan N sintetis turun 30%	Andini & Tondok, 2020
PGPR + AWD (<i>Alternate Wetting and Drying</i>)	Berbagai varietas	Meningkat	Meningkat	Sistem produksi berkelanjutan	Kobua <i>et al.</i> , 2025

Produksi siderofor juga berkontribusi dalam memobilisasi Fe yang penting bagi pembentukan klorofil serta berlangsungnya proses fotosintesis (Elsharkawy *et al.*, 2022). Berbagai mekanisme tersebut bekerja secara terpadu untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia, sehingga mendukung keberlanjutan sistem produksi padi.

Peran PGPR dalam Mewujudkan Sistem Produksi Padi Rendah Pestisida

Pengurangan ketergantungan pada pestisida kimia dimungkinkan karena PGPR menawarkan perlindungan biologis yang bersifat berkelanjutan. Berbeda dengan bahan kimia sintetis yang residunya dapat merusak keseimbangan ekosistem, PGPR justru meningkatkan kualitas biologi tanah melalui kolonisasi akar dan pembentukan biofilm (Yang *et al.*, 2025). Bakteri ini juga membantu ketersediaan nutrisi bagi tanaman dengan cara melarutkan fosfat yang terikat serta memfiksasi nitrogen dari udara (Kobua *et al.*, 2025). Integrasi PGPR ke dalam sistem budidaya padi memungkinkan petani untuk menekan biaya input kimia tanpa harus mengkhawatirkan penurunan hasil panen

akibat serangan organisme pengganggu tumbuhan.

Penerapan PGPR dalam program *smart farming* juga telah diujicobakan pada lahan kering dengan hasil yang menjanjikan (Ekawati, 2019). Program Sekolah Lapang berbasis PGPR yang diinisiasi di lahan padi rawa lebak membuktikan bahwa petani dapat memproduksi sendiri PGPR lokal (*native strains*) dari lingkungan sekitar, sehingga biaya produksi menjadi lebih rendah dan aksesibilitas teknologi ini meningkat di tingkat petani kecil (Fadli, 2025). Pemanfaatan *native strains* yang sudah beradaptasi dengan kondisi ekologi setempat terbukti memberikan efikasi yang lebih stabil dibandingkan dengan strain komersial yang tidak terbiasa dengan kondisi tanah dan iklim lokal (Hasan & Islam, 2024).

Data pada tabel 2 menunjukkan bahwa walaupun pestisida kimia memiliki efektivitas penekanan penyakit yang sedikit lebih tinggi dalam jangka pendek (70% hingga 88%), PGPR berbasis *Bacillus* spp. dan *Pseudomonas* spp. tetap mampu memberikan hasil yang sebanding (62% hingga 82%). PGPR juga memiliki keunggulan dalam aspek keberlanjutan lingkungan, penghindaran resistensi patogen, serta

M. A. Y. Wibowo, T. Safitri, R. D. Ayu, D. A. Salvara, L. Soesanto

peningkatan kualitas tanah jangka panjang dapat diimbangi melalui optimalisasi peran (Hasan & Islam, 2024; Iqbal *et al.*, 2024). mikroba menguntungkan yang sesuai Temuan tersebut mengindikasikan bahwa dengan konsep pertanian berkelanjutan pengurangan penggunaan bahan kimia (Basu *et al.*, 2021).

Tabel 2. Rangkuman mekanisme peningkatan hara oleh PGPR berdasarkan kajian literatur terkini:

Mekanisme	Spesies PGPR	Hara yang Tersedia	Referensi
Peningkatan Hara			
Fiksasi nitrogen biologis	<i>Rhizobium</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Bacillus</i>	N ₂ → NH ₄ ⁺ (tersedia tanaman)	Kobua <i>et al.</i> (2025); Basu <i>et al.</i> (2021)
Pelarutan fosfat anorganik	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas putida</i>	P-anorganik → H ₂ PO ₄ ⁻ (tersedia)	Zuluaga <i>et al.</i> (2024); Hashem <i>et al.</i> (2019)
Mineralisasi fosfat organik	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Serratia</i>	Fosfat organik → P tersedia	Yang <i>et al.</i> (2024); Iqbal <i>et al.</i> (2024)
Produksi siderophor	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Bacillus</i>	Fe ³⁺ → Fe ²⁺ (tersedia tanaman)	Elsharkawy <i>et al.</i> (2022); Jiao <i>et al.</i> (2021)
Produksi IAA (auksin)	<i>Bacillus velezensis</i> , <i>Pseudomonas</i> sp.	Pemanjangan akar → serapan hara meningkat	Yang <i>et al.</i> (2025); Pires <i>et al.</i> (2025)
Produksi sitokinin dan gibberellin	<i>Bacillus</i> spp., <i>Rhizobium</i> sp.	Pembelahan sel, perkecambahan cepat	Yang <i>et al.</i> (2024); Kobua <i>et al.</i> (2025)

Tabel 3. berikut merangkum hasil studi kasus lapangan penerapan PGPR pada budidaya padi di berbagai lokasi dan kondisi

Lokasi/Varietas	PGPR yang Digunakan	Patogen Target	Hasil Utama	Referensi
Brasil (sawah)	<i>Bacillus velezensis</i>	<i>Bipolaris oryzae</i> (bercak cokelat)	Penurunan intensitas penyakit 68%; peningkatan hasil +22%	Pires <i>et al.</i> (2025)
China (sawah irigasi)	<i>Bacillus velezensis</i> Y6	<i>Rhizoctonia solani</i> (hawar pelepah)	Zona hambat luas; penekanan miselium >75%; lipopeptida iturin & fengycin teridentifikasi	Tao <i>et al.</i> (2024)
China (multi-lokasi)	<i>Bacillus velezensis</i> AN6	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> (HDB)	Inhibitory rate >80%; produksi protease dan siderophor terkonfirmasi secara genomik	Yang <i>et al.</i> (2025)
Indonesia (IPB-3S)	Konsorsium PGPR lokal	Cendawan terbawa benih (<i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>)	Perlakuan air panas + PGPR mengurangi infeksi benih secara signifikan	Andini & Tondok (2020)
Bangladesh	<i>Bacillus</i> spp. + <i>Pseudomonas</i> spp.	Berbagai patogen tular tanah	Pengurangan penggunaan fungisida 40–60%; stabilitas hasil lebih baik jangka panjang	Hasan & Islam (2024)
Taiwan (AWD system)	PGPR + AWD	OPT umum	Pengurangan emisi CH ₄ , hasil gabah kompetitif, efisiensi air meningkat	Kobua <i>et al.</i> (2025)

Pendekatan *Biological Control* Berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Pgpr) dalam Mengurangi Ketergantungan Pestisida Kimia pada Sistem Produksi Padi: A Review Article
Efektivitas PGPR Dibandingkan dengan Pestisida Kimia

Data dari Tabel 4 menegaskan konsistensi efektivitas PGPR di berbagai kondisi agroekologi. Hasil yang dilaporkan dari Brasil (Pires *et al.*, 2025), China (Tao *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2025), Indonesia (Andini & Tondok, 2020), Bangladesh (Hasan & Islam, 2024), dan Taiwan (Kobua *et al.*, 2025) secara

konsisten menunjukkan bahwa PGPR mampu menekan penyakit padi utama sekaligus meningkatkan hasil gabah, bahkan dalam sistem budidaya yang berbeda. Hal ini memperkuat argumen bahwa PGPR merupakan solusi universal yang dapat diadaptasi untuk berbagai ekosistem pertanian padi.

Tabel 4 Perbandingan kuantitatif efektivitas berbagai perlakuan PGPR dibandingkan pestisida kimia berdasarkan data dari berbagai penelitian terkini

Parameter	PGPR (<i>Bacillus spp.</i>)	PGPR (<i>Pseudomonas spp.</i>)	Pestisida Kimia	Referensi
Penekanan penyakit blast (%)	62–78%	55–70%	70–85%	Yang <i>et al.</i> (2025); Pires <i>et al.</i> (2025)
Penekanan hawar pelepah (%)	65–82%	50–68%	75–88%	Tao <i>et al.</i> (2024); Reedoy <i>et al.</i> (2025)
Peningkatan tinggi tanaman (%)	+12–18%	+10–15%	Tidak signifikan	Romadhona <i>et al.</i> (2025); Fitri <i>et al.</i> (2024)
Peningkatan hasil gabah (%)	+15–25%	+12–20%	+20–30%*	Pires <i>et al.</i> (2025); Kobua <i>et al.</i> (2025)
Dampak residual tanah	Positif (meningkatkan biota tanah)	Positif (memperbaiki struktur tanah)	Negatif (mencemari tanah & air)	Iqbal <i>et al.</i> (2024); Kalogiannidis <i>et al.</i> (2022)
Resistensi patogen	Rendah (mekanisme ganda)	Rendah (<i>multisite action</i>)	Tinggi (<i>single-site action</i>)	Hasan & Islam (2024); Zhu <i>et al.</i> (2025)
Biaya aplikasi (relatif)	Rendah–Sedang	Rendah–Sedang	Tinggi (jangka panjang)	Basu <i>et al.</i> (2021); Fadli (2025)
Keberlanjutan lingkungan	Tinggi	Tinggi	Rendah	Ali & Moon (2025); Vejan <i>et al.</i> (2016)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terbukti efektif sebagai agen pengendalian hayati pada sistem produksi tanaman padi (*Oryza sativa*) melalui mekanisme utama yaitu produksi metabolit sekunder antifungal, peningkatan ketersediaan unsur hara, dan induksi ketahanan sistemik (ISR). Aplikasi *Bacillus spp.* dan *Pseudomonas spp.* mampu menekan adanya patogen setara

dengan pestisida kimia dengan tingkat penekanan 62-82%, sekaligus mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen sintesis hingga 50% serta fungisida kimia hingga 60%. Oleh karena itu, PGPR layak untuk dijadikan alternatif strategis dalam mewujudkan sistem produksi padi yang produktif, efisien, serta berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan artikel ini dan juga terima kasih penulis sampaikan kepada dosen pembimbing dan Fakultas Pertanian yang telah mendukung penulisan artikel ini sehingga proses penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., & Moon, Y. S. 2025. Advances in PGPR-mediated plant-pathogen control for food security and ecosystem stability. *PhytonInternational Journal of Experimental Botany*, 94(5): 1-25.
- Andini, D., & Tondok, E. T. 2020. Perlakuan air panas dan *plant growth promoting rhizobacteria* untuk menekan cendawan terbawa benih pada padi varietas IPB-3S. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 16(6): 235-242.
- 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: 1-17.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13(3): 1-20.
- Cong, J., Yong, X., Meng, L., Han, H., Zhang, F., Wang, X., Wang, Q., & Wang, Y. 2023. Research progress of promoting biocontrol bacteria in rice rhizosphere. *Sch J Eng Tech*, 11: 309-314.
- Ekawati, I. 2019. *Smart farming: Teknologi PGPR untuk keberlanjutan pertanian lahan kering. Prosiding Seminar Nasional Optimalisasi Sumberdaya Lokal di Era Revolusi Industri 4.0*. Sumenep, 30 September 2019.
- Elsharkawy, M. M., Sakran, R. M., Ahmad, A. A., Behiry, S. I., Abdelkhalek, A., Hassan, M. M., & Khedr, A. A. 2022. Induction of Systemic resistance against sheath blight in rice by different *Pseudomonas* isolates. *Life*, 12(3): 349.
- Fadli, R. 2025. Sekolah lapang swadaya: peningkatan kapasitas petani dalam produksi PGPR dan MOL untuk pengendalian hayati di lahan padi Rawa Lebak. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Aufa (JPMA)*, 7(2).
- Fitri, Y., Hermanto, & Sumini. 2024. Aplikasi *plant growth promoting rhizobacteria* (pgpr) terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L.) varietas cakrabuana. *Jurnal Agro Silampari*, 13(2): 54-60.
- Hasan, M. R., & Islam, M. R. 2024. Biocontrol of soil-borne pathogens in rice production systems: a review of pgpr mechanisms. *Journal of Sustainable Agriculture*, 48(2): 210-230.
- Hashem, A., Tabassum, B., & Abd_Allah, E. F. 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6): 1291-1297.
- Iqbal, M. Z., Singh, K., & Chandra, R. 2024. Recent advances of plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) for eco-restoration of polluted soil. *Cleaner Engineering and Technology*, 23: 2-21.
- Jiao, X., Takishita, Y., Zhou, G., & Smith, D. L. 2021. Plant associated rhizobacteria for biocontrol and plant growth enhancement. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1-8.
- Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Chatzitheodoridis, F., & Papaevangelou, O. 2022. Role of crop-protection technologies in sustainable agricultural productivity and management. *Land*, 11(10): 1680.

Pendekatan *Biological Control* Berbasis *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (Pgpr) dalam Mengurangi Ketergantungan Pestisida Kimia pada Sistem Produksi Padi: A Review Article

- Kobua, C. K., Wang, Y. M., & Jou, Y. M. 2025. Exploring the roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and alternate wetting and drying (awd) in sustainable rice cultivation. *Soil Systems*, 9(2): 61.
- Ojala, T., Häkkinen, A. E., Kankuri, E., & Kankainen, M. 2023. Current concepts, advances, and challenges in deciphering the human microbiota with metatranscriptomics. *Trends in genetics*, 39(9): 686 -702.
- Pires, E. B. E., Obando, M. S. T., Janssen, L., Ribeiro, B. M., Souza, O. F., Dias, M. L., & Aguiar, R. W. S. 2025. *Bacillus velezensis* enhances rice resistance to brown spot by integrating antifungal and growth promotion functions. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3): 1455.
- Reedoy, M. A. H., Shimu, J. F., Khan, I., Shahi, M., Hasan, M. H., Sarly, S. P., & Islam, M. 2025. Harnessing bacterial bioagents to control sheath blight of rice. *Technology in Agronomy*, 5(10), 1-12.
- Romadhona, F. N., Mariati, N. D., Laksamana, B., & Dukat. 2025. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) on the growth and yield of rice plants (*Oryza sativa* L.). *Ann Journal of Agricultural Sciences (Agrosoci)*, 3(1): 54-67.
- Situmorang, H., Noveri, N., Putrina, M., & Fitri, E. R. (2021). Perilaku Petani Padi Sawah Dalam Menggunakan Pestisida Kimia di Kecamatan Harau, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, Indonesia. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 4(3), 418-424.
- Tao, H., Li, X., Huo, H., Cai, Y., & Cai, A. 2024. *Bacillus velezensis* Y6, a potential and efficient biocontrol agent in control of rice sheath blight caused by *Rhizoctonia solani*. *Microorganisms*, 12(8): 1694.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Boyce, A. N. 2016. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. *Molecules*, 21:573.
- Yang, L., Gu, A., Deng, W., Che, S., Zhang, J., Zhang, J., & Li, X. 2025. Isolation and genome-based characterization of *Bacillus velezensis* AN6 for Its biocontrol potential against multiple plant pathogens. *Microorganisms*, 13(12): 2701.
- Yang, P., Condrich, A., Scranton, S., Hebner, C., Lu, L., & Ali, M. A. 2024. Utilizing plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) to advance sustainable agriculture. *Bacteria*, 3(4): 434451.
- Zhu, X., Li, Y., & Zhang, H. 2025. Microbial consortia as a strategy to reduce chemical pesticide dependence in cereal crops. *Frontiers in Plant Science*, 16(1024): 1-15.
- Zuluaga, M. Y. A., Fattorini, R., Cesco, S., & Pii, Y. 2024. Plant-microbe interactions in the rhizosphere for smarter and more sustainable crop fertilization: the case of pgprbased biofertilizers. *Frontiers in Microbiology*, 15(1440978): 1-18.