

Aplikasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* Akar Bambu dan Mikroorganisme Lokal pada Tanaman Kedelai untuk Pengendalian Penyakit Pustul Bakteri (*Xanthomonas axonopodis* pv. *Glycines*)

Application of Bamboo Root Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Local Microorganisms in Soybean to Control of Bacterial Pustule (*Xanthomonas axonopodis* pv. *Glycines*)

Irwan Lakani*, Jawuh Zakaria, Rosmini, Mutmainah, Jusriadi

Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Kilometer 9 Tondo Mantikulore, Palu 94118

(diterima Oktober 2024, disetujui September 2025)

ABSTRAK

Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* (*Xag*) merupakan bakteri patogen yang menyebabkan penyakit pustul pada tanaman kedelai dengan tingkat kerusakan yang signifikan. Upaya pengendalian secara hayati terhadap patogen ini salah satunya ialah dengan penggunaan *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) dan mikroorganisme lokal (MOL). Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh pemberian PGPR dan MOL dalam meningkatkan pertumbuhan dan pengendalian penyakit pustul bakteri. Isolat *Xag* JB12 dari Universitas Jember digunakan sebagai sumber inokulum. PGPR dari perakaran bambu dan MOL dari limbah buah dan sayur digunakan sebagai agens antagonis terhadap isolat *Xag* JB12. Penelitian eksperimental disusun menggunakan rancangan percobaan dengan 4 perlakuan (kontrol, diaplifikasi PGPR, diaplifikasi MOL, diaplifikasi PGPR + MOL). Pengaplikasian PGPR/MOL dilakukan dengan cara perendaman benih dan penyiraman. Hasil penelitian menunjukkan perlakuan aplikasi MOL menunjukkan persentase keparahan penyakit terendah yaitu sebesar 20.02%. Perlakuan MOL menunjukkan laju perkembangan penyakit paling tinggi namun *area under disease progress curve* (AUDPC) terkecil dibanding perlakuan lain. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semua perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap variabel tinggi tanaman dan jumlah daun.

Kata kunci: AUDPC, keparahan penyakit, pengendalian hayati, perendaman benih

ABSTRACT

Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* (*Xag*) is a pathogenic bacterium that causes pustule disease in soybean plants, leading to significant levels of damage. One of the biological control efforts against this pathogen involves the use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and local microorganisms (MOL). This study aims to determine the effect of PGPR and MOL applications on enhancing plant growth and controlling bacterial pustule disease. The *Xag* JB12 isolate from the University of Jember was used as the inoculum source. PGPR from bamboo roots and MOL from fruit and vegetable waste were used as antagonistic agents against the *Xag* JB12 isolate. The experimental study was designed

*Alamat penulis korespondensi: Fakultas Pertanian Universitas Tadulako. Jl. Soekarno Hatta Kilometer 9 Tondo Mantikulore, Palu 94118.
Telp. +62 81244139477. Surel: lakani15@untad.ac.id.

using four treatments (control, PGPR application, MOL application, and PGPR + MOL application). PGPR/MOL application was carried out through seed soaking and drenching. The results showed that the MOL treatment exhibited the lowest disease severity, which was 20.02%. The MOL treatment showed the highest disease progression rate, but the smallest area under the disease progress curve (AUDPC) compared to other treatments. The study also found that all treatments had no significant effect on plant height and leaf number variables.

Keywords: AUDPC, biological control, disease severity, seed soaking

PENDAHULUAN

Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* merupakan bakteri patogen yang menyebabkan penyakit pustul pada tanaman kedelai, ditandai dengan munculnya bintik-bintik hijau pucat yang berkembang menjadi pustul akibat hipertrofi sel parenkim. Gejala ini dapat meluas menjadi lesio nekrotik yang menyebabkan defoliasi dini dan penurunan hasil panen. Patogen ini juga dapat ditularkan melalui biji, sehingga berpotensi menyebar luas terutama dalam kondisi cuaca hangat dan lembap (Darrasse *et al.* 2013).

Genus *Xanthomonas* merupakan kelompok bakteri Gram negatif yang secara luas dikenal sebagai patogen tanaman. Anggota genus ini memiliki mekanisme patogenisitas yang kompleks, termasuk sistem sekresi tipe III (T3SS) dan *quorum sensing* yang berperan dalam pengaturan virulensi dan adaptasi bakteri pada inangnya (Guo *et al.* 2019). *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* menginfeksi kedelai melalui stomata dan luka pada daun, kemudian berkembang di ruang antarsel mesofil spongiosa sebelum menimbulkan gejala pustul (Chatnaparat *et al.* 2016).

Kerugian ekonomi akibat penyakit pustul bakteri pada kedelai cukup signifikan. Studi menunjukkan bahwa infeksi oleh *X. axonopodis* pv. *glycines* dapat menyebabkan kehilangan hasil panen hingga 40% di daerah yang rentan terhadap penyakit ini (Yanti *et al.* 2017).

Alternatif pengendalian penyakit pada tanaman salah satunya ialah menggunakan mikroorganisme sebagai agens biokontrol. *Plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) dikembangkan sebagai agens biokontrol dalam pengelolaan hutan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman secara terpadu. Mikroorganisme ini juga digunakan dalam

perbanyaktan tanaman di pembibitan untuk menghasilkan bibit yang lebih sehat (Gafur 2022). PGPR dapat merangsang fungsi biologis penting di dalam tanah dan mengontrol hasil tanaman melalui pemecahan dan persaingan untuk nutrisi yang dibutuhkan (Adedeji *et al.* 2020).

Bambu merupakan salah satu tanaman yang paling banyak mengandung bakteri pada perakarannya. Bakteri ini dapat menyelubungi permukaan akar, meningkatkan kelarutan fosfor dalam tanah, dan melindungi tanaman dari patogen cendawan asal tanah (Yulistiana *et al.* 2020). PGPR dari akar bambu berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman peria, terutama dalam hal tinggi tanaman dan jumlah daun (Doane *et al.* 2022). PGPR akar bambu memberikan pengaruh lebih baik daripada PGPR yang berasal dari akar alang-alang, rumput gajah, atau tumbuhan putri malu (Ananda *et al.* 2022). Perlakuan penggunaan varietas kedelai ‘Gepak Kuning’, pemberian mulsa jerami dengan atau tanpa aplikasi PGPR (V2M1P1 dan V2M1P2) menunjukkan nilai keparahan penyakit pustul bakteri yang lebih rendah (Widjayanti *et al.* 2012).

Penggunaan PGPR yang dikombinasikan dengan mikroorganisme lokal diharapkan dapat meningkatkan hasil kedelai. Mikroorganisme lokal (MOL) merupakan mikroorganisme yang diambil dari lingkungan sekitar dan digunakan sebagai biofertilizer atau agen biokontrol. MOL berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan tanaman dengan memfasilitasi dekomposisi bahan organik dan mengendalikan patogen. MOL mampu mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan kadar unsur hara dalam kompos (Aini *et al.* 2022).

Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh pemberian PGPR akar bambu dan MOL dalam meningkatkan pertumbuhan, hasil dan mengendalikan penyakit pustul bakteri pada tanaman kedelai.

BAHAN DAN METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan rancangan percobaan acak lengkap dengan empat perlakuan dan empat ulangan sehingga diperoleh 16 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri atas lima tanaman sehingga total tanaman sampel sebanyak 80 tanaman. Perlakuan yang diberikan ialah kontrol (PM0), PGPR (PM 1), MOL (PM 2), dan PGPR + MOL (PM 3).

Pelaksanaan Penelitian

Perbanyakan bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* (Xag). Isolat bakteri Xag JB12 berasal dari Universitas Negeri Jember. Perbanyakan bakteri Xag dilakukan menggunakan metode gores pada medium agar nutrient. Selanjutnya, dilakukan inkubasi selama 2×24 jam lalu diamati perkembangannya (Yanti *et al.* 2013).

Pembuatan plant growth promoting microorganisms akar bambu. Pembuatan PGPR dengan cara 200 g akar bambu direndam dalam stoples menggunakan 2 L air kelapa selama tiga hari. Setelah itu, dididihkan 500 g dedak, terasi, 1 sdm kapur sirih, dan 200 g gula merah. Kemudian, larutan didinginkan lalu dicampurkan dengan 1 L rendaman akar bambu. Setelah itu larutan dipindahkan ke wadah berukuran 5 L yang memiliki penutup rapat dan diamkan selama 3 minggu (Jeksen 2014).

Pembuatan mikroorganisme lokal (MOL). Pembuatan MOL menggunakan bahan utama limbah buah pisang, semangka, tomat, nanas, dan pepaya dengan total sebanyak 5 kg. Adapun bahan lain yang digunakan antara lain 2.5 L air cucian beras, 2.5 L air kelapa, dan 500 g gula merah. Cara pembuatannya yaitu bahan limbah buah-buahan dihaluskan lalu diambil air perasannya (1 L) dan dimasukkan ke dalam jeriken berukuran 10 L. Setelah itu

ditambahkan air cucian beras, air kelapa, dan larutan gula merah. Kemudian jeriken ditutup rapat lalu dikocok hingga tercampur rata. Kemudian diamkan selama 3 minggu. Larutan MOL yang siap digunakan akan mengeluarkan aroma khas seperti bau fermentasi tape (Sari 2019).

Penyiapan medium tanam. Medium tanam yang digunakan ialah campuran tanah dan pupuk kandang dengan perbandingan 2 : 1. Campuran tanah dan pupuk kandang ini kemudian dimasukkan ke dalam polibag sebanyak 5 kg. Setelah itu polibag yang telah terisi diletakkan di dalam *screenhouse* lalu didiamkan sambil dilembapkan dengan penyiraman selama 1 minggu sebelum dilakukan penanaman.

Penanaman dan pemeliharaan. Penanaman dilakukan dengan cara menanam benih pada kedalaman 4 cm. Setiap polibag ditanami dengan dua benih kedelai. Penanaman dilakukan pada sore hari untuk menghindari suhu yang tinggi.

Pemeliharaan tanaman kedelai dilakukan dengan cara penyiraman dan penyirangan serta pemupukan. Penyiraman tanaman dilakukan setiap hari sekitar pukul 16.00–17.00. Penyirangan secara manual dilakukan dengan mencabut gulma yang tumbuh di polibag. Pupuk dasar Urea, SP36, dan KCl diberikan dengan dosis 0.3, 0.6, 0.6 g per polibag dan diulang pada umur 40 hari setelah tanam.

Aplikasi plant growth promoting microorganisms dan mikroorganisme lokal. Aplikasi formulasi PGPR, MOL, dan campuran antara PGPR dan MOL dilakukan dengan cara merendam benih kedelai dalam suspensi dengan perbandingan 1 : 10 atau 100 mL PGPR/MOL per 1000 mL air selama tiga jam. Selain itu, aplikasi juga dilakukan dengan cara penyiraman sebanyak 10 mL suspensi dengan perbandingan yang sama setelah tanaman kedelai berumur 15 dan 30 hari setelah tanam (HST) (Sitompul 2021).

Inokulasi bakteri Xag pada tanaman kedelai. Inokulasi bakteri dilakukan setelah tanaman kedelai berumur 40 HST pada daun muda sebanyak tiga daun. Inokulasi dilakukan dengan menusuk daun sebanyak 10 tusukan

menggunakan jarum lalu diolesi dengan suspensi *Xag* dengan kerapatan 10^6 sel mL⁻¹ pada bagian bawah permukaan daun. Setelah itu daun diselubungi dengan plastik bening ukuran 6×10 cm dan diinkubasi selama 5×24 jam (Yanti *et al.* 2013).

Variabel Pengamatan

Pertumbuhan Tanaman. Tinggi tanaman kedelai mulai diamati pada umur 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 HST. Pengukuran dilakukan menggunakan meteran kain dari permukaan tanah hingga titik tumbuh tertinggi.

Pengamatan jumlah daun kedelai dilakukan secara berkala selama masa pertumbuhan tanaman. Pengamatan dilakukan pada interval waktu tertentu, yaitu pada umur 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 HST. Data jumlah daun pada setiap tahap pengamatan ini memberikan gambaran tentang perkembangan vegetatif tanaman kedelai.

Keparahan penyakit. Pengamatan keparahan penyakit dilakukan pada tanaman berumur 50, 60, 70, dan 80 HST. Perhitungan keparahan penyakit dilakukan menggunakan rumus (Maulidia 2020):

$$KP = \frac{\sum_{i=0}^n (n \times v_i)}{N \times Z} \times 100\%, \text{ dengan}$$

KP, keparahan penyakit; n , mL jumlah daun dalam; v_i , skor pada setiap kategori serangan; Z , skor pada kategori serangan tertinggi; dan N , mL jumlah daun yang diamati.

Pemberian skor (v_i) didasarkan pada persentase daun yang terserang (Nurkholidah 2021): skor 0, tidak terserang; skor 1, 0%–20%; skor 2, 21%–40%; skor 3, 41%–60%; skor 4, 61%–80%; dan skor 5, 81%–100%.

Area under disease progress curve (AUDPC). Pengamatan AUDPC dihitung dengan menggunakan rumus menurut Van der Plank sebagai berikut:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \times (t_{i+1} - t_i), \text{ dengan}$$

y_i , nilai penyakit pada waktu t_i ; y_{i+1} , nilai penyakit pada waktu t_{i+1} ; t_i dan t_{i+1} , dua waktu pengamatan berturut-turut; dan n , jumlah total pengamatan.

Laju pertumbuhan penyakit (r). Laju pertumbuhan penyakit dihitung menggunakan rumus menurut Van der Plank (1963) sebagai berikut:

$$r = 2.3/t \times (\log X/X_0), \text{ dengan}$$

2.3, konstanta yang berasal dari perubahan logaritma natural menjadi logaritma berbasis 10; r , kecepatan infeksi; t , waktu berlangsungnya epidemi; X , proporsi penyakit setelah berlangsungnya epidemi dalam waktu t ; dan X_0 , proporsi penyakit setelah berlangsungnya epidemi (inokulum awal).

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dan apabila perlakuan berpengaruh nyata atau sangat nyata, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) taraf 5%. Data hasil pengamatan diuji lanjut secara statistik untuk menghitung pengaruh perlakuan. Perhitungan AUDPC digunakan untuk mengukur secara kuantitatif luas area di bawah kurva perkembangan intensitas serangan penyakit. Metode ini memberikan penilaian yang lebih akurat terhadap dinamika dan tingkat keparahan perkembangan penyakit dari waktu ke waktu, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dampak serangan penyakit pada tanaman atau objek yang diamati (Louws *et al.* 1996).

HASIL

Pertumbuhan Tanaman

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa PGPR, MOL, dan kombinasi keduanya memberikan pengaruh yang sama (tidak berbeda nyata) terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman kedelai. Peningkatan tinggi tanaman mencapai titik optimum pada 60 HST. Pada hari ke-70 dan 80 pertambahan tinggi menjadi stagnan. Tinggi tanaman tertinggi pada perlakuan pemberian MOL terendah pada perlakuan kontrol (Gambar 1). Pada variabel jumlah daun menunjukkan bahwa penambahan jumlah daun maksimum pada 50 HST. Kemudian mengalami penurunan penambahan jumlah daun sampai pada 80 HST.

Jumlah daun terbanyak pada perlakuan pemberian MOL walapun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya (Gambar 2).

Hasil pengamatan keparahan penyakit menunjukkan adanya insidensi penyakit pustul bakteri pada 50, 60, 70, dan 80 HST (Tabel 1). Perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap keparahan penyakit pada semua waktu pengamatan. Berdasarkan uji BNJ 5%, diketahui bahwa perlakuan kontrol (PM0) memiliki persentase keparahan penyakit tertinggi pada semua waktu pengamatan, mencapai 43.11% pada 80 HST. Sebaliknya, perlakuan dengan aplikasi MOL (PM2) menunjukkan keparahan penyakit terendah pada semua tahap pengamatan, dengan persentase menurun menjadi 20.02% pada 80 HST.

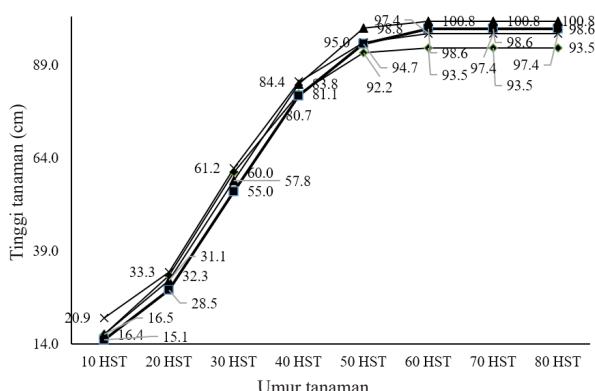
Area Under Disease Progress Curve

AUDPC digunakan untuk mengukur sejauh mana penyakit berkembang sepanjang waktu. Berdasarkan data, AUDPC untuk perlakuan kontrol (PM0) adalah yang tertinggi menunjukkan bahwa tanpa perlakuan pengendalian, penyakit berkembang dengan pesat sepanjang waktu pengamatan. Hal ini mencerminkan bahwa kontrol tanpa perlakuan pengendalian tidak dapat mengurangi keparahan penyakit. Perlakuan PGPR (PM1) memiliki AUDPC

yang lebih rendah dibandingkan kontrol, menunjukkan bahwa PGPR berhasil mengurangi perkembangan penyakit, meskipun tidak seefektif perlakuan lainnya. Perlakuan MOL (PM2) menunjukkan hasil terbaik dengan AUDPC terendah, yaitu 275.20, yang mengindikasikan bahwa MOL efektif dalam mengendalikan perkembangan penyakit pustul bakteri. Sementara itu, perlakuan kombinasi PGPR dan MOL (PM3) menghasilkan AUDPC sebesar 449.50, lebih rendah dibandingkan kontrol tetapi lebih tinggi dibandingkan PGPR dan MOL. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kombinasi ini memberikan hasil yang cukup baik, pengendalian penyakitnya tidak seoptimal perlakuan MOL tunggal (Tabel 1).

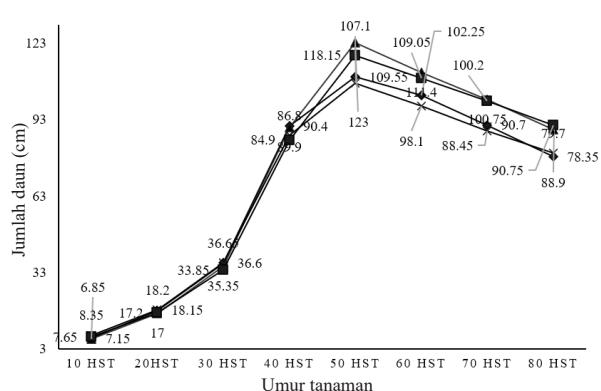
Laju Perkembangan Penyakit

Hasil perhitungan laju perkembangan penyakit, perlakuan kontrol (PM0) menunjukkan laju perkembangan penyakit terendah sebesar 0.0437 per hari. Perlakuan dengan MOL (PM2) memiliki laju perkembangan penyakit tertinggi sebesar 0.0501 per hari (Tabel 2). Berdasarkan kategori ketahanan terhadap penyakit menurut Sinaga (2003), perlakuan PM2 (MOL) dan kombinasi PGPR + MOL (PM3) memiliki tingkat ketahanan yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya.



Gambar 1 Rata-rata tinggi tanaman kedelai 10–80 HST pada perlakuan pemberian PGPR dan MOL. —♦—, PM0; —■—, PM1; —▲—, PM2; dan —×—, PM3.

(Figure 1 Average height of soybean plants from 10 to 80 DAP under PGPR and MOL treatments. —♦—, PM0; —■—, PM1; —▲—, PM2; and —×—, PM3).



Gambar 2 Rata-rata jumlah daun tanaman kedelai 10–80 HST pada perlakuan pemberian PGPR dan MOL. —♦—, PM0; —▲—, PM2; —×—, PM3; dan —■—, PM1.

(Figure 2 Average number of soybean leaves from 10 to 80 DAP under PGPR and MOL treatments. —♦—, PM0; —▲—, PM2; —×—, PM3; and —■—, PM1).

Tabel 1 Rata-rata keparahan penyakit dan *area under the disease progress curve* (AUDPC) pustul bakteri pada interval waktu berbeda setelah perlakuan (50–80 HST)

(Table 1 Disease severity and area under the disease progress curve (AUDPC) of bacterial pustule at different time intervals after treatment (50–80 DAP))

Perlakuan (Treatment)	Keparahan penyakit pustul bakteri* (Diseases severity of bacterial pustule) (%)				AUDPC
	50 HST/DAP	60 HST/DAP	70 HST/DAP	80 HST/DAP	
PM0 (Kontrol/Control)	7.87 ± 2.22 a	18.75 ± 3.52 a	29.77 ± 4.66 a	43.11 ± 8.35 a	740.10
PM1 (PGPR)	5.80 ± 1.20 b	14.15 ± 2.94 b	22.53 ± 5.52 b	33.49 ± 7.74 b	563.25
PM2 (MOL)	2.84 ± 0.87 c	5.39 ± 1.13 c	10.70 ± 1.54 c	20.02 ± 2.65 c	275.20
PM3 (PGPR + MOL)	3.92 ± 0.63 c	8.84 ± 2.39 c	18.88 ± 5.61 bc	30.54 ± 8.21 b	449.50
Nilai BNJ 5% (Tukey 5% value)	2.88	5.56	9.74	15.00	

*Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji lanjut BNJ taraf 5%.

(*Numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the LSD test at the 5% level).

Tabel 2 Laju perkembangan penyakit pustul bakteri pada tanaman yang diberikan aplikasi PGPR dan MOL

(Table 2 Disease progression rate of bacterial pustule in plants with PGPR and MOL applications)

Perlakuan (Treatment)	X1	X2	Laju perkembangan penyakit (Disease progression rate) (r)
	(50 HST)	(80 HST)	
PM0 (Kontrol/Control)	7.87	43.11	0.0437
PM1 (PGPR)	5.80	33.49	0.0453
PM2 (MOL)	2.84	20.02	0.0501
PM3 (PGPR + MOL)	3.92	30.54	0.0498

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan, aplikasi PGPR, MOL, dan kombinasi keduanya menunjukkan pengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun pada tanaman kedelai. Tinggi tanaman mencapai puncak pada 60 HST dan mengalami stagnasi setelahnya hingga 80 HST, dengan perlakuan MOL menunjukkan pertumbuhan tertinggi. Sebelumnya, penelitian oleh García-Fraile *et al.* (2015) telah melaporkan bahwa mikroorganisme seperti PGPR memiliki peran penting dalam merangsang pertumbuhan tanaman melalui peningkatan penyerapan nutrisi dan produksi fitohormon, yang mendukung temuan bahwa perlakuan PGPR dapat meningkatkan tinggi tanaman.

Sementara itu, jumlah daun juga menunjukkan pertambahan maksimal pada 50 HST sebelum mengalami penurunan hingga 80 HST,

dengan perlakuan MOL memiliki jumlah daun terbanyak meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Kondisi ini konsisten dengan temuan Vacheron *et al.* (2016), yang menyebutkan bahwa aplikasi mikroorganisme lokal dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dan kesehatan tanaman, sehingga berpotensi meningkatkan jumlah daun dan pertumbuhan vegetatif tanaman.

Walaupun tidak ada perbedaan nyata antara perlakuan PGPR, MOL, dan kombinasi keduanya, kombinasi perlakuan tetap memberikan hasil yang optimal, mendukung studi oleh Backer *et al.* (2018) yang menekankan bahwa interaksi antara berbagai jenis mikroorganisme dapat memberikan efek sinergis dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Dalam hal ini, interaksi antara PGPR dan MOL mungkin berkontribusi pada peningkatan penyerapan nutrisi dan aktivitas enzim yang mendukung pertumbuhan.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Verbon dan Liberman (2016) juga menunjukkan bahwa PGPR dapat berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi stres, yang dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan yang lebih baik bahkan di bawah kondisi yang kurang optimal. Hal ini diduga menjadi alasan mengapa perlakuan PGPR dan MOL dapat memberikan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dibandingkan kontrol. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan potensi PGPR dan MOL sebagai agens yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Borri 2015). Kombinasi keduanya juga memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas dalam mendukung pertumbuhan tanaman kedelai.

Pada variabel pengamatan keparahan penyakit, hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Maulidia (2020) yang menyatakan bahwa aplikasi mikroorganisme yang menguntungkan dapat secara efektif mengurangi keparahan penyakit pada tanaman. Efektivitas PGPR dan MOL dalam penekanan penyakit ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa perlakuan tersebut dapat meningkatkan ketahanan tanaman melalui induksi ketahanan sistemik dan meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan (Maulidia 2020). Secara khusus, perlakuan PM2 menunjukkan penurunan keparahan penyakit yang signifikan dibandingkan dengan kontrol, mendukung klaim bahwa MOL dapat lebih efektif dibandingkan perlakuan lainnya dalam kondisi tertentu. Hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian lain di mana PGPR (PM1) sendiri memiliki dampak yang lebih besar, menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan spesifik tanaman berperan penting dalam menentukan efektivitas perlakuan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan mikroorganisme, baik MOL maupun PGPR, dapat memengaruhi laju perkembangan penyakit pada tanaman. Perlakuan PM2 (MOL) memiliki laju perkembangan penyakit tertinggi, mengindikasikan bahwa penggunaan MOL saja mungkin belum cukup efektif dalam mengendalikan penyakit

jika digunakan tanpa penguatan dari agen pengendalian lainnya. Studi oleh Backer *et al.* (2018) mengungkapkan bahwa efektivitas mikroorganisme dalam mengendalikan penyakit dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan interaksi mikroorganisme dengan tanaman. Selain itu, penelitian oleh Ghorbanpour *et al.* (2018) menyatakan bahwa penggunaan MOL bisa meningkatkan pertumbuhan tanaman dan resistensi terhadap patogen, meskipun laju perkembangan penyakit masih cukup tinggi jika digunakan sebagai perlakuan tunggal. Kombinasi antara PGPR dan MOL (PM3) mampu menurunkan laju perkembangan penyakit lebih efektif dibandingkan perlakuan tunggal, seperti yang dijelaskan oleh Compant *et al.* (2005), yang menyebutkan bahwa kombinasi mikroorganisme mampu bekerja secara sinergis dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen. Perlakuan PGPR (PM1) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan kontrol, namun masih kurang efektif dibandingkan kombinasi PGPR + MOL. Temuan ini sejalan dengan penelitian Velivelli *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa PGPR memiliki potensi sebagai agen pengendalian biologis yang efektif, tetapi kinerjanya dapat ditingkatkan dengan kombinasi agen mikrobiologi lainnya.

Berdasarkan kategori ketahanan terhadap penyakit menurut Sinaga (2003), perlakuan PM2 (MOL) dan kombinasi PGPR + MOL (PM3) memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Nilai AUDPC yang digunakan sebagai parameter perkembangan penyakit terhadap waktu menunjukkan bahwa tanaman dengan perlakuan MOL (PM2) berada dalam kategori "agak tahan" dengan nilai AUDPC di atas 275.20 tetapi di bawah 500.0. Perlakuan PGPR + MOL (PM3) juga termasuk dalam kategori "agak tahan," sementara perlakuan kontrol (PM0) dan PGPR (PM1) memiliki nilai AUDPC yang menunjukkan kerentanan terhadap penyakit karena melebihi 500.

Hasil ini didukung oleh penelitian Lisanto *et al.* (2013), yang menyatakan bahwa tanaman dengan nilai AUDPC lebih tinggi cenderung lebih rentan terhadap serangan penyakit.

Di sisi lain, penelitian oleh Backer *et al.* (2018) menyebutkan bahwa kombinasi antara PGPR dan MOL dapat menghasilkan efek sinergis dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, meskipun efektivitasnya bergantung pada kondisi lingkungan dan interaksi mikroorganisme dengan tanaman.

Namun demikian, meskipun perlakuan kombinasi PGPR + MOL (PM3) meningkatkan ketahanan tanaman dibandingkan kontrol (PM0), perlakuan MOL (PM2) menawarkan tingkat ketahanan yang lebih optimal, seperti yang dilaporkan oleh Ghorbanpour *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa aplikasi mikroorganisme dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan resistensi terhadap patogen secara efektif ketika dikombinasikan. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan pengelolaan penyakit terpadu dalam mencapai ketahanan tanaman yang lebih baik terhadap penyakit pustul bakteri. Selain itu, mekanisme yang mendasari efek pengendalian penyakit dari PGPR dan MOL diduga melibatkan *induced resistance* atau resistansi yang diinduksi, yang mengarah pada penguatan pertahanan tanaman terhadap patogen. Mekanisme ini mengaktifkan sistem pertahanan tanaman tanpa perlu menginfeksi patogen secara langsung, dengan meningkatkan produksi senyawa anti-patogen seperti fitoaleksin dan enzim peroksidase, serta memperkuat dinding sel tanaman (Van Loon 2007; Numan *et al.* 2018). Oleh karena itu, baik PGPR maupun MOL tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman tetapi juga berkontribusi pada penghambatan perkembangan gejala penyakit melalui peningkatan resistansi tanaman terhadap infeksi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi PGPR, MOL, dan kombinasi keduanya secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman kedelai terhadap penyakit pustul bakteri. Perlakuan MOL terbukti memberikan hasil terbaik dalam menekan keparahan penyakit dan mendukung pertumbuhan tanaman, meskipun kombinasi PGPR dan MOL juga menunjukkan efek sinergis yang menguntungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedeji AA, Häggblom MM, Babalola OO. 2020. Sustainable agriculture in Africa: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to the rescue. *Scientific African*. 9:e00492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00492>.
- Aini SN, Setiawati AR, Septiana LM, Ramadhani WS, Prasetyo D. 2022. Pengomposan limbah pertanian *in situ* menggunakan starter mikroorganisme lokal di Desa Bawang Sakti Jaya, Provinsi Lampung. *Jurnal Masyarakat Mandiri*. 6(3):1732–1745. DOI: <https://doi.org/10.31764/jmm.v6i3.7696>.
- Ananda U. 2022. Respon beberapa jenis plant growth promoting rhizobakteria (PGPR) terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata L.*) [skripsi]. Makassar (ID): Universitas Bosowa.
- Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G, Lamont J, Praslickova D, Ricci E. 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 9:1473. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>.
- Borrijs R. 2015. Use of plant-associated *Bacillus* strains as biofertilizers and biocontrol agents in agriculture. Di dalam: Maheshwari D, editor. *Bacteria in Agrobiology: Plant Growth Responses*. Heidelberg (DE): Springer. hlm 41–76.
- Chatnaparat T, Prathuangwong S, Lindow SE. 2016. Global pattern of gene expression of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* within soybean leaves. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 29(6):508–522. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-16-0007-R>.
- Complant S, Duffy B, Barka E, Clement C, Nowak J. 2005. Use of plant growth-promotng bacteria biocontrol of plant for diseases: principles, mechanisme of acion, and future prospects. *Applied and*

- Enviromental Microbiology. 71(9):4951–4959. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>.
- Darrasse A, Bolot S, Serres-Giardi L, Charbit E, Boureau T, Fisher-Le Saux M, Briand M, Arlat M, Gagnevin L, Koebnik R, Noël LD, Carrère S, Jacques MA. 2013. High-quality draft genome sequences of *Xanthomonas axonopodis* pv. glycines strains CFBP 2526 and CFBP 7119. Genome Announcements. 1(6): e01036-13. DOI: <https://doi.org/10.1128/genomeA.01036-13>.
- Doane RN, Sataral M, Maharia D. 2022. Aplikasi biang PGPR (*plant growth promoting rhizobacteria*) dari akar bambu terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pare (*Momordica charantia* L). Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Pertanian. 2(2): 184–189. DOI: <https://doi.org/10.52045/jimfp.v2i2.302>.
- Gafur A. 2022. Plant Growth Promoting Microbes in the Future Management of Indonesian Estate Forests. KnE Life Sciences. 7(3):13–24. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v7i3.11103>.
- García-Fraile P, Menéndez E, Rivas R. 2015. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. AIMS Bioengineering. 2(3): 183–205. DOI: <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183>.
- Ghorbanpour M, Omidvari M, Abbaszadeh-Dahaji P, Omidvar R, Kariman K. 2018. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. Biological Control. 117: 147–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.006>.
- Guo W, Gao J, Chen Q, Ma B, Fang Y, Liu X, Chen G, Liu JZ. 2019. Crp-like protein plays both positive and negative roles in regulating the pathogenicity of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*. Phytopathology. 109(7):1171–1183. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0225-R>.
- Jeksen J. 2014. Aplikasi *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Agricra. 7(2):77–86. DOI: <https://doi.org/10.37478/agr.v7i2.406>.
- Lisanto B, Suryani A, Nugroho D. 2013. Evaluasi ketahanan tanaman padi terhadap penyakit hawar daun bakteri. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 9(3):103–110.
- Louws FJ, Fulbright DW, Stephens CT, de Bruijn FJ. 1996. Specific genomic fingerprints of phytopathogenic *Xanthomonas* and *Pseudomonas syringae* strains generated with repetitive sequences and PCR. Applied and Environmental Microbiology. 62(8):2286–2295.
- Ma M, Jiang X, Wang Q, Guan D, Li L, Ongena M, Li J. 2018. Isolation and identification of PGPR strain and its effect on soybean growth and soil bacterial community composition. International Journal of Agriculture and Biology. 20(6):1289–1297. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0627>.
- Maulidia A. 2020. Pengaruh pemberian PGPR terhadap keparahan penyakit pada tanaman. Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia. 24(2):85–92.
- Numan M, Bashir S, Khan Y, Mumtaz R, Shinwari ZK, Khan AL. 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. Microbiology Research. 209:21–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>.
- Nurkholizah S, Syafi'i M, Surjana T. 2021. Evaluasi ketahanan beberapa mutan jagung manis (*Zea mays L. saccharata*) generasi M3 terhadap penyakit penting. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan. 7(8):1–10.
- Sari P, Budiharjo A, Susilawati T. 2019. Pembuatan MOL berbasis limbah buah. Journal of Sustainable Agriculture. 5(1):25–32.
- Sinaga MS. 2003. Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Depok (ID): Penebar Swadaya.
- Sitompul F, Syukri, Ainun M. 2021. Pengaruh waktu aplikasi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) dan jenis pupuk kandang terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai hitam (*Glycine Max* L.). Jurnal Penelitian Agrosamudra. 9(1):

- 19–28. DOI: <https://doi.org/10.33059/jupas.v9i1.5403>.
- Van der Plank JE. 1963. Plant Diseases: Epidemics and Control. New York (NY): Academic Press.
- Van Loon LC. 2007. Plant responses to plant growth promoting rhizobacteria. European Journal of Plant Pathology. 119:243–254
- Verbon EH, Liberman LM. 2016. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. Trends in Plant Science. 21(3):218–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.009>.
- Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud ML, Touraine B, Moënne-Loccoz Y, Muller D, Legendre L, Wisniewski-Dye F, Prigent-Combaret C. 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science. 7:665. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>.
- Velivelli SLS, De Vos P, Kromann P, Declerck S, Prestwich BD. 2014. Biological control agents: from field to market, problems, and challenges. Trends in Biotechnology. 32(10):493–496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.07.002>.
- Widjayanti WA, Suprapta DN, Sudana IM. 2012. Pengendalian penyakit pustul Bakteri dengan varietas dan mulsa pada kedelai. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 8(4):201–210.
- Yanti R, Hadiwidjaja D, Rosiana R. 2013. Metode perbanyakkan bakteri *Xanthomonas axonopodis* untuk inokulasi. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 15(1):35–42.
- Yanti Y, Habazar T, Resti Z. 2017. Formulasi padat Rhizobakteria indigenus *Bacillus thuringiensis* TS2 dan waktu penyimpanan untuk mengendalikan penyakit pustul bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*. Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika 17(1):9–18. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.1179-18>.
- Yulistiana DN, Pratama A, Wirawan G, Setiawan A. 2020. Rhizobacteria isolation from bamboo root for agriculture. International Journal of Sustainable Agriculture. 8(2):75–82.