

Induksi Ketahanan Tanaman Tomat terhadap *Ralstonia syzygii* subsp. *indonesiensis* Menggunakan Bakteri Endofit dan Asam Salisilat

Induction of Resistance in Tomato Plants Against *Ralstonia syzygii* subsp. *indonesiensis* Using Endophytic Bacteria and Salicylic Acid

Triwanto Nababan, Lisnawita*, Irda Safni

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara
Jalan Prof. A. Sofyan No. 3, Medan 20155

(diterima Desember 2023, disetujui September 2024)

ABSTRAK

Patogen *Ralstonia syzygii* subsp. *indonesiensis* adalah penyebab penyakit layu bakteri pada tanaman tomat. Patogen ini sulit dikendalikan karena kemampuannya bertahan dalam sisa bahan inang, tanah, dan dapat menyebar dengan mudah melalui aliran air, serta menginfeksi jaringan tanaman secara sistemik. Belum ada pestisida kimia yang efektif untuk mengendalikan patogen layu bakteri. Oleh karena itu, alternatif pengendalian yang dipilih ialah dengan menggunakan bakteri endofit dan asam salisilat. Dua jenis bakteri endofit, yaitu *Arthrobacter* sp. dan *Bacillus thuringiensis*, serta asam salisilat digunakan dalam penelitian secara tunggal ataupun kombinasi untuk mengevaluasi potensinya dalam menginduksi ketahanan tanaman tomat dalam menekan penyakit layu bakteri *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. Penelitian dilakukan dengan rancangan acak lengkap non faktorial dengan 14 perlakuan terdiri atas perlakuan tunggal dan kombinasi. Setiap perlakuan terdiri atas tiga unit tanaman dan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *Arthrobacter* sp. dan asam salisilat yang diaplikasikan satu kali seminggu (ABAS1) merupakan perlakuan yang paling efektif untuk menginduksi ketahanan tomat. Hal ini tampak pada periode inkubasi yang paling lama, rendahnya insidensi dan keparahan penyakit, meningkatnya aktivitas enzim peroksidase, polifenoloksidase, dan jaringan xilem tidak dominan terkolonisasi patogen pada pengamatan histopatologi.

Kata kunci: *Arthrobacter* sp., *Bacillus thuringiensis*, pengendalian hayati, penyakit layu

ABSTRACT

Ralstonia syzygii subsp. *indonesiensis* causes bacterial wilt disease in tomato plants. This pathogen is difficult to control because the pathogen can persist in residual host material, and soil, and easily spread through water and infected plant tissue systemically. There are no chemical pesticides available to control bacterial wilt pathogens. Therefore, the alternative is biological control using endophytic bacteria and salicylic acid. Two endophytic bacteria, namely *Arthrobacter* sp. and *Bacillus thuringiensis*, as well as salicylic acid, were used in research singly or in combination to evaluate their potential in inducing tomato plant resistance in suppressing the bacterial wilt disease *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. The research uses a non-factorial completely randomized design with 14 single and combination treatments.

*Alamat penulis korespondensi: Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
Jalan Prof. A. Sofyan No. 3, Medan 20155.
Tel: 061 8213236, Surel: lisnawita@usu.ac.id.

Each treatment consisted of three experimental units and was repeated three times. The results showed the combination of *Arthrobacter* sp. and salicylic acid applied once a week (ABAS1) was the most effective treatment in inducing tomato resistance. Evidenced by the longest incubation period, low incidence and disease severity, increased peroxidase, polyphenol oxidase activity, and xylem tissue was not predominantly colonized by pathogens in histopathological observations.

Keywords: *Arthrobacter* sp., *Bacillus thuringiensis*, biological control, wilt disease

PENDAHULUAN

Tomat memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan berpotensi besar sebagai produk ekspor sehingga tomat masih sangat potensial untuk dikembangkan (Susanna *et al.* 2010). BPS Sumut (2021) melaporkan total produksi tomat di Sumatera Utara pada tahun 2021 sebesar 2 juta ton dengan sentra produksi berada di Kabupaten Karo yang memiliki produksi sebesar 1.6 juta ton. Penyakit layu bakteri yang disebabkan patogen *Ralstonia syzigii* subsp. *indonesiensis* termasuk dalam penyakit penting pada tomat dan sulit dikendalikan. Sebelumnya patogen ini bernama *R. solanacearum*, dan telah mengalami revisi taksonomi pada *R. solanacearum* spesies complex filotipe IV yang berasal dari Indonesia, Jepang, Filipina, dan Australia (Safni *et al.* 2014). Munculnya ras dan strain patogen yang berbeda dengan virulensi yang berbeda-beda pada kondisi lingkungan yang berbeda menimbulkan bahaya serius bagi tanaman solanaceae (CABI 2012).

Pengendalian layu bakteri pada tomat sulit dilakukan karena patogennya dapat bertahan dalam tanah, sisa bahan inang dan mudah menyebar melalui aliran air serta menginfeksi jaringan tanaman secara sistemik. Oleh karena itu, dalam pengendalian perlu memperhatikan praktik pengelolaan tanaman yang baik dan pengendalian terpadu. Salah satu unsur yang menjadi perhatian dalam pengendalian terpadu ialah induksi ketahanan tanaman untuk memproteksi tanaman. Kondisi fisiologis sistem pertahanan tanaman akan diaktifkan dengan pemberian elisitor dari sumber eksternal, termasuk di antaranya sistem pertahanan fisik, biologi, dan kimia (Agrios 2005).

Mekanisme ketahanan dengan elisitor bakteri endofit dan asam salisilat telah dilaporkan dapat mengendalikan patogen tanaman

dan meningkatkan pertumbuhan berbagai tanaman (Takahashi *et al.* 2014; Mohamed *et al.* 2017; Luo *et al.* 2019). Asam salisilat dapat menginduksi produksi oksigen reaktif, aktivitas enzim, dan *pathogenesis related protein* (PR-protein) dalam mekanisme pertahanan tanaman tomat terhadap gangguan patogen (Mandal *et al.* 2009). Penggunaan bakteri endofit *Arthrobacter* sp. dan *Bacillus thuringiensis*, serta asam salisilat untuk induksi ketahanan tanaman tomat terhadap *R. syzigii* subsp. *indonesiensis* penyebab penyakit layu belum banyak dilaporkan. Penelitian ini bertujuan menentukan potensi bakteri endofit *Arthrobacter* sp. dan *B. thuringiensis*, serta asam salisilat secara tunggal ataupun kombinasinya dalam menginduksi ketahanan tanaman tomat yang terinfeksi patogen *R. syzigii* subsp. *indonesiensis*.

BAHAN DAN METODE

Penyiapan Tanaman Inang

Tanaman tomat varietas ‘Servo F1’ disemai dalam bak semai berisi tanah humus yang telah disterilkan menggunakan *steamer* dengan suhu 90–121 °C selama 8 jam yang dilengkapi dengan *safety valve* untuk menjaga suhu dan tekanan agar tetap konstan (Sujoko *et al.* 2015). Bibit dipindahkan setelah 7 hari ke dalam pot (diameter 15 cm) berisi medium campuran tanah dan kompos (3:1). Persemaian tomat dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara dengan suhu rata-rata 28.14 °C dan kelembapan rata-rata 93.25% selama penelitian.

Penyiapan *Ralstonia syzigii* subsp. *indonesiensis*, *Arthrobacter* sp., dan *Bacillus thuringiensis*

Patogen *R. syzigii* subsp. *indonesiensis* diisolasi dari tanaman tomat layu di Desa

Barus Jahe, Kecamatan Dolat Rayat, Kabupaten Karo, Sumatera Utara, sedangkan *Arthrobacter* sp. dan *B. thuringiensis* yang digunakan merupakan koleksi Laboratorium Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Aceh. Semua isolat bakteri dibiakkan pada medium agar nutrisi (AN) lalu diinkubasi pada suhu 28 °C selama 48 jam. Kultur disuspensikan dalam akuades steril dan digoyang pada kecepatan 180 rpm selama 48 jam kemudian diukur dengan spektrofotometer dengan konsentrasi 10^9 cfu mL⁻¹ (OD600 = 0.1) (Burkett-Cadena *et al.* 2008).

Penyiapan Asam Salisilat

Larutan asam salisilat dibuat dengan melarutkan bubuk asam salisilat dalam etanol 95% dan diencerkan menggunakan akuades steril. Konsentrasi asam salisilat yang digunakan ialah 10 mM (Leiwakabessy *et al.* 2017).

Aplikasi Bakteri Endofit dan Asam Salisilat pada Tanaman Tomat

Aplikasi bakteri endofit (*Arthrobacter* sp. dan *B. thuringiensis*) dan asam salisilat dirancang menggunakan rancangan acak lengkap non faktorial dengan 14 perlakuan (Tabel 1). Setiap perlakuan terdiri atas tiga unit tanaman percobaan dan tiga ulangan. Aplikasi bakteri endofit diberikan dengan menyiramkan 50 mL suspensi bakteri per tanaman dengan konsentrasi 10^9 cfu mL⁻¹ dan 50 mL larutan asam salisilat 10 mM pada satu minggu setelah pindah tanam dengan interval aplikasi satu minggu dan dua minggu sekali. Inokulasi patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* dilakukan satu kali pada dua minggu setelah tanam pada seluruh perlakuan kecuali K0-. Inokulasi dilakukan dengan menyiramkan 50 mL suspensi patogen dengan konsentrasi 10^9 cfu mL⁻¹ di sekitar rizosfer tanaman tomat yang bagian akarnya terlebih dahulu dilukai menggunakan pisau aseptik sebagai jalan masuk patogen.

Ekstraksi Akar Tanaman

Akar tanaman tomat umur 4 minggu setelah inokulasi (MSI) sebanyak 0.5 g digiling dalam mortar menggunakan nitrogen cair yang

dihomogenisasi dengan 3 mL bufer natrium fosfat 0.1 M (pH 7) yang ditambahkan 0.01 g polivinil pirolidon (PVP). Sampel kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 15 menit pada suhu 4 °C. Supernatan akan digunakan untuk analisis enzim peroksidase dan polifenoloksidase (Nair dan Umamaheswaran 2016).

Analisis Enzim Peroksidase

Analisis enzim peroksidase dilakukan dengan metode seperti yang dijelaskan Hammerschmidt *et al.* (1982) dan Eid *et al.* (2018). Sebanyak 1.5 mL pirogalol 0.05 M dicampur dengan 0.1 mL ekstrak akar tanaman, lalu ditambahkan 0.5 mL H₂O₂ 1% untuk memulai reaksi. Aktivitas enzim dinyatakan dalam satuan unit.min⁻¹ mg⁻¹ protein dengan mengukur panjang gelombang pada 420 nm dengan interval satu menit selama tiga menit.

Analisis Enzim Polifenoloksidase

Sebanyak 0.1 mL ekstrak akar tanaman dicampurkan dengan bufer berupa 1.5 mL natrium fosfat 0.1 M (pH 7.0), lalu ditambahkan 0.2 mL katekol 0.01 M sebagai reagen untuk memulai reaksi. Aktivitas enzim polifenoloksidase diukur pada panjang gelombang 495 nm dengan interval satu menit selama tiga menit dan hasilnya dinyatakan dengan satuan unit.min⁻¹ mg⁻¹ protein (Mayer *et al.* 1966; Eid *et al.* 2018).

Histopatologi

Akar dicuci dan kemudian dipotong menjadi segmen sepanjang 1 cm dan difiksasi dalam FAA (formaldehida, alkohol, asam asetat) selama 48 jam. Sampel akar kemudian dipotong menggunakan mikrotom untuk mendapatkan irisan melintang dan membujur setebal 10–12 µm (Cabrera *et al.* 2023). Perubahan morfologi jaringan xilem diamati di bawah mikroskop.

Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Parameter yang diamati dalam penelitian ini ialah periode inkubasi, insidensi penyakit, keparahan penyakit, dan laju infeksi. Masing-masing parameter diamati setiap minggu hingga tanaman tomat panen (4 MST), kecuali periode

Tabel 1 Perlakuan bakteri endofit dan asam salisilat serta kombinasinya pada tanaman tomat
(Table 1 Treatments of endophytic bacteria, salicylic acid, and their combinations on tomato plants)

Kode perlakuan (Treatment code)	Keterangan (Details)
K0–	Kontrol tanpa <i>R. syzygii</i> subsp. <i>indonesiensis</i> (Control without <i>R. syzygii</i> subsp. <i>indonesiensis</i>)
K0+	Kontrol dengan <i>R. syzygii</i> subsp. <i>indonesiensis</i> (Control with <i>R. syzygii</i> subsp. <i>indonesiensis</i>)
AB1	<i>Arthrobacter</i> sp. satu minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. once a week)
AB2	<i>Arthrobacter</i> sp. dua minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. every two weeks)
BT1	<i>B. thuringiensis</i> satu minggu sekali (<i>B. thuringiensis</i> once a week)
BT2	<i>B. thuringiensis</i> dua minggu sekali (<i>B. thuringiensis</i> every two weeks)
AS1	Asam salisilat satu minggu sekali (Salicylic acid once a week)
AS2	Asam salisilat dua minggu sekali (Salicylic acid every two weeks)
ABAS1	<i>Arthrobacter</i> sp. + asam salisilat satu minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. + Salicylic acid once a week)
ABAS2	<i>Arthrobacter</i> sp. + asam salisilat dua minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. + Salicylic acid every two weeks)
BTAS1	<i>B. thuringiensis</i> + asam salisilat satu minggu sekali (<i>B. thuringiensis</i> + Salicylic acid once a week)
BTAS2	<i>B. thuringiensis</i> + asam salisilat dua minggu sekali (<i>B. thuringiensis</i> + Salicylic acid every two weeks)
ABBTAS1	<i>Arthrobacter</i> sp. + <i>B. thuringiensis</i> + asam salisilat satu minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. + <i>B. thuringiensis</i> + Salicylic acid once a week)
ABBTAS2	<i>Arthrobacter</i> sp. + <i>B. thuringiensis</i> + asam salisilat dua minggu sekali (<i>Arthrobacter</i> sp. + <i>B. thuringiensis</i> + Salicylic acid every two weeks)

inkubasi. Periode inkubasi dihitung setiap hari setelah inokulasi (HSI) hingga gejala layu yang timbul; insidensi penyakit (%) dihitung dari proporsi tanaman yang layu terhadap jumlah tanaman yang diamati, sedangkan keparahan penyakit (%) dihitung menggunakan skor gejala infeksi *R. solanacearum* (Winstead dan Kelman 1952), yaitu skor 0, tanaman tanpa gejala; skor 1, satu helai daun layu sebagian; skor 2, dua atau tiga helai daun layu; skor 3, semua daun layu kecuali dua dan tiga daun teratas; skor 4, semua daun layu; dan skor 5, tanaman mati. Persentasi keparahan penyakit dihitung menggunakan rumus

$$KP = \frac{\sum(n \times V)}{Z \times N} \times 100\%, \text{ dengan}$$

KP, keparahan penyakit (%); n, jumlah tanaman setiap kategori serangan; v, nilai skala setiap kategori serangan; Z, nilai skala dari kategori serangan tertinggi; N, jumlah tanaman yang diamati. Kriteria ketahanan mengikuti metode yang dijelaskan Manickam *et al.* (2021) yang mengacu pada nilai keparahan penyakit, yaitu 0%–20%, tahan; 20%–40%, cukup tahan; 40%–60%, cukup rentan; > 60%, rentan.

Laju infeksi penyakit dihitung menggunakan ketetapan dari Van der Plank (1963)

$$r = \frac{e}{t} \times \left[\log \frac{1}{1 - X_t} - \log \frac{1}{1 - X_o} \right], \text{ dengan}$$

e, bilangan hasil konversi (2714); t, selang waktu pengamatan; X_t , insidensi penyakit pada waktu tertentu; X_o , insidensi penyakit pada waktu sebelumnya. Kemudian penekanan insidensi layu dihitung menggunakan rumus Aliye *et al.* (2008)

$$PR = \frac{P_c - P_t}{P_c} \times 100\%, \text{ dengan}$$

P_c , insidensi penyakit pada kontrol positif, dan P_t , insidensi penyakit pada masing-masing perlakuan. Data dianalisis menggunakan DMRT α 5% dengan perangkat lunak statistik SPSS 23.0 Inc.

HASIL

Periode Inkubasi dan Insidensi Penyakit

Patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* menimbulkan gejala layu pada tanaman tomat pada hari ke-3 setelah inokulasi. Pemberian bakteri endofit dan asam salisilat mampu menambah waktu inkubasi patogen. Periode inkubasi terlama tampak pada perlakuan kombinasi *Arthrobacter* sp. dan asam salisilat yang diberikan satu minggu sekali (ABAS1) dan berbeda nyata dengan semua perlakuan. Pemberian bakteri dua minggu sekali menunjukkan periode inkubasi yang lebih singkat dibandingkan dengan aplikasi satu minggu sekali (Tabel 2).

Infeksi patogen ini pada perlakuan kontrol positif (K0+) menyebabkan tanaman mati dengan tingkat ketahanan rentan, sedangkan pada kontrol negatif tanpa inokulasi patogen tanaman tampak sehat (Tabel 3). Tanaman tomat yang rentan dan cukup rentan menunjukkan gejala layu hingga tanaman mati, sedangkan tanaman yang cukup tahan menunjukkan gejala menguning. Tanaman yang tahan terhadap infeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* hanya menunjukkan gejala daun pertama menguning seiring bertambahnya waktu dan tanaman tidak layu sampai 4 MSI (Gambar 1).

Sejalan dengan periode inkubasi, insidensi penyakit terendah ditunjukkan pada perlakuan

kombinasi *Arthrobacter* sp. dan asam salisilat yang diberikan satu minggu sekali (ABAS1), yaitu 22.22%, sedangkan pada perlakuan lain insidensi penyakitnya berkisar antara 33.33% dan 100% (Tabel 2). Tanaman tomat yang diberi perlakuan ABAS1 memiliki kriteria tahan dengan keparahan penyakit sebesar 6.67%, laju infeksi sebesar 2.07 unit per minggu, dan persentase penekanan sebesar 79.31% (Tabel 3). Tanaman tahan tumbuh baik tanpa menunjukkan gejala layu.

Aktivitas Peroksidase dan Polifenoloksidase

Aktivitas enzim peroksidase pada perlakuan K0– dan K0+ menunjukkan perbedaan nyata, walaupun pada K0+ aktivitasnya lebih tinggi. Aktivitas enzim tertinggi terlihat pada ABAS1, yaitu 5.45 unit.min⁻¹ mg⁻¹ protein. Nilai ini berbeda sangat nyata dengan kontrol dan juga perlakuan lainnya.

Hal yang sama juga tampak pada aktivitas enzim polifenoloksidase. Pemberian *Arthrobacter* sp. secara tunggal satu minggu sekali (AB1) maupun kombinasi dengan asam salisilat yang diberikan satu minggu sekali (ABAS1) menaikkan aktivitas enzim polifenoloksidase. Peningkatan aktivitas enzim juga terlihat pada kontrol, tanaman tomat yang terinfeksi terinfeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* (K0+) aktivitas enzim polifenoloksidasenya lebih tinggi dibandingkan dengan (K0–), yaitu tanaman yang tidak terinfeksi patogen. (Tabel 4).

Histopatologi

Hasil pengamatan histopatologi akar tanaman tomat pada perlakuan kontrol positif (K0+), kontrol negatif (K0–), kombinasi *Arthrobacter* sp. dengan asam salisilat yang diberikan satu minggu sekali (ABAS1), dan *B. thuringiensis* yang diberikan dua minggu sekali (BT2) disampaikan pada Gambar 2. Keempat perlakuan tersebut masing-masing mewakili kategori ketahanan tanaman tomat, yaitu tanaman sehat (K–), tahan, dan rentan.

Perubahan hispatologi tampak pada bentuk jaringan xilem. Pada tanaman yang tergolong rentan terlihat kolonisasi patogen yang ditandai dengan bentuk xilem menyebar

Tabel 2 Periode inkubasi dan insidensi penyakit setelah perlakuan bakteri endofit, asam salisilat, dan patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*(Tabel 2 Incubation period and disease incidence after treatment with endophytic bacteria, salicylic acid, and pathogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*)

Perlakuan ^a (Treatment) ^a	Periode inkubasi (Incubation period) (hari/days) ^b	Insidensi penyakit pada 4 MSI (Disease incidence in 4 MSI) (%) ^b
K0–	0.00 f	0.00 e
K0+	3.66 e	100.00 a
AB1	6.33 b	44.44 bc
AB2	5.33 d	100.00 a
BT1	4.16 e	88.89 a
BT2	3.83 e	100.00 a
AS1	5.83 c	33.33 cd
AS2	4.00 e	100.00 a
ABAS1	6.83 a	22.22 d
ABAS2	5.33 d	55.56 b
BTAS1	5.55 cd	44.44 bc
BTAS2	4.00 e	100.00 a
ABBTAS1	4.33 e	100.00 a
ABBTAS2	4.16 e	100.00 a

^aK0–, kontrol tanpa *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, kontrol dengan *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. satu minggu sekali; AB2, *Arthrobacter* sp. dua minggu sekali; BT1, *B. thuringiensis* satu minggu sekali; BT2, *B. thuringiensis* dua minggu sekali; AS1, asam salisilat satu minggu sekali; AS2, asam salisilat dua minggu sekali; ABAS1, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat satu minggu sekali; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat dua minggu sekali; BTAS1, *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; BTAS2, *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali.

^bAngka yang diikuti oleh huruf sama pada kolom yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada DMRT α 5%. (^aK0–, control without *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, control with *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. once a week; AB2, *Arthrobacter* sp. every two weeks; BT1, *B. thuringiensis* once a week; BT2, *B. thuringiensis* every two weeks; AS1, salicylic acid once a week; AS2, salicylic acid every two weeks; ABAS1: *Arthrobacter* sp. + salicylic acid once a week; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + salicylic acid every two weeks; BTAS1, *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; BTAS2, *B. thuringiensis* + salicylic acid every two weeks; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid every two week.

^bNumbers followed by the same letter in the same column indicate no significant difference at DMRT α 5%.

rata pada silinder vaskular (Gambar 2a dan 2d), sedangkan pada tanaman sehat atau tergolong tahan hal ini tidak terlihat (Gambar 2b dan 2c). Dominansi koloni patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* pada silinder vaskular, juga tampak lebih banyak pada tanaman rentan dibandingkan dengan tanaman dengan kategori tahan.

PEMBAHASAN

Tanaman tomat yang diinduksi dengan kombinasi perlakuan bakteri endofit *Arthrobacter* sp. dan asam salisilat mampu memperpanjang periode inkubasi *R. syzygii*

subsp. *indonesiensis* dan menurunkan keparahan penyakit. Aplikasi bakteri endofit satu minggu sekali diketahui lebih baik dibandingkan dengan aplikasi dua minggu sekali. Interval aplikasi yang lebih panjang memungkinkan terjadinya penurunan populasi dan kemampuan hidup bakteri endofit. Kemampuan hidup bakteri endofit sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti medium pembawa (Lobo *et al.* 2019), suhu (Berger *et al.* 2018), dan sinar matahari (Beattie *et al.* 2018).

Bakteri endofit dan asam salisilat mengambil peran yang sangat penting dalam induksi resistensi tanaman tomat dari infeksi

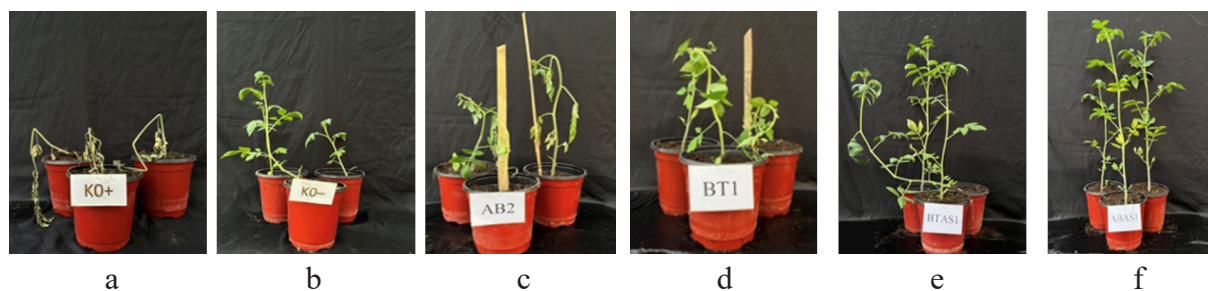
Tabel 3 Keparahan penyakit, laju infeksi, persentase penekanan, dan kriteria ketahanan tanaman tomat setelah perlakuan bakteri endofit, asam salisilat, dan patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* pada 4 MSI (Table 3 Disease severity, infection rate, suppression percentage, and resistance criteria of tomato plants after treatment with endophytic bacteria, salicylic acid, and pathogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* at 4 MSI)

Perlakuan ^a (Treatment) ^a	Keparahan penyakit ^b (Disease severity) (%) ^b	Laju infeksi ^b (unit/minggu) (Infection rate) ^b (unit/week)	Persentase penekanan ^b (Suppression percentage) (%) ^b	Kriteria ketahanan (Resistance criteria)
K0–	0.00 f	0.00 d	0.00 i	-
K0+	95.56 a	88.10 a	0.00 i	Rentan (Susceptible)
AB1	17.78 de	5.82 cd	62.07 bc	Tahan (Resistant)
AB2	64.44 b	32.42 b	24.14 fg	Rentan (Susceptible)
BT1	48.89 c	20.43 bc	44.83 d	Cukup rentan (Moderate susceptible)
BT2	68.89 b	34.58 b	20.69 gh	Rentan (Susceptible)
AS1	8.89 def	2.22 cd	65.52 bc	Tahan (Resistant)
AS2	68.89 b	38.03 b	17.24 h	Rentan (Susceptible)
ABAS1	6.67 ef	2.07 d	79.31 a	Tahan (Resistant)
ABAS2	13.33 def	4.40 cd	58.62 c	Tahan (Resistant)
BTAS1	22.22 d	8.00 cd	65.52 b	Cukup tahan (Moderate Resistant)
BTAS2	60.22 bc	27.77 b	24.14 f	Rentan (Susceptible)
ABBTAS1	60.00 bc	30.17 b	37.93 e	Cukup rentan (Moderate susceptible)
ABBTAS2	60.00 bc	30.25 b	24.14 fg	Cukup rentan (Moderate susceptible)

^aK0–, kontrol tanpa *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, kontrol dengan *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. satu minggu sekali; AB2, *Arthrobacter* sp. dua minggu sekali; BT1, *B. thuringiensis* satu minggu sekali; BT2, *B. thuringiensis* dua minggu sekali; AS1, asam salisilat satu minggu sekali; AS2, asam salisilat dua minggu sekali; ABAS1, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat satu minggu sekali; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat dua minggu sekali; BTAS1, *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; BTAS2, *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali.

^bAngka yang diikuti oleh huruf sama pada kolom yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada DMRT α 5% (^aK0–, control without *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, control with *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. once a week; AB2, *Arthrobacter* sp. every two weeks; BT1, *B. thuringiensis* once a week; BT2, *B. thuringiensis* every two weeks; AS1, salicylic acid once a week; AS2, Salicylic acid every two weeks; ABAS1, *Arthrobacter* sp. + salicylic acid once a week; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + salicylic acid every two weeks; BTAS1, *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; BTAS2, *B. thuringiensis* + salicylic acid every two weeks; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid every two week.

^bNumbers followed by the same letter in the same column indicate no significant difference at DMRT α 5%).



Gambar 1 Fenotipe kategori ketahanan tanaman tomat terhadap infeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. a, tanaman mati; b, tanaman sehat (kontrol); c, tanaman rentan; d, tanaman cukup rentan; e, tanaman cukup tahan; dan f, tanaman tahan.

(Figure 1 Phenotype category of tomato plant resistance to *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* infection. a, dead plants; b, healthy plants (control); c, susceptible plants; d, moderate susceptible plants; e, moderate resistant plants; and f, resistant plants).

Tabel 4 Aktivitas enzim peroksidase dan polifenoloksidase (unit.min⁻¹ mg⁻¹ protein) akar tomat setelah perlakuan bakteri endofit, asam salisilat, dan patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*

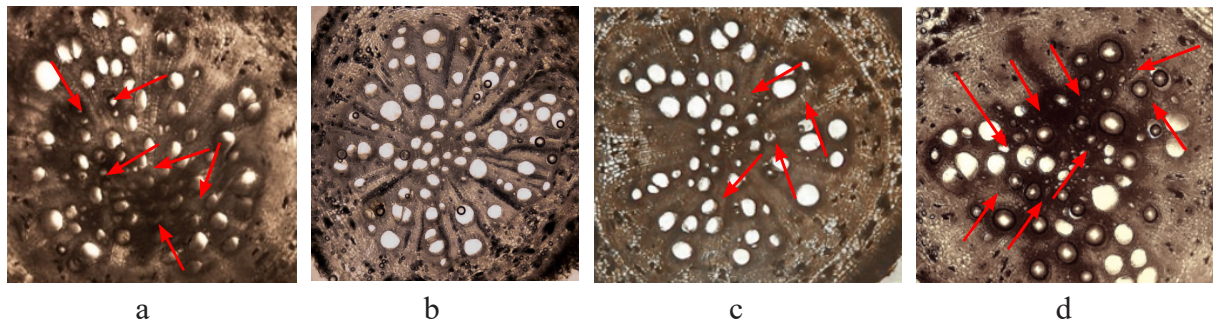
(Table 4 Peroxidase and polyphenol oxidase enzyme activity (unit.min⁻¹ mg⁻¹ protein) of tomato roots after treatment with endophytic bacteria, salicylic acid, and pathogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*)

Perlakuan ^a	Aktivitas enzim (Enzym activity) (unit.min ⁻¹ mg ⁻¹ protein) ^b	
	Peroksidase (Peroxidase)	Polifenoloksidase (Polyphenoloxidase)
K0–	0.39 j	0.49 h
K0+	0.52 i	1.10 e
AB1	1.84 c	2.52 b
AB2	0.70 h	0.78 efg
BT1	1.55 d	1.59 d
BT2	0.67 h	0.63 fgh
AS1	2.21 b	1.65 d
AS2	0.73 gh	1.05 e
ABAS1	5.45 a	3.27 a
ABAS2	1.13 e	0.44 h
BTAS1	1.60 d	0.90 ef
BTAS2	0.92 f	1.96 c
ABBTAS1	0.86 f	0.90 ef
ABBTAS2	0.79 g	1.01 e

^aK0–, kontrol tanpa *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, kontrol dengan *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. satu minggu sekali; AB2, *Arthrobacter* sp. dua minggu sekali; BT1, *B. thuringiensis* satu minggu sekali; BT2, *B. thuringiensis* dua minggu sekali; AS1, asam salisilat satu minggu sekali; AS2, asam salisilat dua minggu sekali; ABAS1, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat satu minggu sekali; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + asam salisilat dua minggu sekali; BTAS1, *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; BTAS2, *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat satu minggu sekali; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + asam salisilat dua minggu sekali.

^bAngka yang diikuti oleh huruf sama pada kolom yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada DMRT α 5% (^aK0–, control without *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; K0+, control with *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*; AB1, *Arthrobacter* sp. once a week; AB2, *Arthrobacter* sp. every two weeks; BT1, *B. thuringiensis* once a week; BT2, *B. thuringiensis* every two weeks; AS1, salicylic acid once a week; AS2, Salicylic acid every two weeks; ABAS1, *Arthrobacter* sp. + salicylic acid once a week; ABAS2, *Arthrobacter* sp. + salicylic acid every two weeks; BTAS1, *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; BTAS2, *B. thuringiensis* + salicylic acid every two weeks; ABBTAS1, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid once a week; ABBTAS2, *Arthrobacter* sp. + *B. thuringiensis* + salicylic acid every two week.

^bNumbers followed by the same letter in the same column indicate no significant difference at DMRT α 5%).



Gambar 2 Histopatologi jaringan akar tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit, asam salisilat, dan patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. a, tanaman rentan (K0+); b, tanaman sehat (K0-); c, tanaman tahan (ABAS1); dan d, tanaman rentan (BT2). Panah merah menunjukkan koloni *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* pada xilem.

(Figure 2 Histopathology of tomato plant tissue treated with endophytic bacteria, salicylic acid, and pathogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. a, susceptible plants (K0+); b, healthy plants (K0-); c, resistant plants (ABAS1); and d, susceptible plants (BT2). Red arrows indicated *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* colonies in the xylem).

R. syzygii subsp. *indonesiensis*. *Arthrobacter* sp. menghasilkan senyawa metabolit sekunder untuk menghambat penyebaran *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. Interaksi yang terjadi antara mikroba endofit dan tanaman menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dapat mengurangi kerusakan akibat infeksi patogen (Brader *et al.* 2014). Interaksi antara tanaman dan bakteri dapat dikatakan positif ketika bakteri dapat mengkolonisasi rizosfer tumbuhan (Hol *et al.* 2013).

Metabolit sekunder *Arthrobacter* sp. memiliki peran penting dalam sifat antimikrobanya, yaitu depsipeptida siklik arthroamide dan turnagainolide yang dapat menghambat *quorum sensing* (Igarashi *et al.* 2015). Di antara Actinobacteria, *Arthrobacter* sp. diketahui menghambat fitopatogen, seperti menekan pertumbuhan *Pythium sulcatum* (Mohamed *et al.* 2017), *Alternaria* sp., dan *Botrytis cinerea* (Luo *et al.* 2019). Berbeda dengan *Arthrobacter* sp., *B. thuringiensis* dilaporkan mengenai toksisitasnya terhadap hama (Palma *et al.* 2014), tetapi bakteri ini menunjukkan efek pemacu pertumbuhan tanaman (Vidal *et al.* 2013) dan perlindungan terhadap berbagai macam fitopatogen (Cherif-Silini *et al.* 2016). Penggunaan mikroorganisme pemacu pertumbuhan merupakan strategi umum bagi para peneliti untuk meningkatkan kapasitas pertahanan dan kekebalan fisiologis tanaman serta bioavailabilitas mineral dalam tanah

(Etesami dan Maheshwari 2018; Khan *et al.* 2019).

Penelitian ini mengungkapkan bahwa *B. thuringiensis* mampu menginduksi ketahanan tanaman tomat terhadap infeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* walau hasilnya tidak sebaik *Arthrobacter* sp. Adanya peningkatan aktivitas enzim pertahanan peroksidase dan polifenol oksidase merupakan tanda aktifnya mekanisme resistensi tanaman tomat. Hyakumachi *et al.* (2013) menambahkan bahwa *B. thuringiensis* dapat menginduksi gen yang berhubungan dengan pertahanan, seperti PR-1 sehingga memungkinkan *B. thuringiensis* sebagai biopestisida bifungsional untuk mengendalikan berbagai serangga dan patogen untuk perlindungan tanaman.

Asam salisilat merupakan senyawa fenilpropanoid yang memengaruhi ketahanan tanaman terhadap infeksi patogen (Mandal *et al.* 2009; Deenamo *et al.* 2018) dan cekaman (Khan *et al.* 2015). Terdapat juga bukti bahwa asam salisilat dapat mengubah kapasitas antioksidan pada tanaman (Horváth *et al.* 2007) dan perubahan biokimia tertentu menjadi penanda resistensi sistemik yang diinduksi setelah penerapan agens penginduksi (Shah 2003).

Hasil penelitian kami menunjukkan bahwa aplikasi bakteri endofit dan asam salisilat pada perakaran tanaman mampu meningkatkan aktivitas peroksidase dan polifenoloksidase.

Tanaman tomat dengan respons ketahanan cukup tahan memperlihatkan aktivitas peroksidase dan polifenoloksidase lebih tinggi. Aktivitas peroksidase juga berkorelasi pada ketahanan tanaman dalam menghadapi cekaman abiotik (Bano *et al.* 2021) dan biotik (Graskova *et al.* 2004; Maksimov *et al.* 2011). Peningkatan aktivitas enzim polifenoloksidase juga menyebabkan peningkatan resistensi pada tomat transgenik (Li dan Steffens 2002). Enzim peroksidase dan polifenoloksidase diketahui terlibat dalam penguatan dinding sel tanaman melalui akumulasi lignin yang mengarah pada perlindungan terhadap berbagai patogen (Acharya *et al.* 2011).

Patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* menginfeksi jaringan xilem pada tanaman tomat bergejala layu. Jaringan xilem primer dan sekunder pada tanaman tomat rentan dan tahan nampak terdiferensiasi. Potongan melintang xilem tanaman tomat rentan ditemukan banyak bakteri tersebar di pembuluh xilem primer dan sekunder, tetapi koloni patogen tidak terlihat banyak pada perlakuan tanaman tahan. Terbatasnya penyebaran bakteri dikaitkan dengan penurunan tingkat kolonisasi bakteri pada silinder vaskular (Lebeau *et al.* 2011). Pada pengamatan anatomi akar tanaman tomat tahan menunjukkan xilem tersebar merata pada silinder vaskular dan tidak dominan di kolonisasi oleh *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. Sebaliknya, kolonisasi patogen *R. syzygii* subsp. *indonesiensis* pada xilem akar tanaman rentan dapat mengubah susunan xilem menjadi tidak merata pada silinder vaskular. Penurunan kolonisasi bakteri pada silinder vaskular mengakibatkan penyebaran bakteri patogen menjadi terbatas (Grimault *et al.* 1995). Perubahan anatomi jaringan akar akan mengakibatkan pergeseran fungsi penyerapan ke pengangkutan air dan hara (Guo *et al.* 2008).

Keterlambatan kolonisasi pembuluh xilem memungkinkan tanaman mengaktifkan respons pertahanan lebih cepat dibandingkan dengan tanaman yang rentan (Kim *et al.* 2016). Caldwell *et al.* (2017) menambahkan bahwa resistensi yang dimediasi akar mungkin disebabkan oleh kemampuan akar untuk menunda bakteri berkoloni dan berkembang biak

dengan cepat pada xilem. Peran xilem menjadi sangat penting dalam resistensi tanaman karena peristiwa transkripsional kompleks yang terjadi pada jaringan ini menjadi langkah penting dalam pemahaman mekanisme pertahanan dan induksi resistensi tanaman khususnya akibat patogen tular tanah.

Aplikasi *Arthrobacter* sp., asam salisilat, dan kombinasinya dapat menginduksi ketahanan tanaman tomat dari infeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*. Intensitas aplikasi sekali dalam seminggu menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan aplikasi sekali dalam dua minggu dalam menginduksi ketahanan tanaman tomat. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya produksi enzim peroksidase dan enzim polifenoloksidase. Sebaliknya, aplikasi *B. thuringiensis* tidak menunjukkan kemampuan dalam mengendalikan infeksi *R. syzygii* subsp. *indonesiensis*, namun kombinasinya dengan asam salisilat menunjukkan hasil yang berbeda nyata, yaitu ditunjukkan dengan respons tanaman tomat yang cukup tahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DRTPM, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas pendanaan hibah penelitian melalui skema Penelitian Tesis Magister (PTM) pada tahun 2023 dengan nomor kontrak 167/E5/PG.02.00.PL/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya K, Chakraborty N, Dutta AK, Sarkar S, Acharya R. 2011. Signaling role of nitric oxide in the induction of plant defense by exogenous application of abiotic inducers. *Archives Phytopathology and Plant Protection*. 44(15):1501–1511. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2010.507943>.
- Agrios GN. 2005. *Plant Pathology*. Ed ke-5. San Diego (CA): Academic Press.
- Aliye N, Fininsa C, Hiskias Y. 2008. Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bioprotect potato (*Solanum tuberosum*) against bacterial

- wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Biological Control*. 47(3):282–288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.09.003>.
- Bano H, Athar HUR, Zafar ZU, Ogbaga CC, Ashraf M. 2021. Peroxidase activity and operation of photo-protective component of NPQ play key roles in drought tolerance of mung bean *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Physiologia Plantarum*. 172(2): 603–614. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13337>.
- Beattie GA, Hatfield BM, Dong H, McGrane RS. 2018. Seeing the light: The roles of red- and blue-light sensing in plant microbes. *Annual Review of Phytopathology*. 56(1):41–66. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045931>.
- Berger B, Patz S, Ruppel S, Dietel K, Faetke S, Junge H, Becker M. 2018. Successful formulation and application of plant growth-promoting *Kosakonia radicincitans* in maize cultivation. *BioMed Research International*. 2018:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6439481>.
- Brader G, Compant S, Mitter B, Trognitz F, Sessitsch A. 2014. Metabolic potential of endophytic bacteria. *Current Opinion in Biotechnology*. 27:30–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.09.012>.
- Burkett-Cadena M, Kokalis-Burelle N, Lawrence KS, Van Santen E, Kloepper JW. 2008. Suppressiveness of root knot nematodes mediated by rhizobacteria. *Biological Control*. 47(1):55–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.07.008>.
- [BPS Sumut] Badan Pusat Statistik Sumatera Utara. 2021. Produksi Tanaman Sayuran menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Tanaman di Provinsi Sumatera Utara (Kwintal). <https://sumut.bps.go.id/indicator/55/541/1>. [diakses 23 Nov 2023].
- [CABI] Centre for Agriculture and Biosciences International. 2012. *Ralstonia solanacearum*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123085113> [diakses 23 Nov 2023].
- Cabrera VA, Doucet ME, Lax P. 2023. Histopathology of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, on ornamental plants (*Crassulaceae*). *Journal of Plant Diseases and Protection*. 130(4):891–897. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00726-8>.
- Caldwell D, Kim BS, Iyer-Pascuzzi AS. 2017. *Ralstonia solanacearum* differentially colonizes roots of resistant and susceptible tomato plants. *Phytopathology*. 107(5): 528–536. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-16-0353-R>.
- Cherif-Silini H, Silini A, Yahiaoui B, Ouzari I, Boudabous A. 2016. Phylogenetic and plant growth promoting characteristics of *Bacillus* isolated from the wheat rhizosphere. *Annals of Microbiology*. 66(3):1087–1097. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13213-016-1194-6>.
- Deenamo N, Kuyyogsuy A, Khompatara K, Chanwun T, Ekchaweng K, Churngchow N. 2018. Salicylic acid induces resistance in rubber tree against *Phytophthora palmivora*. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(7):1883. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19071883>.
- Eid HT, Abbas MS, Soliman AS, Mahmoud NA, Abou-Zeid NM. 2018. Induction of systemic resistance against tomato root rot disease under greenhouse conditions. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 45(3):931–944. DOI: <https://doi.org/10.21608/zjar.2018.49135>.
- Etesami H, Maheshwari DK. 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 156:225–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>.
- Graskova IA, Borovskii GB, Kolesnichenko AV, Voinikov VK. 2004. Peroxidase as a component of the signaling pathway in potato cells during ring rot infection. *Russian Journal of Plant Physiology*. 51:621–626. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:RUPP.0000040747.61131.a9>.
- Grimault V, Prior P, Anais, G. 1995. A monogenic dominant resistance of tomato to bacterial wilt in Hawaii-7996 is associated with plant colonization by *Pseudomonas solanacearum*. *Journal of*

- Phytopathology. 143(6):349–352. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1995.tb00274.x>
- Guo D, Xia M, Wei X, Chang W, Liu Y, Wang Z. 2008. Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species. *New Phytologist*. 180(3):673–683. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02573.x>.
- Hammerschmidt R, Nuckles EM, Kuć J. 1982. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiological Plant Pathology*. 20(1): 73–82. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(82\)90025-X](https://doi.org/10.1016/0048-4059(82)90025-X).
- Hol WG, Bezemer TM, Biere A. 2013. Getting the ecology into interactions between plants and the plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas fluorescens*. *Frontiers in Plant Science*. 4:1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00081>.
- Horváth E, Szalai G, Janda T. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*. 26:290–300. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9017-4>.
- Hyakumachi M, Mitsuyoshi N, Tatsuyuki A, Shinichiro A, Shigenobu Y, Seiya T, Hideki T. 2013. *Bacillus thuringiensis* suppresses bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum* with systemic induction of defense-related gene expression in tomato. *Microbes Environments*. 28:128–134. DOI: <https://doi.org/10.1264/jsme2.me12162>
- Igarashi Y, Yamamoto K, Fukuda T, Shojima A, Nakayama, J, Carro L, Trujillo ME. 2015. Arthroamide, a cyclic depsipeptide with quorum sensing inhibitory activity from *Arthrobacter* sp. *Journal of Natural Products*. 78(11):2827–283. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.5b00540>.
- Khan A, Singh J, Upadhyay VK, Singh AV, Shah S. 2019. Microbial biofortification: a green technology through plant growth promoting microorganisms. Di dalam: Shah S, Venkatramanan V, Prasad R, editor. *Sustainable Green Technologies for Environmental Management*. Singapore (SG): Springer. hlm. 255–269. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2772-8_13.
- Khan MIR, Fatma M, Per TS, Anjum NA, Khan NA. 2015. Salicylic acid induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*. 6:462. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>.
- Kim SG, Hur OS, Ro NY, Ko HC, Rhee JH, Sung JS, Ryu KY, Lee SY, Baek HJ. 2016. Evaluation of resistance to *Ralstonia solanacearum* in tomato genetic resources at seedling stage. *The Plant Pathology Journal*. 32(1):58–64. DOI: <https://doi.org/10.5423/2FPPJ.NT.06.2015.0121>.
- Lebeau A, Daunay MC, Frary A, Palloix A, Wang JF, Dintinger J, Chiroleu F, Wicker E, Prior P. 2011. Bacterial wilt resistance in tomato, pepper, and eggplant: genetic resources respond to diverse strains in the *Ralstonia solanacearum* species complex. *Phytopathology*. 101(1):154–165. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-10-0048>.
- Leiwakabessy C, Sinaga MS, Mutaqin KH, Trikoesoemaningtyas T, Giyanto. 2017. Asam salisilat sebagai penginduksi ketahanan tanaman padi terhadap penyakit hawar daun bakteri. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 13(6):207–215.
- Li L, Steffens JC. 2002. Over expression of polyphenol oxidase in transgenic tomato plants results in enhanced bacterial disease resistance. *Planta*. 215:239–247. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0750-4>.
- Lobo CB, Tomás MS, Viruel E, Ferrero MA, Lucca ME. 2019. Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. *Microbiological Research*. 219:12–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.012>.
- Luo M, Purdy H, Avis TJ. 2019. Compost bacteria provide antifungal activity against grey mold and *Alternaria* rot on bell pepper fruit. *Botany*. 97(3):221–230. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjb-2018-0180>.
- Maksimov IV, Abizgil'Dina RR, Pusenkova LI. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 47:

- 333–345. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0003683811040090>.
- Manickam R, Chen JR, Sotelo-Cardona P, Kenyon L, Srinivasan R. 2021. Evaluation of different bacterial wilt resistant eggplant rootstocks for grafting tomato. *Plants*. 10(75):1–12. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10010075>.
- Mandal S, Mallick N, Mitra A. 2009. Salicylic acid-induced resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47(7): 642–649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.03.001>.
- Mayer AM, Harel E, Ben-Shaul R. 1966. Assay of catechol oxidase—a critical comparison of methods. *Phytochemistry*. 5(4): 783–789. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83660-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83660-2).
- Mohamed R, Groulx E, Defilippi S, Erak T, Tambong JT, Tweddell RJ, Tsopmo A, Avis TJ. 2017. Physiological and molecular characterization of compost bacteria antagonistic to soil-borne plant pathogens. *Canadian Journal of Microbiology*. 63(5): 411–426. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2016-0599>.
- Nair AB, Umamaheswaran K. 2016. Enzymatic responses to SriLankan *cassava mosaic virus* infection in cassava plants after grafting. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*. 2:165–170.
- Palma L, Muñoz D, Berry C, Murillo J, Caballero P. 2014. *Bacillus thuringiensis* toxins: an overview of their biocidal activity. *Toxins*. 6(12):3296–3325. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins6123296>.
- Safni I, Cleenwerk I, De VP, Fegan M, Sly L, Kappler U. 2014. Polyphasic taxonomic revision of the *Ralstonia solanacearum* species complex: Proposal to emend the description of *Ralstonia solanacearum* and *Ralstonia syzygii* and reclassify current *R. syzygii* strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *syzygii* subsp. nov., *R. solanacearum* phylotype IV strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *indonesiensis* subsp. nov., Banana Blood Disease Bacterium strains as *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* subsp. nov., and *R. solanacearum* phylotype I and III strains as *Ralstonia pseudosolanacearum* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 64(Pt_9):3087–3103. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.066712-0>.
- Shah J. 2003. The salicylic acid loop in plant defense. *Current Opinion in Plant Biology*. 6(4):365–371. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00058-X).
- Sujoko A, Lutfi M, Purnomo D. 2015. Kajian sterilisasi media tumbuh jamur tiram putih (*Pleurotus Ostreatus* (L) Fries) menggunakan steamer baglog. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 3(3):303–314.
- Susanna S, Chamzurni T, Pratama A. 2010. Dosis dan frekuensi kascing untuk pengendalian penyakit layu fusarium pada tanaman tomat. *Jurnal Floratek*. 5(2):152–163. DOI: <https://jurnal.usk.ac.id/floratek/article/view/400/384>.
- Takahashi H, Nakaho K, Ishihara T, Ando S, Wada T, Kanayama Y, Asano S, Yoshida S, Tsushima S, Hyakumachi M. 2014. Transcriptional profile of tomato roots exhibiting *Bacillus thuringiensis* induced resistance to *Ralstonia solanacearum*. *Plant Cell Reports*. 33:99–110. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1515-1>.
- Van der Plank JE. 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*. Elsevier Science. New York (US): Academic Press.
- Vidal-Quist JC, Rogers HJ, Mahenthiralingam E, Berry C. 2013. *Bacillus thuringiensis* colonises plant roots in a phylogeny-dependent manner. *FEMS Microbiology Ecology*. 86(3):474–489. DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12175>.
- Winstead NN, Kelman A. 1952. Inoculation techniques for evaluating resistance to *Pseudomonas solanacearum*. *Phytopathology*. 42(11):628–634.