

Pola Perkembangan Penyakit Bercak Bakteri (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) dan Penetapan Prediktor Waktu untuk Menduga Kehilangan Hasil Tomat

Development Pattern of Bacterial Spot Disease (Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria*) and Determination of Time Predictors to Estimate Yield Loss Tomato

Budi Santosa*, Muhammad Amri, Yurma Metri

Department of Agricultural Extension, Faculty of Science, Social and Education, Universitas Prima Nusantara, Bukittinggi, West Sumatra 26111, Indonesia

Received October 8, 2024; Accepted November 5, 2024

ABSTRACT

The aim of the research was to obtain the most precise pattern of development of bacterial disease (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) and determine the relationship between the intensity of bacterial spot disease and yield loss of tomato plants (*Lycopersicum esculentum* Mill.). The research was carried out in Solok Regency at an altitude of 388 m above sea level from June to December 2022. To determine the most appropriate pattern of disease development, two mathematical models were tested: Logistic and Gompertz's models, which were corrected by Campbell and Madden as well as Neher and Campbell. The yield loss estimation method uses a single disease forecasting system with a single critical time type. The disease was measured at several plant ages according to the growth phase from the base point of 0 DAP, then at ages 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 66, and 71 days after planting. Variation in disease severity was created by inoculating plants through several inoculum densities. The results showed that the development of Xcv disease follows Gompertz's model, and the critical time to determine the relationship between disease intensity and yield loss follows the rank regression model with a critical time at plant age of 31 days after planting.

Keywords: Critical time; Disease severity; Inoculum densities; Logistic model; Relationship

Cite this as (CSE Style): Santosa B, Amri M, Metri Y. 2024. Pola perkembangan penyakit bercak bakteri (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) dan penetapan prediktor waktu untuk menduga kehilangan hasil tomat. Agrotechnology Res J. 8(2):139–148. <https://dx.doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i2.94965>.

PENDAHULUAN

Produksi buah tomat di Indonesia tahun 2022 sebesar 1.168.744 ton dan tahun 2023 mengalami penurunan yaitu 1.143.788 ton atau turun sebesar 24.956 ton (BPS 2024). Disisi lain permintaan dan konsumsi buah tomat untuk kebutuhan rumah tangga di Indonesia terus meningkat setiap tahun, yang mana kebutuhan tahun 2023 sebesar 697.220 ton dan angka ini naik sebesar 1,34% (9.240 ton) dari kebutuhan rumah tangga tahun 2022 yaitu 687.980 ton (BPS STPHP 2024). Berdasarkan data tersebut, semakin meningkatnya permintaan buah tomat untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga di Indonesia, maka produksi

tomat perlu upaya secara terus-menerus untuk ditingkatkan.

Salah satu kendala yang dialami oleh petani dalam budidaya tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) adalah karena adanya serangan patogen penyebab penyakit bercak daun bakteri (BDB) yang disebabkan oleh *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Xcv) (Adhikari et al. 2020; Akila et al. 2024). BDB adalah penyakit tomat yang mematikan yang disebabkan oleh spesies *Xanthomonas*, termasuk Xcv (Adhikari et al. 2020; Somashetty et al. 2023). Penyakit tomat ini tersebar luas berbagai belahan dunia dan menjadi masalah utama di daerah beriklim tropis, subtropis, dan sedang (Osdaghi et al. 2021; Potnis et al. 2015; Somashetty et al. 2023).

Penyakit bercak bakteri atau *bacterial spot* ini dapat menyebabkan bercak pada daun, batang atau cabang dan buah tomat (Ahmad dan Ahmad 2022). Menurut Osdaghi et al. (2021), gejala serangan Xcv meliputi area yang basah oleh air yang dikelilingi oleh klorosis

*Corresponding Author:
E-Mail: budisolok02@gmail.com

yang berubah menjadi bintik-bintik nekrotik pada semua bagian tanaman di udara. Pada buah tomat, terbentuk bintik-bintik hijau pucat kecil yang basah oleh air atau sedikit menonjol dengan lingkaran putih kehijauan, yang akhirnya berubah menjadi cokelat tua dan sedikit cekung dengan permukaan yang berkeropeng atau seperti kutil. Bercak pada tangkai daun dan batang atau cabang berwarna cokelat tua hingga hitam dan lonjong sampai memanjang. Bercak dapat muncul di semua bagian tanaman di atas tanah, kecuali kelopak. Bakteri ini juga menyebabkan bercak pada daun dan buah (Schuh et al. 2021). Menurut Somashetty et al. (2023), infeksi bakteri ini secara signifikan mempengaruhi kualitas, hasil, dan akhirnya mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan. Selain itu, bakteri ini menyerang berbagai organ yang dapat ditemukan pada tanaman tomat, termasuk batang, daun, dan buah.

Penyakit yang ada pada populasi tanaman dapat diukur pada berbagai waktu, yang mana dari data kolektif ini akan diperoleh sebuah kurva perkembangan penyakit. Kurva ini merupakan grafik dari perkembangan penyakit menurut dimensi waktu (Nurhayati 2011; Alves dan Del Ponte 2021; Shi et al. 2023). Setiap patogen pada tanaman inang tertentu akan memiliki model kurva perkembangan penyakit sendiri, yang mana kurva ini akan menggambarkan berbagai karakteristik yang dapat diidentifikasi seperti waktu awal timbulnya penyakit, besar inokulum awal dan laju perkembangan penyakit.

Tujuan penelitian untuk mendapatkan model yang paling tepat dalam melihat pola perkembangan keparahan penyakit bercak bakteri dan menetapkan waktu kritis untuk menduga kehilangan hasil tomat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Jorong Subarang Nagari Koto Baru Kecamatan Kubung Kabupaten Solok, dengan ketinggian tempat 388 m di atas permukaan laut (dpl) pada bulan Juni s/d Desember 2022. Masa inkubasi (hari) penyakit Xcv diamati setiap hari setelah

inokulasi dengan melihat gejala yang muncul pada seluruh tanaman sampel. Data Keparahen penyakit Xcv pada daun (%), keparahan penyakit Xcv pada batang per cabang (%), Keparahen penyakit Xcv pada buah (%), Insidensi pada buah (%) dan Berat buah per tanaman (g) dan kehilangan hasil (%) dianalisis regresi linier sederhana (Mahapatra dan Das 2016).

Untuk menentukan pola perkembangan penyakit yang paling tepat, telah diuji dua macam model matematik yaitu model Logistik dan model Gompertz yang mana masing-masingnya telah dikoreksi oleh dua kelompok pakar, yaitu Campbell dan Madden (1990) serta Neher dan Campbell (1992) dengan rumus seperti pada Tabel 1.

Metode pendugaan kehilangan hasil dalam penelitian menggunakan sistem peramalan penyakit tunggal dengan tipe waktu kritis tunggal, yang mana penyakit diukur pada beberapa umur tanaman sesuai fase pertumbuhan tanaman dengan titik pangkal 0 hari setelah tanam (hst), sebagai berikut : 1. Umur 26 hst (fase mulai muncul bunga), 2. Umur 31 hst (fase mulai berbunga), 3. Umur 36 hst (fase berbunga), 4. Umur 41 hst (fase mulai muncul buah), 5. Umur 46 hst (fase mulai berbuah), 6. Umur 51 hst (fase berbuah), 7. Umur 56 hst (fase berbuah), 8. Umur 61 hst (fase berbuah), 9. Umur 66 hst (fase berbuah), 10. Umur 71 hst (fase berbuah).

Variasi keparahan penyakit dibuat dengan cara menginokulasi tanaman dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv dalam Aquades steril, sebagai berikut : a. Kontrol (0 cfu.mL^{-1}), b. 10^6 cfu.mL^{-1} , c. 10^7 cfu.mL^{-1} , d. 10^8 cfu.mL^{-1} , dan e. 10^9 cfu.mL^{-1} . Keparahen penyakit yang diukur berupa gejala yang muncul pada daun, buah dan cabang atau batang tanaman dengan metode pengukuran sistem Horsfall-Barratt yang dikoreksi dalam "Formula Elanco". Dugaan hubungan antara keparahan penyakit dengan kehilangan hasil diuji dengan regresi linier dan non-linier seperti pada Tabel 2. Model yang tepat ditentukan oleh koefisien korelasi R dengan harga mutlak yang terbesar.

Tabel 1. Persamaan Logistik dan Gompertz yang telah dikoreksi Campbell dan Madden (1990) serta Neher dan Campbell (1992)

Model	Persamaan	Keterangan
Logistik	$x = 1/[1+\exp(-\{\ln(x_0/1-x_0)+rt\})]$	Model asli
Logistik	$x = K/[1+\{\ln(x_0/K-x_0)\exp(rt)\}]$	Koreksi C dan M (1)
Logistik	$x = K/[1+\exp\{\ln(x_0/K-x_0)(-rt)\}]$	Koreksi N dan C (2)
Gompertz	$x = \exp[\ln(x_0)\exp(-rt)]$	Model asli
Gompertz	$x = K[\exp\{-\ln(x_0/K-x_0)\exp(-rt)\}]$	Koreksi C dan M (3)
Gompertz	$x = K[\exp\{-\ln x_0/K\}\exp(-rt)]$	Koreksi N dan C (4)

Keterangan: x adalah Keparahen penyakit bercak bakteri Xcv; K adalah Keparahen maksimal; x_0 adalah Keparahen awal; r adalah laju infeksi; dan t adalah waktu pengamatan (dikaitkan pada umur tanaman dengan titik pangkal 0 hari setelah tanam hst).

Tabel 2. Model regresi linier dan non-linier dari hubungan antara keparahan penyakit dengan kehilangan hasil

Model	Persamaan
a. Linier	$KH = a + bX$
b. Non-Linier :	
- Eksponensial	$KH = a.B^x$
- Kepangkatan	$KH = a.X^b$
- Logaritma	$KH = a + b \ln x$

Keterangan: KH adalah Kehilangan Hasil, a adalah konstanta, b adalah konstanta dan x adalah waktu (dikaitkan dengan umur tanaman per hst)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan penyakit bercak bakteri (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)

Masa inkubasi (hari). Masa inkubasi penyakit bercak bakteri Xcv merupakan waktu yang diperlukan dari saat tanaman terinfeksi dari perlakuan pemberian inokulum bakteri Xcv hingga gejala penyakit muncul. Gejala pertama yang muncul pada daun yang diinokulasi bakteri Xcv menurut kerapatan inokulum terjadi pada hari yang sama yaitu hari ke 3 setelah diinokulasi Xcv seperti [Tabel 3](#). Pada hari ke 1 dan 2 belum tanpa tanda-tanda terlihat muncul gejala. Gejala awal yang terlihat ditandai dengan munculnya bintik-bintik (*lesi*) basah mulai dari warna hijau kemudian berubah menjadi berwarna coklat tua. Sebagian daun tomat yang terserang penyakit bakteri Xcv juga muncul bintik-bintik lesi kecil berwarna kuning kehijauan dengan tepi basah. Lesi terlihat dikelilingi zona kuning (*halos*) dengan ukuran yang berbeda-beda. Lesi ini terlihat mulai muncul di daun muda, tepian dan ujung daun. Hasil pengamatan ini mirip dengan yang dilakukan [Osdaghi et al. \(2021\)](#).

Tabel 3. Masa inkubasi Xcv pada daun tomat pada beberapa kerapatan inokulum

Kerapatan Inokulum Xcv (cfu.mL ⁻¹)	Masa Inkubasi (hari)
0	-
10 ⁶	3
10 ⁷	3
10 ⁸	3
10 ⁹	3

Keterangan: Data masa inkubasi Xcv diamati setiap hari dengan melihat secara visual gejala yang muncul pada daun tanaman

Pada perkembangan tanaman selanjutnya gejala lesi ini berubah warna menjadi coklat dan mengering serta sebagian membesar dengan cepat hingga ukuran lebarnya mencapai 0,25 - 0,5 cm. Gejala ini berkembang terus pada sebagian besar daun tanaman tomat. Pada sampel tanaman kontrol tidak terlihat muncul gejala serangan Xcv. Gejala pertama ini muncul lebih cepat jika dibandingkan menurut [Priller et al. \(2016\)](#) dan [Abrahamian et al. \(2021\)](#) bahwa gejala awal tanaman yang terinfeksi penyakit akan terlihat 5-7 hari setelah

inokulasi. Hal ini diduga karena faktor lingkungan mendukung terjadinya infeksi tanaman ([Egel et al. 2018](#)) dan tomat varietas Intan merupakan varietas yang tergolong rentan terhadap penyakit bercak bakteri Xcv ([Santoso 1998](#)).



Gambar 1. Gejala infeksi Xcv pada daun tomat

Keparahan penyakit Xcv pada daun (%)

Keparahan penyakit Xcv pada daun tanaman merupakan rasio jumlah bagian daun tanaman yang terinfeksi terhadap jumlah tanaman sampel secara keseluruhan pada masing-masing perlakuan. Hasil pengamatan besarnya keparahan penyakit Xcv pada daun (%) menurut kerapatan inokulum Xcv pada beberapa tingkat umur tanaman per hst seperti [Tabel 4](#). Pada pengamatan umur 26 hst keparahan penyakit Xcv pada daun sampai pada akhir pengamatan umur 71 hst terus meningkat. Pada awalnya bercak yang terlihat mulai muncul berdiameter sekitar 0,25 cm, selanjutnya ukuran dan jumlahnya bertambah dan pada akhirnya menyebabkan sebagian daun rontok. Kolonisasi bakteri Xvc pada ruang intraseluler menyebabkan gejala yang terlihat secara makroskopis termasuk lesi yang tergenang air pada daun yang kemudian menjadi nekrotik ([Soto-Caro et al. 2023](#)). Pada perlakuan kontrol yang dianggap sebagai perlakuan dasar dan digunakan untuk membandingkan perubahan yang dihasilkan oleh perlakuan lain, khususnya perlakuan inokulasi bakteri Xcv tidak terlihat secara visual terjadi gejala serangan penyakit Xcv pada daun sampai akhir pengamatan.

[Tabel 4.](#) terlihat bahwa semakin tinggi kerapatan inokulum Xcv yang diinokulasikan pada tanaman tomat cenderung menyebabkan semakin tinggi keparahan penyakit pada daun (%). Hal ini berkorelasi positif dengan semakin tinggi tingkat umur tanaman juga cenderung menyebabkan semakin tinggi keparahan penyakit pada daun (%). Pada kerapatan inokulum 10⁶, 10⁷, 10⁸, dan 10⁹ cfu.mL⁻¹ cenderung terjadi peningkatan keparahan penyakit. Pada kerapatan inokulum 10⁹ cfu.mL⁻¹ saat pengamatan umur tanaman 71 hst menunjukkan keparahan penyakit maksimal yaitu 81,50%. Secara visual sebagian besar daun tanaman telah terserang penyakit Xcv. Hal ini memberikan gambaran bahwa pertumbuhan penyakit bercak bakteri Xcv tergolong polisiklik, yang mana inokulumnya bertambah terus dengan cepat sehingga infeksi semakin meluas pada jaringan tanaman ([Soto-Caro et al. 2023](#)).



Gambar 2. Gejala infeksi Xcv pada daun tomat

Keparahan penyakit Xcv pada batang per cabang (%)

Keparahan penyakit Xcv pada batang per cabang tanaman merupakan tingkat keparahan penyakit yang telah menyebar dan mempengaruhi tanaman dalam sampel perlakuan. Hasil pengamatan keparahan penyakit Xcv pada batang dan cabang (%) pada beberapa kerapatan inokulum Xcv umur tanaman 71 hst seperti pada Tabel 5. Pada pengamatan tanaman yang terinfeksi terlihat bercak pada tangkai daun dan batang/cabang berwarna coklat tua hingga hitam dan lonjong hingga memanjang. Pada perlakuan kontrol yang dianggap sebagai perlakuan dasar dan digunakan untuk membandingkan perubahan yang dihasilkan oleh perlakuan lain, khususnya perlakuan inokulasi bakteri Xcv tidak terlihat secara visual terjadi gejala serangan penyakit Xcv pada batang dan cabang serta daun sampai akhir pengamatan.

Semakin tinggi kerapatan inokulum Xcv yang diinokulasikan pada tanaman cenderung semakin tinggi keparahan penyakit Xcv yang muncul pada batang per

cabang tanaman. Gejala penyakit pada batang per cabang tanaman ini mulai terlihat muncul pada hari ke 10 setelah inokulasi, yang mana gejala pertama terlihat bercak berkembang tidak beraturan dan terus menyebar ke seluruh bagian batang dan cabang tanaman. Tabel 5 memperlihatkan bahwa perbedaan perlakuan inokulum Xcv yang di inokulasikan pada tanaman memberikan respons yang sama terhadap keparahan penyakit Xcv, semua yang mana diperoleh nilai standar deviasinya < 1.

Keparahan penyakit Xcv pada buah (%)

Gejala keparahan penyakit bercak bakteri Xcv pada buah mulai terlihat pada saat mulai muncul buah (buah muda dan kecil) seperti kudis berwarna coklat muda di bagian pusatnya dengan diameter sekitar 1-2 mm. Gejala ini berkembang terus dan menyebar ke seluruh bagian permukaan buah sampai buah masak dan siap untuk dipanen. Keparahan penyakit Xcv pada buah (%) pada beberapa kerapatan inokulum Xcv pada saat panen seperti pada Tabel 6. Pada perlakuan kontrol yang dianggap sebagai perlakuan dasar dan digunakan untuk membandingkan perubahan yang dihasilkan oleh perlakuan lain, khususnya perlakuan inokulasi bakteri Xcv tidak terlihat secara visual terjadi gejala serangan penyakit Xcv pada buah sampai akhir pengamatan.

Keparahan penyakit Xcv pada buah (%) pada beberapa kerapatan inokulum Xcv pada saat panen terlihat bahwa semakin tinggi kerapatan inokulum Xcv, keparahan penyakit Xcv cenderung juga semakin tinggi. Pada Kontrol (0 cfu.mL^{-1}) semua buah yang dipanen tidak ada yang terinfeksi oleh Xcv, sedangkan pada kerapatan inokulum 10^9 cfu.mL^{-1} memberikan pengaruh keparahan pada buah yang paling tinggi yaitu sebesar 37,50 %. Nilai ini tergolong tinggi berdasarkan koreksi menurut “Formula Elanco” dari skala Horsfall-Barratt (H-B) pada rentang keparahan 25-50 %.

Tabel 4. Perkembangan keparahan penyakit bercak daun bakteri dalam persen pada tomat yang diinokulasi dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv, hasil pengamatan secara periodik lima harian

Umur (hst)	Kepadatan Inokulum (cfu.mL^{-1})				
	0	10^6	10^7	10^8	10^9
26	$0,00 \pm 0,000$	$3,50 \pm 0,055$	$4,00 \pm 0,082$	$5,00 \pm 0,082$	$6,50 \pm 0,082$
31	$0,00 \pm 0,000$	$7,00 \pm 0,144$	$7,90 \pm 0,082$	$10,00 \pm 0,082$	$11,00 \pm 0,163$
36	$0,00 \pm 0,000$	$10,30 \pm 0,082$	$15,90 \pm 0,082$	$20,00 \pm 0,082$	$22,00 \pm 0,163$
41	$0,00 \pm 0,000$	$17,80 \pm 0,163$	$26,20 \pm 0,163$	$31,00 \pm 0,082$	$40,50 \pm 0,141$
46	$0,00 \pm 0,000$	$26,13 \pm 0,126$	$35,60 \pm 0,245$	$40,00 \pm 0,163$	$45,00 \pm 0,163$
51	$0,00 \pm 0,000$	$35,60 \pm 0,082$	$40,00 \pm 0,082$	$47,00 \pm 0,082$	$57,50 \pm 0,205$
56	$0,00 \pm 0,000$	$37,50 \pm 0,082$	$47,50 \pm 0,082$	$58,00 \pm 0,461$	$66,50 \pm 0,163$
61	$0,00 \pm 0,000$	$52,50 \pm 0,082$	$55,00 \pm 0,217$	$65,00 \pm 0,082$	$75,50 \pm 0,245$
66	$0,00 \pm 0,000$	$60,00 \pm 0,082$	$60,00 \pm 0,130$	$77,00 \pm 3,912$	$80,00 \pm 0,163$
71	$0,00 \pm 0,000$	$62,50 \pm 0,082$	$65,50 \pm 0,245$	$81,20 \pm 0,163$	$81,50 \pm 0,217$

Keterangan: hst= hari setelah tanam; data keparahan penyakit pada daun (%) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung persentase daun yang terserang penyakit Xcv dibandingkan dengan total daun tanaman



Gambar 3. Gejala infeksi Xcv pada batang dan cabang serta daun tomat

Tabel 5. Keparahan penyakit bercak bakteri pada batang dan cabang tanaman umur 71 hari setelah tanam pada tomat yang diinokulasi dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv

Kerapatan Inokulum Xcv (cfu.mL ⁻¹)	Keparahan Penyakit pada Batang dan Cabang (%)
0	0,00 ± 0,000
10 ⁶	12,00 ± 0,084
10 ⁷	15,00 ± 0,164
10 ⁸	31,50 ± 0,164
10 ⁹	37,50 ± 0,164

Keterangan: Data keparahan bercak bakteri Xcv pada batang/cabang (%) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung persentase bagian batang per cabang yang terserang penyakit Xcv dibandingkan dengan total bagian batang per cabang tanaman.

Insidensi pada buah (%)

Insidensi pada buah tomat yang terinfeksi Xcv terlihat beragam, yang mana pada kerapatan inokulum 10⁶, 10⁷, dan 10⁸ cfu.mL⁻¹ masih ada beberapa buah yang tidak terinfeksi Xcv. Pada kerapatan inokulum 10⁹ cfu.mL⁻¹ seluruh buah yang dipanen terinfeksi Xcv seperti pada Tabel 7. Pada perlakuan kontrol tidak terlihat indikasi gejala terinfeksi pada buah. Gejala awal yang muncul terlihat bintik-bintik pada permukaan buah. Insidensi pada buah tomat yang terinfeksi Xcv pada kerapatan inokulum yang berbeda memperlihatkan penyebaran yang merata, hal ini diperlihatkan dengan nilai besar standar deviasinya < 1.

Bintik-bintik pada buah berawal dari bintik-bintik gelap yang menonjol dikelilingi oleh tepi yang basah oleh air. Saat buah mengembang, bintik-bintik ini tampak cekung di dalam lubang, karena jaringan yang sehat akan tumbuh lebih cepat daripada jaringan yang berbintik. Bintik-bintik yang lebih tua dapat mencapai diameter 1/3' dan berwarna hitam, sedikit menonjol dan memiliki tepi berlekuk. Bintik-bintik tersebut tidak

menembus rongga biji buah, tetapi hanya dangkal. Saat buah mulai menua bagian tengah bintik-bintik tersebut hancur dan tenggelam, dan akhirnya membentuk kawah. Kulit buah sering retak di tepi bintik-bintik yang lebih tua. Tepi yang basah oleh air tidak ada pada bintik-bintik yang lebih tua.

Tabel 6. Keparahan penyakit bercak bakteri pada buah hasil panen tomat yang diinokulasi dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv

Kerapatan Inokulum Xcv cfu.mL ⁻¹	Keparahan Penyakit pada Buah (%)
0	0,00 ± 0,000
10 ⁶	14,00 ± 0,164
10 ⁷	18,50 ± 0,217
10 ⁸	24,50 ± 0,082
10 ⁹	37,50 ± 0,082

Keterangan: Data keparahan penyakit Xcv pada buah (%) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung persentase buah yang terserang penyakit Xcv dibandingkan dengan total buah yang dipanen.

Osdaghi et al. (2021) menyatakan bahwa bakteri Xcv dapat menginfeksi buah dengan gejala yang mirip pada daun. Bakteri ini merupakan patogen spesifik inang pada tomat dan cabai yang pertama kali dilaporkan secara bersamaan di Afrika Selatan dan Amerika Tengah pada tahun 1920-an, yang mana ada infeksi alaminya, bakteri ini masuk ke jaringan tanaman melalui stomata atau luka pada permukaan daun. Xcv mengeluarkan enzim pendegradasi dinding sel tanaman seperti *cellulases*, *β-glucosidases*, *pectate lyases*, *polygalacturonases*, dan *xylanases* (Thieme et al. 2005; Szczesny et al. 2010; Solé et al. 2015; Osdaghi et al. 2021). Enzim ini disekresikan oleh *Type II Secretion System* (T2SS), yang mana enzim ini diangkut dari periplasma bakteri melalui membran luar ke ruang ekstraseluler (Cianciotto dan White 2017).

Tabel 7. Insidensi pada buah yang dipanen pada tomat yang diinokulasi dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv

Kerapatan Inokulum Xcv (cfu.mL ⁻¹)	Insidensi Pada Buah (%)
0	0,00 ± 0.000
10 ⁶	65,00 ± 0.082
10 ⁷	74,00 ± 0.444
10 ⁸	88,00 ± 0.164
10 ⁹	100,00 ± 0.000

Keterangan: Data insidensi pada buah (%) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung persentase buah yang terserang penyakit Xcv dibandingkan dengan total buah yang dipanen.



Gambar 4. Gejala infeksi Xcv pada buah tomat

Berat buah per tanaman (g) dan kehilangan hasil (%)

Berat buah per tanaman (g) pada saat panen memiliki keragaman yang tinggi yang mana ada kecenderungan semakin tinggi kerapatan inokulum Xcv yang diinokulasikan pada tanaman memberikan pengaruh hasil buah semakin rendah dan kehilangan hasil tanaman yang semakin besar seperti pada Tabel 8. Pada perlakuan kontrol yang dianggap sebagai perlakuan dasar dan digunakan untuk membandingkan perubahan yang dihasilkan oleh perlakuan lain, khususnya perlakuan inokulasi bakteri Xcv diperoleh hasil berat buah 775,00 g. Perlakuan inokulasi Xcv pada beberapa kerapatan inokulum Xcv terlihat kecenderungan semakin tinggi kerapatan inokulum semakin rendah berat buah yang dihasilkan. Hal ini memberikan gambaran kecenderungan rendahnya berat buah dan tingginya nilai angka kehilangan hasil sampai mencapai 74,19%.

Data berat buah per tanaman (g) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menimbang buah yang dipanen pada akhir pengamatan

menggunakan timbangan analitik. Data kehilangan hasil (g) dihitung berdasarkan selisih dari data berat buah pada perlakuan kontrol dibandingkan dengan perlakuan masing-masing kerapatan inokulum Xcv, selanjutnya dihitung persentasenya (%).

Pola perkembangan penyakit bercak bakteri Xcv

Perkembangan penyakit sebagai akibat dari adanya infeksi karena adanya hubungan antara tanaman inang dan patogen dalam suatu lingkungan yang cocok dan serasi. Perkembangan penyakit bercak bakteri Xcv tergolong polisiklik, yang mana inokulum bertambah dengan cepat secara terus menerus sehingga perkembangan penyakit semakin meluas dalam menginfeksi tanaman. Siklus infeksi lengkap yang berulang yang mana infeksi diikuti oleh perkembangan patogen, produksi inokulum baru, penyebaran ke lokasi rentan baru, dan infeksi baru, semuanya dalam satu siklus panen (Nurhayati 2011).

Pengujian perkembangan penyakit dengan model analisis Logistik dan Gompertz yang terkoreksi menurut Campbell dan Madden (1990) diperoleh model persamaan seperti Tabel 9 dan yang terkoreksi menurut Neher dan Campbell (1992) diperoleh persamaan seperti Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 diketahui bahwa ternyata model Gompertz lebih tepat digunakan untuk menganalisis pola perkembangan penyakit bercak bakteri Xcv pada tanaman tomat. Sebagai upaya pendekatan untuk pengelolaan penyakit berdasarkan prinsip-prinsip epidemiologi, dapat dilakukan langkah-langkah apabila laju infeksi (r) terlalu tinggi maka penurunan jumlah inokulum dapat menunda terjadinya epidemik. Apabila laju infeksi sangat tinggi maka inokulum awal harus diturunkan sampai level terendah untuk mendapatkan hasil yang signifikan dalam menekan epidemik penyakit. Pada model penyakit polisiklik penurunan laju infeksi akan menyebabkan dampak yang lebih besar dalam pengendalian penyakit daripada penurunan inokulum awal.

Hubungan antara keparahan penyakit dengan kehilangan hasil

Dugaan hubungan keparahan penyakit dengan kehilangan hasil ditentukan oleh diagram tebaranya dan dapat berbentuk linier atau non-linier. Berdasarkan pengujian regresi linier dan non-linier didapatkan beberapa model persamaan seperti Tabel 11. Pada Tabel 11 terlihat bahwa dari masing-masing prediktor waktu pada umur tanaman 26 hst ($K1 > < KH$) model yang paling tepat adalah Linier dengan nilai koefisien korelasi $R=0,977$. Pada umur tanaman 31 hst ($K2 > < KH$) model yang paling tepat adalah Kepangkatan dengan nilai koefisien korelasi $R=0,998$. Pada umur tanaman 36, 41, 46, 51, dan 56 hst ($K3, K4, K5, K6, \text{ dan } K7 > < KH$) model yang paling tepat adalah Linier dengan nilai koefisien korelasi R berturut-turut adalah $R=0,978$, $R=0,971$, $R=0,969$, $R=0,976$, dan $R=0,992$. Pada umur tanaman 61 dan 66 hst ($K8 \text{ dan } K9 > < KH$) model yang paling tepat adalah Eksponensial dengan nilai koefisien korelasi $R=0,983$ dan $R=0,940$. Selanjutnya pada umur 71 hst ($K10 > < KH$) model yang paling tepat adalah Linier dengan nilai koefisien korelasi $R=0,905$.

Tabel 8. Berat buah per tanaman dan kehilangan hasil tomat yang diinokulasi Xcv dengan beberapa kerapatan inokulum Xcv

Kerapatan Inokulum Xcv (cfu.mL ⁻¹)	Berat Buah (g)	Kehilangan Hasil	
		(g)	(%)
0	775,00 ± 4,082	00,00 ± 0,000	00,00 ± 0,000
10 ⁶	455,00 ± 4,082	320,00 ± 4,082	41,29 ± 0,415
10 ⁷	407,00 ± 6,429	368,00 ± 2,160	47,48 ± 0,427
10 ⁸	252,00 ± 1,633	523,00 ± 3,559	67,48 ± 0,195
10 ⁹	200,00 ± 0,000	575,00 ± 4,082	74,19 ± 0,152

Keterangan: Data berat buah per tanaman (g) dihitung menggunakan metode kuantitatif dengan menimbang buah yang dipanen pada akhir pengamatan menggunakan timbangan analitik. Data kehilangan hasil (g) dihitung berdasarkan selisih dari data berat buah pada perlakuan kontrol dibandingkan dengan perlakuan masing-masing kerapatan inokulum Xcv, selanjutnya dihitung persentasenya (%).

Tabel 9. Hasil analisis dari model Logistik dan Gompertz yang terkoreksi menurut [Campbell dan Madden \(1990\)](#)

Kerapatan Inokulum Xcv cfu,mL ⁻¹	Persamaan Model		Kesimpulan
	Logistik	Gompertz	
0	-	-	-
10 ⁶	$x=0,62/[1+((-2,98)\exp(-0,12 t))]$ R=0,93	$x=0,62[\exp\{(2,98)\exp(-0,13 t)\}]$ R=0,98	G
10 ⁷	$x=0,75/[1+((-2,87)\exp(-0,11 t))]$ R=0,98	$x=0,75[\exp\{(2,87)\exp(-0,11 t)\}]$ R=0,99	G
10 ⁸	$x=0,81/[1+((-2,52)\exp(-0,12 t))]$ R=0,82	$x=0,81[\exp\{(2,52)\exp(-0,12 t)\}]$ R=0,99	G
10 ⁹	$x=0,81/[1+((-2,72)\exp(-0,09 t))]$ R=0,85	$x=0,81[\exp\{(2,72)\exp(-0,09 t)\}]$ R=0,98	G

Keterangan : x adalah keparahan penyakit, t adalah waktu (dikaitkan dengan umur tanaman per hst); R adalah koefisien korelasi dan G adalah Gompertz.

Tabel 10. Hasil analisis dari model Logistik dan Gompertz yang terkoreksi menurut [Neher dan Campbell \(1992\)](#)

Kerapatan Inokulum Xcv (cfu.mL ⁻¹)	Persamaan Model		Kesimpulan
	Logistik	Gompertz	
0	-	-	-
10 ⁶	$x=0,62/[1+\exp(-2,98)(-0,05 t)]$ R=0,77	$x=0,62[\exp\{(3,03)\exp(-0,06 t)\}]$ R=0,96	G
10 ⁷	$x=0,75/[1+\exp(-2,87)(-0,03 t)]$ R=0,82	$x=0,75[\exp\{(2,93)\exp(-0,06 t)\}]$ R=0,94	G
10 ⁸	$x=0,81/[1+\exp(-2,52)(-0,04 t)]$ R=0,81	$x=0,81[\exp\{(2,60)\exp(-0,05 t)\}]$ R=0,94	G
10 ⁹	$x=0,81/[1+\exp(-2,72)(-0,04 t)]$ R=0,89	$x=0,81[\exp\{(2,78)\exp(-0,05 t)\}]$ R=0,91	G

Keterangan: x adalah keparahan penyakit, t adalah waktu (dikaitkan dengan umur tanaman/hst); R adalah koefisien korelasi dan G adalah Gompertz.

Tabel 11. Model hubungan keparahan penyakit Xcv pada daun dengan kehilangan hasil tanaman tomat

Kn><KH	Linier	Eksponensial	Kepangkatan	Logaritma
K1><KH	$KH=0,04+92,33X$ $R=0,977$	$KH=152,93x1,23^{X+C}$ $R=0,913$	$KH=89,20X^{2,27}$ $R=0,932$	$KH=-231,73+437,59\ln X+c$ $R=0,912$
K2><KH	$KH=-14,29+50,49X$ $R=0,991$	$KH=116,74x1,15^{X+C}$ $R=0,996$	$KH=26,05X^{3,60}$ $R=0,998$	$KH=-769,79+552,90\ln X+c$ $R=0,994$
K3><KH	$KH=14,99+24,48X$ $R=0,978$	$KH=179,47x1,05^{X+C}$ $R=0,948$	$KH=50,90X^{2,14}$ $R=0,897$	$KH=-466,19+323,59\ln X+c$ $R=0,866$
K4><KH	$KH=20,83+14,32X$ $R=0,971$	$KH=190,56x1,03^{X+C}$ $R=0,911$	$KH=33,45X^{2,16}$ $R=0,904$	$KH=-654,20+329,73\ln X+c$ $R=0,889$
K5><KH	$KH=-9,96+12,41X$ $R=0,969$	$KH=126,47x1,03^{X+C}$ $R=0,897$	$KH=7,46X^{3,09}$ $R=0,866$	$KH=-1285,00+482,21\ln X+c$ $R=0,840$
K6><KH	$KH=-7,06+9,87X$ $R=0,976$	$KH=138,38x1,02^{X+C}$ $R=0,877$	$KH=4,71X^{3,29}$ $R=0,915$	$KH=-528,90+518,40\ln X+c$ $R=0,931$
K7><KH	$KH=-7,38+8,57X$ $R=0,992$	$KH=137,00x1,02^{X+C}$ $R=0,982$	$KH=5,87X^{2,97}$ $R=0,966$	$KH=-1397,10+466,70\ln X+c$ $R=0,949$
K8><KH	$KH=-21,71+7,29X$ $R=0,961$	$KH=75,19x1,03^{X+C}$ $R=0,983$	$KH=0,35X^{5,53}$ $R=0,978$	$KH=-2620,50+736,95\ln X+c$ $R=0,967$
K9><KH	$KH=-21,69+6,52X$ $R=0,933$	$KH=52,46x1,03^{X+C}$ $R=0,940$	$KH=0,08X^{7,56}$ $R=0,923$	$KH=-3230,70+859,87\ln X+c$ $R=0,897$
K10><KH	$KH=-18,08+6,20X$ $R=0,905$	$KH=50,40x6,03^{X+C}$ $R=0,801$	$KH=0,07X^{7,38}$ $R=0,779$	$KH=-3191,50+482,54\ln X+c$ $R=0,735$

Keterangan: K1,2,310 adalah besarnya keparahan penyakit pada waktu t (%); KH adalah Kehilangan Hasil (g), dan R adalah koefisien korelasi.

Semakin tinggi keparahan penyakit maka proporsi bagian luka tanaman semakin banyak (Bock et al. 2022). Hubungan ini bernilai positif sehingga kehilangan hasil semakin tinggi apabila serangan penyakit meningkat. Sedangkan, hubungan tingkat kerusakan dan hasil panen bernilai negatif, artinya semakin tinggi tingkat kerusakan tanaman, hasil panen akan semakin menurun. Kehilangan hasil panen ini dapat berupa kehilangan biomassa, kehilangan kosmetik (penampilan), dan estetik (keindahan) yang mana ketiga jenis kehilangan ini tentu akan menyebabkan kehilangan finansial.

Seperti kebanyakan penyebaran penyakit, kondisi lingkungan pada saat penelitian menentukan laju perkembangan dan penyebaran bercak bakteri Xcv pada masing-masing tanaman sampel. Inokulasi inokulum Xcv yang berbeda memberikan respons yang berbeda terhadap laju perkembangan penyakit bercak bakteri Xcv tanaman tomat. Hawar daun bakteri Xcv tergolong polisiklik yang mana penyakit ini mampu menyelesaikan lebih dari satu siklus hidup dalam satu tahun (Nurhayati 2011; Soto-Caro et al. 2023). Penyakit ini mampu melakukan beberapa siklus infeksi dalam satu musim. Epidemi terjadi karena infeksi yang lengkap dan berulang mulai infeksi diikuti perkembangan patogen,

pembentukan inokulum baru dan infeksi baru selama pelaksanaan penelitian.

Sebagai upaya pengendalian pada epidemi polisiklik dapat dilakukan langkah-langkah seperti, apabila laju infeksi (r) terlalu tinggi maka penurunan jumlah inokulum dapat menunda terjadinya epidemik, laju infeksi sangat tinggi, inokulum awal harus diturunkan sampai level terendah untuk mendapatkan hasil yang signifikan dalam menekan epidemik penyakit, dan penurunan laju infeksi akan menyebabkan dampak yang lebih besar dalam pengendalian penyakit daripada penurunan inokulum awal (Yanti dan Hamid 2020; Oliver 2024).

Secara umum dapat dikatakan bahwa dari beberapa waktu yang dijadikan sebagai penduga kehilangan hasil tanaman ternyata lebih banyak mengikuti model Linier. Berdasarkan waktu kritis dengan membandingkan beberapa model pengujian, ternyata untuk menduga kehilangan hasil yang paling tepat adalah mengikuti model kepangkatan dengan persamaan $KH=26,05X^{3,60}$ dengan nilai koefisien korelasi dari harga mutlak yang terbesar $R=0,998$ pada $K2><KH$. Ini menunjukkan bahwa waktu kritis dari besarnya keparahan penyakit Xcv pada tanaman tomat yang akan berpengaruh terhadap kehilangan hasil yang lebih besar adalah pada umur tanaman 31 hst dengan mengikuti model persamaan kepangkatan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perkembangan penyakit Xcv pada tomat mengikuti model Gompertz dan waktu kritis untuk menetapkan hubungan antara keparahan penyakit dengan kehilangan hasil yang paling tepat mengikuti model regresi ke pangkatkan dengan waktu kritis pada umur tanaman 31 hari setelah tanam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamian P, Sharma A, Jones JB, Vallad GE. 2021. Dynamics and spread of bacterial spot epidemics in tomato transplants grown for field production. *Plant Dis.* 105(3):566–575. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-20-0945-RE>.
- Adhikari P, Adhikari TB, Louws FJ, Panthee DR. 2020. Advances and challenges in bacterial spot resistance breeding in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Int J Mol Sci.* 21(5):1734. <https://doi.org/10.3390/ijms21051734>.
- Ahmad I, Ahmad M. 2022. Bacterial spot caused by *Xanthomonas vesicatoria* devastated tomato production of Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan. *Int J Phytopathol.* 11(1):77–95. <https://doi.org/10.33687/phytopath.011.01.4071>.
- Akila AH, Ali MAS, Khairy AM, Elnahal ASM, Alfassam HE, Rudayni HA, Jaber FA, Tohamy MRA. 2024. Biological control of tomato bacterial leaf spots and its impact on some antioxidant enzymes, phenolic compounds, and pigment content. *Biology (Basel).* 13(6):369. <https://doi.org/10.3390/biology13060369>.
- Alves KS, Del Ponte EM. 2021. Analysis and simulation of plant disease progress curves in R: introducing the *epifitter* package. *Phytopathol Res.* 3(1):22. <https://doi.org/10.1186/s42483-021-00098-7>.
- Bock CH, Chiang KS, Del Ponte EM. 2022. Plant disease severity estimated visually: a century of research, best practices, and opportunities for improving methods and practices to maximize accuracy. *Trop Plant Pathol.* 47(1):25–42. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00439-z>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2024. Produksi tanaman sayuran, 2021-2023. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik (BPS). [diakses 2024 Mei 20]. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>.
- [BPS STPHP] Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan. 2024. Statistik hortikultura 2023. Sulistina, Marpaung TH, editor. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik (BPS).
- Campbell CL, Madden L V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York (US): Jhon Wiley and Sons.
- Cianciotto NP, White RC. 2017. Expanding role of type II secretion in bacterial pathogenesis and beyond. Maurelli AT, editor. *Infect Immun.* 85(5):IAI.00014-17. <https://doi.org/10.1128/IAI.00014-17>.
- Egel DS, Jones JB, Minsavage G V., Creswell T, Ruhl G, Maynard E, Marchino C. 2018. Distribution and characterization of *Xanthomonas* strains causing bacterial spot of tomato in Indiana. *Plant Heal Prog.* 19(4):319–321. <https://doi.org/10.1094/PHP-07-18-0041-BR>.
- Mahapatra S, Das S. 2016. Linear regression model for assessing the yield loss of mustard due to *Alternaria* leaf blight disease. *Indian Phytopathol.* 69(1):57–60.
- Neher DA, Campbell CL. 1992. Underestimation of disease progress rates with the logistic, monomolecular, and gompertz models when maximum disease intensity is Less than 100 percent. *Phytopathology.* 82(8):811–814.
- Nurhayati. 2011. Epidemiologi penyakit tumbuhan. Palembang (ID): Universitas Sriwijaya Press.
- Oliver R, editor. 2024. Agrios' plant pathology. 6th ed. Cambridge (US): Elsevier Academic Press.
- Osdaghi E, Jones JB, Sharma A, Goss EM, Abrahamian P, Newberry EA, Potnis N, Carvalho R, Choudhary M, Paret ML, et al. 2021. A centenary for bacterial spot of tomato and pepper. *Mol Plant Pathol.* 22(12):1500–1519. <https://doi.org/10.1111/mpp.13125>.
- Potnis N, Timilsina S, Strayer A, Shantharaj D, Barak JD, Paret ML, Vallad GE, Jones JB. 2015. Bacterial spot of tomato and pepper: diverse *Xanthomonas* species with a wide variety of virulence factors posing a worldwide challenge. *Mol Plant Pathol.* 16(9):907–920. <https://doi.org/10.1111/mpp.12244>.
- Priller JPR, Reid S, Konein P, Dietrich P, Sonnewald S. 2016. The *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* Type-3 effector XopB inhibits plant defence responses by interfering with ROS production. Davis KR, editor. *PLoS One.* 11(7):e0159107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159107>.
- Santoso E. 1998. Reaksi beberapa varietas tomat terhadap serangan bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. Padang (ID): Universitas Andalas.
- Schuh M, Johnson A, Grabowski M, Orshinsky A. 2021. Bacterial spot of tomato and pepper. *Univ Minnesota Ext.* [diakses 2024 Mar 24]. <https://extension.umn.edu/disease-management/bacterial-spot-tomato-and-pepper#monitoring-for-bacterial-spot-3031210>.
- Shi T, Liu Y, Zheng X, Hu K, Huang Hao, Liu H, Huang Hongxu. 2023. Recent advances in plant disease severity assessment using convolutional neural networks. *Sci Rep.* 13(1):2336. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29230-7>.
- Solé M, Scheibner F, Hoffmeister A-K, Hartmann N, Hause G, Rother A, Jordan M, Lautier M, Arlat M, Büttner D. 2015. *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* secretes proteases and Xylanases via the Xps type II secretion system and outer membrane vesicles. Christie PJ, editor. *J Bacteriol.* 197(17):2879–2893. <https://doi.org/10.1128/JB.00322-15>.

- Somashetty S, Srinivasulu S, Keshavamurthy K, Akbarbasha R, Krishnamurthy S, Chowdappa S, Konappa NM. 2023. A comprehensive review on recent advances in the research on bacterial leaf spot in tomato caused by *Xanthomonas* species. *Plant Arch.* 23(2):468–490. <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2023.v23.no2.077>.
- Soto-Caro A, Vallad GE, Xavier K V., Abrahamian P, Wu F, Guan Z. 2023. Managing bacterial spot of tomato: Do chemical controls pay Off? *Agronomy.* 13(4):972. <https://doi.org/10.3390/agronomy13040972>.
- Szczesny R, Jordan M, Schramm C, Schulz S, Coge V, Bonas U, Büttner D. 2010. Functional characterization of the Xcs and Xps type II secretion systems from the plant pathogenic bacterium *Xanthomonas campestris* pv *vesicatoria*. *New Phytol.* 187(4):983–1002. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03312.x>.
- Thieme F, Koebnik R, Bekel T, Berger C, Boch J, Büttner D, Caldana C, Gaigalat L, Goesmann A, Kay S, et al. 2005. Insights into genome plasticity and pathogenicity of the plant pathogenic bacterium *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* revealed by the complete genome sequence. *J Bacteriol.* 187(21):7254–7266. <https://doi.org/10.1128/JB.187.21.7254-7266.2005>.
- Yanti Y, Hamid H. 2020. Kompendium hama dan penyakit tanaman tomat. Sidoarjo (ID): Indomedia Pustaka.