

**Identifikasi Sifat Pemulihan pada Tanaman Cabai (*Capsicum* spp.):
Implikasinya terhadap Pemuliaan Varietas Tahan *Begomovirus***

*Identification of Recovery Traits in Chili (*Capsicum* spp.): Implications for the Breeding of
Begomovirus Resistant Varieties*

*Yuke Mareta Ariesta Sandra

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

KATA KUNCI

Begomovirus,
Disease resistance,
Jasmonic acid,
Recovery mechanism,
Salicylic acid

HISTORI ARTIKEL

Diterima : 03-06-2025

Direvisi : 20-07-2025

Diterbitkan: 27-07-2025



*This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International
License.*

ABSTRAK

Penyakit kuning yang disebabkan oleh virus *Begomovirus* merupakan ancaman serius bagi budidaya cabai (*Capsicum* spp.), menyebabkan kerugian hasil hingga 80%. Penelitian ini mengidentifikasi mekanisme *recovery* pada genotipe cabai yang awalnya menunjukkan gejala parah tetapi mampu pulih seiring waktu. Sebanyak 19 genotipe cabai (*C. annuum* dan *C. frutescens*) diuji dengan inokulasi *Begomovirus* melalui vektor kutu kebul (*Bemisia tabaci*). Pengamatan gejala dilakukan setiap 10 hari hingga 60 hari setelah inokulasi, dengan keparahan penyakit (KP) dihitung menggunakan skor gejala (1–5). Hasil menunjukkan bahwa genotipe G2 (*C. frutescens* 'Bonita') mengalami *recovery*, ditandai penurunan KP dari 4 (daun kuning, keriting, dan kerdil) pada hari ke-30 menjadi 2 (daun tanaman kuning keriting) pada hari ke-60. Genotipe G14 paling tahan (KP 5,19%), sedangkan G12 paling rentan (KP 88,15%). Mekanisme *recovery* diduga melibatkan aktivasi hormon asam salisilat (SA) dan asam jasmonat (JA), serta *silencing* RNA virus. Temuan ini memberikan wawasan baru untuk pengembangan varietas tahan *Begomovirus* melalui pendekatan pemuliaan berbasis *recovery*.

ABSTRACT

Yellow leaf curl disease caused by the Gemini virus (*Begomovirus*) is a significant threat to chili pepper (*Capsicum* spp.) cultivation, leading to yield losses up to 80%. This study identified a recovery mechanism in a chili genotype that initially showed severe symptoms but later recovered. Nineteen chili genotypes (*C. annuum* and *C. frutescens*) were tested by *Begomovirus* inoculation via *Bemisia tabaci*. Symptom severity (KP) was observed every 10 days until 60 days post-inoculation using a 1–5 scoring scale. Results revealed that genotype G2 (*C. frutescens* 'Bonita') exhibited recovery, with KP decreasing from 4 (yellow, curled, and stunted leaves) at day 30 to 2 (yellow leaves without curling) by day 60. Genotype G14 was the most resistant (KP 5.19%), while G12 was the most susceptible (KP 88.15%). The recovery mechanism likely involves salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) activation and viral RNA silencing. These findings offer novel insights for developing *Begomovirus*-resistant varieties through recovery-based breeding.

How to Cite:

Sandra, Y. M. A. (2025). Identifikasi Sifat Pemulihan pada Tanaman Cabai (*Capsicum* spp.): Implikasinya terhadap Pemuliaan Varietas Tahan *Begomovirus*. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 13(2), 63-70. <https://doi.org/10.33005/plumula.v13i2.257>

***Author Correspondent:**

Email: yukemareta@gmail.com

PENDAHULUAN

Penyakit kuning yang disebabkan oleh virus Gemini (*Begomovirus*) merupakan ancaman serius bagi budidaya cabai (*Capsicum* sp.) karena dapat menyebabkan kerugian hasil hingga 80-100% pada kondisi serangan berat (Inoue-Nagata dkk., 2016). Virus ini menekan sistem pertahanan tanaman dengan menghambat RNA *interference* (RNAi) dan mengganggu ekspresi gen inang (Ghoshal & Sanfaçon, 2015). Sejauh ini, strategi pengendalian utama bergantung pada penggunaan insektisida untuk mengendalikan vektor kutu kebul (*Bemisia tabaci*) dan pengembangan varietas tahan. Menurut Sandra dkk. (2022), tingginya jumlah kutu kebul pada tanaman berkorelasi positif terhadap tingkat keparahan penyakit kuning pada cabai. Hal ini disebabkan oleh tingginya jumlah virus yang dibawa dan terinfeksi pada tanaman (Plotnikov dkk., 2020). Namun, resistensi genetik sering kali bersifat spesifik terhadap strain virus tertentu, sehingga diperlukan pendekatan baru berbasis mekanisme ketahanan alami tanaman.

Salah satu fenomena ketahanan yang menarik adalah kemampuan "*recovery*", di mana tanaman yang awalnya menunjukkan gejala parah dapat pulih seiring waktu, dengan gejala yang berkurang dan pertumbuhan kembali normal (Prakash dkk., 2024). Mekanisme ini diduga melibatkan aktivasi sistem RNAi, akumulasi hormon pertahanan (*salicylic acid/jasmonic acid*), atau modifikasi epigenetik yang menekan replikasi virus (Hou & Tsuda, 2022). Penelitian terbaru mengidentifikasi beberapa genotipe tanaman, termasuk cabai, yang mampu menginduksi respons *recovery* setelah infeksi virus, tetapi mekanisme molekulernya masih belum sepenuhnya dipahami.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan potensi ketahanan terhadap serangan penyakit kuning yang disebabkan oleh virus Gemini pada cabai untuk pengembangan varietas unggul baru yang dapat mengatasi permasalahan utama pada budidaya tanaman cabai. Hasil penelitian yang telah kami lakukan mengenai penapisan sifat ketahanan beberapa genotipe cabai terhadap serangan virus gemini (Sandra dkk., 2022), teridentifikasi satu genotipe cabai yang menunjukkan mekanisme *recovery* setelah infeksi *Begomovirus*. Temuan ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang potensi ketahanan dinamis pada cabai. Hal ini juga diharapkan dapat membuka peluang untuk pengembangan strategi pengendalian penyakit yang lebih efektif dan berkelanjutan, terutama pada bidang pemuliaan tanaman.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 19 genotipe cabai (G1-G19) yang terdiri dari spesies *Capsicum annum* dan *Capsicum frutescens*, yang merupakan koleksi dari Pusat Kajian Hortikultura Tropika Institut Pertanian Bogor (PKHT IPB). Pemilihan genotipe didasarkan pada beberapa kajian awal dan temuan di lapangan mengenai potensi ketahanan dan kerentanan genotipe tersebut. Genotipe tersebut bervariasi dalam hal panjang dan lebar daun, warna daun, tinggi tanaman, dan ukuran buah.

Pengujian diawali dengan penyemaian benih cabai. Bibit disimpan di rumah kaca yang steril untuk menjaga tanaman bebas dari virus dan patogen lainnya. Setelah empat minggu, bibit dipindahkan satu per satu ke polibag berukuran 40 × 40 cm yang berisi campuran tanah, sekam padi, dan kompos (1:1:1). Infeksi penyakit menggunakan kutu kebul yang telah terinfeksi gemini virus dilakukan pada 10 hari setelah tanam. Untuk setiap satuan percobaan diambil enam tanaman dari masing-masing genotipe sebagai sampel. Pengamatan dilakukan setiap 10 hari, dimulai 10 hari setelah infeksi penyakit sampai 60 hari setelah inokulasi. Tingkat gejala infeksi dikelompokkan dalam 5 kategori berdasarkan kriteria yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Gejala Infeksi Virus

Nilai/Skala	Kriteria
0	Tanaman sehat
1	Tanaman kuning
2	Daun tanaman kuning dan keriting
3	Kuning, keriting melengkung ke atas dan/atau ke bawah
4	Kuning, keriting melengkung ke atas dan/atau ke bawah serta tanaman menjadi kerdil

Sumber: Ganefianti dkk. (2017)

Pengelompokkan tingkat ketahanan terhadap virus dilakukan dengan melihat nilai keparahan penyakit (KP) yang disebabkan virus Gemini pada cabai. Perhitungan nilai keparahan penyakit serta pengelompokkan tingkat keparahan penyakit dilakukan berdasarkan rumus yang dijabarkan oleh Chiang dkk. (2017), sebagai berikut:

$$KP = \sum_0^i \frac{(ni \times zi)}{(N \times Z)} \times 100\%$$

Makna dari simbol-simbol tersebut adalah

KP: Keparahan penyakit,

ni : Jumlah tanaman bergejala dengan nilai skor tertentu,

zi : Nilai skor gejala,

N : Jumlah total tanaman yang diamati,

Z : Nilai skor gejala tertinggi.

Nilai keparahan penyakit (KP) selanjutnya digunakan untuk mengelompokkan kriteria ketahanan dengan kriteria yang disajikan dalam Tabel 2 (Ganefianti dkk., 2017). Analisis statistik dilakukan menggunakan Uji F taraf nyata 5% dengan bantuan perangkat lunak R versi 4.0.5. Apabila hasil analisis ANOVA menunjukkan berbeda nyata maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan taraf 5%. Analisis deskriptif juga dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dan data kualitatif yang didapat dari lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanaman yang terserang virus Gemini (*Begomovirus*) akan menunjukkan gejala secara fenotipik sebagai respon. Respon tersebut merupakan dampak dari serangan virus maupun sebagai upaya pertahanan tanaman terhadap serangan virus tersebut. Gejala yang ditimbulkan bergantung pada jenis tanamannya, namun gejala umum yang ditunjukkan oleh serangan *Begomovirus* pada cabai, tomat, tembakau, dan lada adalah tepi daun yang menggulung ke atas dan atau ke bawah, ukuran daun mengecil, serta tanaman menjadi kerdil (Sukada dkk., 2014). Gejala yang ditemukan di lapangan tidak jauh berbeda seperti penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu munculnya mozaik kuning pada daun, daun menggulung ke atas dan atau ke bawah, daun keriting dan menebal, tanaman berwarna kuning, daun bagian pucuk keriting, mengecil dan berwarna kuning, serta tanaman menjadi kerdil.

Hasil pengamatan dilapangan menunjukkan bahwa setiap genotipe uji memiliki respon yang berbeda terhadap serangan *Begomovirus*. Gejala infeksi virus pada tanaman sudah mulai terlihat pada hari ke-10 setelah infeksi di hampir seluruh genotipe uji, dengan skor keparahan yang bervariasi. Pengamatan tingkat keparahan pada setiap genotipe dilakukan secara berulang setiap 10 hari dan dilakukan sampai hari ke-60 setelah infeksi. Rata-rata hasil pengamatan hari ke-10 sampai hari ke-60 pada setiap genotipe dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan gejala keparahan penyakit pada setiap genotipe di setiap pengamatan. Beberapa genotipe menunjukkan kriteria gejala 0 atau tidak menunjukkan kriteria gejala terserang virus pada pengamatan hari ke-10 setelah infeksi. Genotipe tersebut yaitu G1, G7, G14, dan G15, namun pada pengamatan berikutnya (hari ke 20-60 setelah infeksi). Gejala infeksi virus juga sudah terlihat pada pengamatan awal di beberapa genotipe, bahkan mencapai kriteria gejala 3, yaitu daun tanaman berwarna kuning, keriting melengkung ke atas dan/atau bawah, seperti pada tanaman G6. Selanjutnya, kriteria gejala semakin meningkat hingga mencapai kriteria 4 (daun tanaman menjadi kuning, keriting melengkung ke atas dan/atau ke bawah serta tanaman menjadi kerdil). Meningkatnya kriteria gejala yang terjadi pada bebe-

Tabel 2. Kriteria Ketahanan Tanaman terhadap Infeksi Begomo Virus

Respon	Keparahan Penyakit (KP)
Tahan	$0\% < KP \leq 5\%$
Agak Tahan	$5\% < KP \leq 10\%$
Agak Rentan	$10\% < KP \leq 20\%$
Rentan	$20\% < KP \leq 40\%$
Sangat Rentan	$KP > 40\%$

Sumber: Ganefianti dkk. (2017)

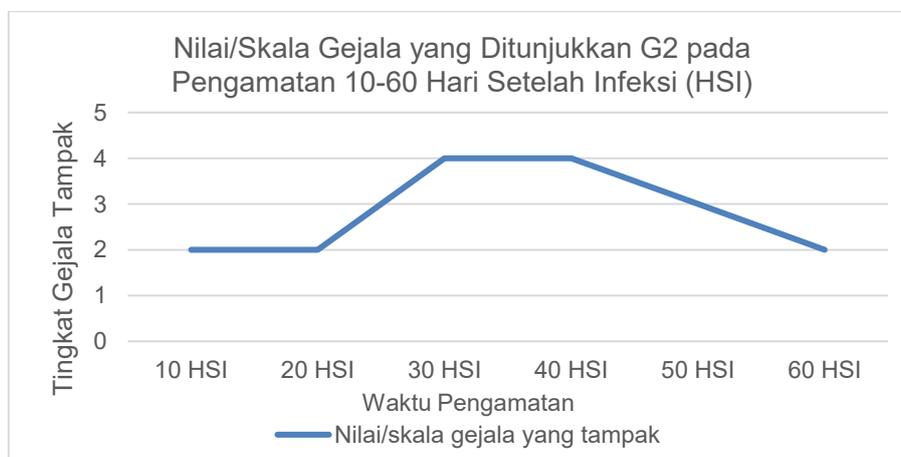
Tabel 3. Rata-rata Tingkat Gejala yang Tampak pada Setiap Genotipe Uji

No	Genotipe	Spesies	Kategori Tingkat Gejala pada Hari ke-					
			10	20	30	40	50	60
1	G1	<i>C. annum</i>	0	1	2	4	4	4
2	Bonita (G2)	<i>C. frutescens</i>	2	2	4	4	3	2
3	G3	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	3	4	4
4	G4	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	3	3	3
5	G5	<i>C. frutescens</i>	1	1	3	4	4	4
6	G6	<i>C. frutescens</i>	3	3	4	4	4	4
7	G7	<i>C. frutescens</i>	0	0	1	1	2	2
8	G8	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	3	3	3
9	G9	<i>C. frutescens</i>	1	2	4	4	4	4
10	G10	<i>C. frutescens</i>	1	1	4	4	4	4
11	G11	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	2	2	3
12	G12	<i>C. frutescens</i>	1	1	3	3	4	4
13	G13	<i>C. annum</i>	1	1	3	4	4	4
14	G14	<i>C. frutescens</i>	0	1	1	1	1	1
15	G15	<i>C. frutescens</i>	0	1	2	4	4	4
16	G16	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	3	3	4
17	G17	<i>C. frutescens</i>	1	1	3	4	5	5
18	G18	<i>C. frutescens</i>	1	1	2	2	3	4
19	G19	<i>C. frutescens</i>	1	2	4	4	4	4

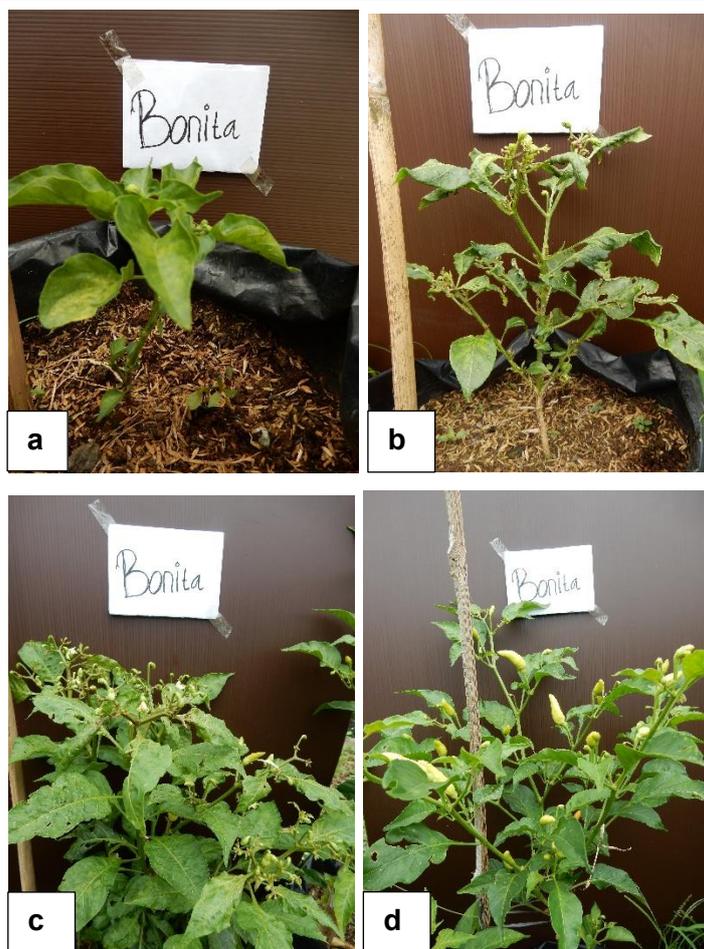
Sumber: Data diolah (2025)

rapa genotipe diduga disebabkan oleh tingginya aktivitas virus pada tanaman yang terserang, sehingga menurunkan dan mengganggu proses fisiologis tanaman, seperti proses metabolisme dan fotosintesis (Bhattacharyya dkk., 2015). Terganggunya mekanisme fisiologis tanaman menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terhambat, sehingga berdampak terhadap produksi.

Hasil pengamatan yang ditunjukkan Tabel 3 juga menunjukkan bahwa terdapat satu genotipe cabai yang mengalami penurunan kriteria gejala pada pengamatan hari ke-10 hingga hari ke-60 (Gambar 1). Data pengamatan menunjukkan bahwa tanaman G2 memiliki kriteria gejala pada hari ke-10 setelah infeksi, yaitu menunjukkan gejala daun tanaman menjadi kuning. Kriteria gejala pada G2 terus meningkat hingga sampai pada kriteria 4 (daun tanaman menjadi kuning, keriting melengkung ke atas dan/atau ke bawah serta tanaman menjadi kerdil) pada pengamatan hari ke-30 setelah infeksi. Penurunan kriteria terjadi pada pengamatan hari ke-50 dan 60, yaitu tanaman mulai tumbuh kembali dan daun tanaman terlihat lebih baik, yaitu tidak menggulung ke atas/ke bawah, meskipun masih kekuningan dan keriting (Gambar 1). Hal ini diduga karena adanya sistem penyembuhan kembali (*recovery*) sebagai salah satu mekanisme pertahanan tanaman terhadap serangan virus.



Gambar 1. Grafik Nilai/Skala Gejala yang Tampak pada Tanaman G2 pada 10-60 HSI



Gambar 2. Tanaman G1 yang Menunjukkan (a) Gejala Awal (Skor 2), (b) Gejala Puncak (Skor 4), (c) Pemulihan (Skor 3), (d) Pemulihan Lanjut (Skor 2)

Terlihat jelas proses *recovery* atau pemulihan yang terjadi pada salah satu genotipe uji pada setiap tahap pertumbuhan tanaman (Gambar 2). Masa awal pertumbuhan, tanaman terlihat mulai menguning, terutama bagian daun tanaman dan juga terdapat embun jelaga di bagian bawah daun. Gejala penyakit kuning yang disebabkan oleh *Begomovirus* semakin meningkat hingga saat tanaman mulai memasuki fase generatif. Daun tanaman semakin menguning, menggulung, dan tanaman tampak kerdil jika dibandingkan genotipe lainnya. Penurunan tingkat keparahan gejala penyakit yang tampak mulai terjadi saat mulai memasuki fase pembuahan hingga pematangan buah. Tanaman terlihat semakin sehat, walaupun daun tanaman masih menguning dan keriting, namun tidak menggulung dan tidak kerdil.

Penelitian-penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa fenomena *recovery* pada tanaman yang terserang virus dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya: faktor lingkungan, adanya senyawa tertentu yang berfungsi mengaktifkan mekanisme pertahanan tanaman, serta senyawa protein yang membuat proses *recovery* mungkin untuk terjadi. Latournerie-Moreno dkk. (2015) juga melaporkan bahwa terjadi peningkatan terhadap enzim-enzim pertahanan, seperti kitinase, polifenoloksidase, dan peroksidase pada tanaman yang terserang hama dan patogen.

Bentuk pertahanan tanaman dengan metode pemulihan diduga juga didukung oleh adanya aktivitas fitohormon asam jasmonik (JA) dan asam salisilat (SA) yang diketahui sebagai sinyal utama dari respon imun tanaman. SA dan JA bekerja secara antagonis dan menggunakan hormon lain untuk menyempurnakan respons kekebalan yang dibangun di SA dan JA (Ofori dkk., 2025). Asam salisilat berperan dalam menginduksi sifat resistensi, sedangkan asam jasmonik berperan dalam pertahanan tanaman terhadap serangan, baik patogen maupun hama tanaman (Zhang dkk., 2023). Faktor lain yang mempengaruhi respon pemulihan pada tanaman yang terserang penyakit diduga karena adanya mekanisme *silencing* RNA antivirus yang tidak terduga dan menyebabkan perbaikan pada sel tanaman yang terserang (Ghoshal & Sanfaçon, 2015). Faktor lingkungan diduga juga mempengaruhi induksi pemulihan pada tanaman terserang. Pemupukan

Tabel 4. Rata-rata Kriteria Gejala yang Tampak pada Setiap Genotipe Uji

No	Genotipe	KP(%)	Kriteria Ketahanan
1	G1	27,78 a	Rentan
2	Bonita (G2)	18,86 ab	Agak rentan
3	G3	64,79 ab	Sangat rentan
4	G4	27,69 ab	Rentan
5	G5	53,03 b	Sangat rentan
6	G6	76,36 ab	Sangat rentan
7	G7	39,29 ab	Rentan
8	G8	16,28 ab	Agak rentan
9	G9	62,50 ab	Sangat rentan
10	G10	45,36 ab	Sangat rentan
11	G11	7,14 ab	Agak tahan
12	G12	88,15 ab	Sangat rentan
13	G13	31,58 b	Rentan
14	G14	5,19 ab	Tahan
15	G15	24,71 ab	Rentan
16	G16	26,37 ab	Rentan
17	G17	34,05 ab	Rentan
18	G18	21,30 ab	Rentan
19	G19	24,19 ab	Rentan

Keterangan: Angka rerata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNJ $\alpha = 5\%$;
 KP = Keparahan Penyakit

Sumber: Data Diolah (2025)

yang optimal menyebabkan tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup untuk mendukung sel-sel tanaman beregenerasi, sehingga proses metabolisme dapat kembali normal.

Respon tanaman terhadap serangan penyakit kuning yang disebabkan oleh *Begomovirus* juga dapat dilihat berdasarkan hasil perhitungan tingkat keparahan yang dialami tanaman, sehingga beberapa genotipe yang diuji terbagi dalam beberapa katagori tingkat ketahanan (Tabel 4). Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat beberapa genotipe yang mengalami tingkat keparahan yang tinggi, sehingga dapat dikategorikan sebagai tanaman yang sangat rentan terhadap serangan penyakit kuning (G3, G5, G6, G9, G10, G12). Genotipe-genotipe tersebut memiliki angka persentase keparahan hingga mencapai 88,15%. Berbanding terbalik dengan genotipe nomor 14 (G14). Genotipe ini memiliki nilai persentase keparahan penyakit yang paling rendah dari semua genotipe uji, yaitu 5,19%, sehingga dinyatakan sebagai katagori tahan terhadap serangan penyakit kuning. Genotipe tanaman yang bersifat resisten diduga memiliki mekanisme ketahanan berbasis protein maupun gen tertentu yang menghambat, bahkan mencegah ekspresi dari gen virus (Lin dkk., 2007; Vanderschuren dkk., 2007). Kejadian (insidensi) penyakit yang terjadi pada tanaman dengan ditandai gejala-gejala tersebut menunjukkan tinggi rendahnya tingkat sensitivitas tanaman terhadap serangan virus

Tingkat keparahan penyakit menunjukkan seberapa parah efek fenotipik penyakit kuning pada tanaman akibat serangan virus. Semakin besar tingkat keparahan yang dialami tanaman, maka semakin tinggi pula aktivitas virus dalam sel tanaman sehingga semakin merugikan tanaman tersebut. Tingginya aktivitas virus pada tanaman dapat mengganggu proses fisiologis tanaman, yaitu menurunnya metabolisme tanaman yang dapat menyebabkan dampak buruk bagi tanaman, contohnya tanaman akan menjadi kerdil. Gejala yang ditimbulkan, seperti munculnya mozaik kuning, pembersihan pada jaringan vena daun akibat adanya induksi protein tertentu dari DNA virus hingga menyebabkan kerusakan kloroplas tanaman dan mengganggu proses fotosintesis (Bhattacharyya dkk., 2015). Terganggunya mekanisme fisiologis tanaman menyebabkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman terhambat, sehingga berdampak terhadap produksi.

SIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terdapat beberapa kelompok katagori ketahanan yang berbeda terhadap beberapa genotipe yang diuji. Terdapat genotipe yang tahan, yaitu G14, hingga genotipe yang berada dalam katagori sangat rentan, yaitu G3, G5, G6, G9, G10. Fenomena yang sangat penting juga dapat dilihat dari hasil pengamatan di lapangan, bahwa terdapat satu genotipe yang menunjukkan adanya mekanisme pemulihan kembali setelah terjadi infeksi virus ke sel tanaman (G2). Hal ini diduga karena adanya peran berbagai faktor, baik internal maupun eksternal dari tanaman, di antaranya yaitu adanya peran asam jasmonik dan asam salisilat yang diketahui berperan dalam mekanisme pertahanan dan resistensi tanaman, kemungkinan adanya *silencing* RNA virus dan penyerapan nutrisi yang optimal dari kegiatan perawatan yang optimal pada tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, D., Gnanasekaran, P., Kumar, R. K., Kushwaha, N. K., Sharma, V. K., Yusuf, M. A., & Chakraborty, S. (2015). A geminivirus betasatellite damages the structural and functional integrity of chloroplasts leading to symptom formation and inhibition of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 66(19), 5881–5895. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv299>
- Chiang, K. S., Liu, H. I., & Bock, C. H. (2017). A discussion on disease severity index values. Part I: warning on inherent errors and suggestions to maximise accuracy. *Annals of Applied Biology*, 171(2), 139–154. <https://doi.org/10.1111/aab.12362>
- Ganefianti, D. W., Hidayat, S. H., & Syukur, M. (2017). Susceptible Phase of Chili Pepper Due to Yellow Leaf Curl Begomovirus Infection. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(2), 594. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.2.1872>
- Ghoshal, B., & Sanfaçon, H. (2015). Symptom recovery in virus-infected plants: Revisiting the role of RNA silencing mechanisms. *Virology*, 479–480, 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2015.01.008>
- Hou, S., & Tsuda, K. (2022). Salicylic acid and jasmonic acid crosstalk in plant immunity. *Essays in Biochemistry*, 66(5), 647–656. <https://doi.org/10.1042/EBC20210090>
- Inoue-Nagata, A. K., Lima, M. F., & Gilbertson, R. L. (2016). A review of geminivirus diseases in vegetables and other crops in Brazil: current status and approaches for management. *Horticultura Brasileira*, 34(1), 8–18. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100002>
- Latournerie-Moreno, L., Ic-Caamal, A., Ruiz-Sánchez, E., Ballina-Gómez, H., Islas-Flores, I., Chan-Cupul, W., & González-Mendoza, D. (2015). Survival of Bemisia tabaci and activity of plant defense-related enzymes in genotypes of Capsicum annuum L. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(1), 71–77. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000100010>
- Lin, S.-S., Henriques, R., Wu, H.-W., Niu, Q.-W., Yeh, S.-D., & Chua, N.-H. (2007). Strategies and mechanisms of plant virus resistance. *Plant Biotechnology Reports*, 1(3), 125–134. <https://doi.org/10.1007/s11816-007-0021-8>
- Ofori, A. D., Su, W., Zheng, T., Datsomor, O., Titriku, J. K., Xiang, X., Kandhro, A. G., Ahmed, M. I., Mawuli, E. W., Awuah, R. T., & Zheng, A. (2025). Jasmonic Acid (JA) Signaling Pathway in Rice Defense Against Chilo suppressalis Infestation. *Rice*, 18(1), 1939–8433. <https://doi.org/10.1186/s12284-025-00761-z>
- Plotnikov, K., Ryabinina, V., Khodakova, A., & Blazhko, N. (2020). Viral Load Distribution of Cucumber Green Mottle Mosaic Virus in Leaves. *Proceedings of the International Scientific Conference The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019)*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.171>
- Prakash, V., Sharma, V., Devendran, R., Prajapati, R., Ahmad, B., & Kumar, R. (2024). A transition from enemies to allies: how viruses improve drought resilience in plants. *Stress Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00172-y>
- Sandra, Y. M. A., Maharijaya, A., & Sobir. (2022). Screening of resistance to geminivirus and whitefly in pepper. *Euphytica*, 218(11), 155. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03109-6>

- Sukada, I. W., Sudana, I. M., Nyana, I. D. N., Suastika, G., & Siadi, K. (2014). Pengaruh infeksi beberapa jenis virus terhadap penurunan hasil pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *J. Agroekoteknologi Trop.*, 3(3), 158–165. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Vanderschuren, H., Stupak, M., Fütterer, J., Gruissem, W., & Zhang, P. (2007). Engineering resistance to geminiviruses – review and perspectives. *Plant Biotechnology Journal*, 5(2), 207–220. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2006.00217.x>
- Zhang, J., Ma, M., Liu, Y., & Ismayil, A. (2023). Plant Defense and Viral Counter-Defense during Plant–Geminivirus Interactions. *Viruses*, 15(2), 510. <https://doi.org/10.3390/v15020510>