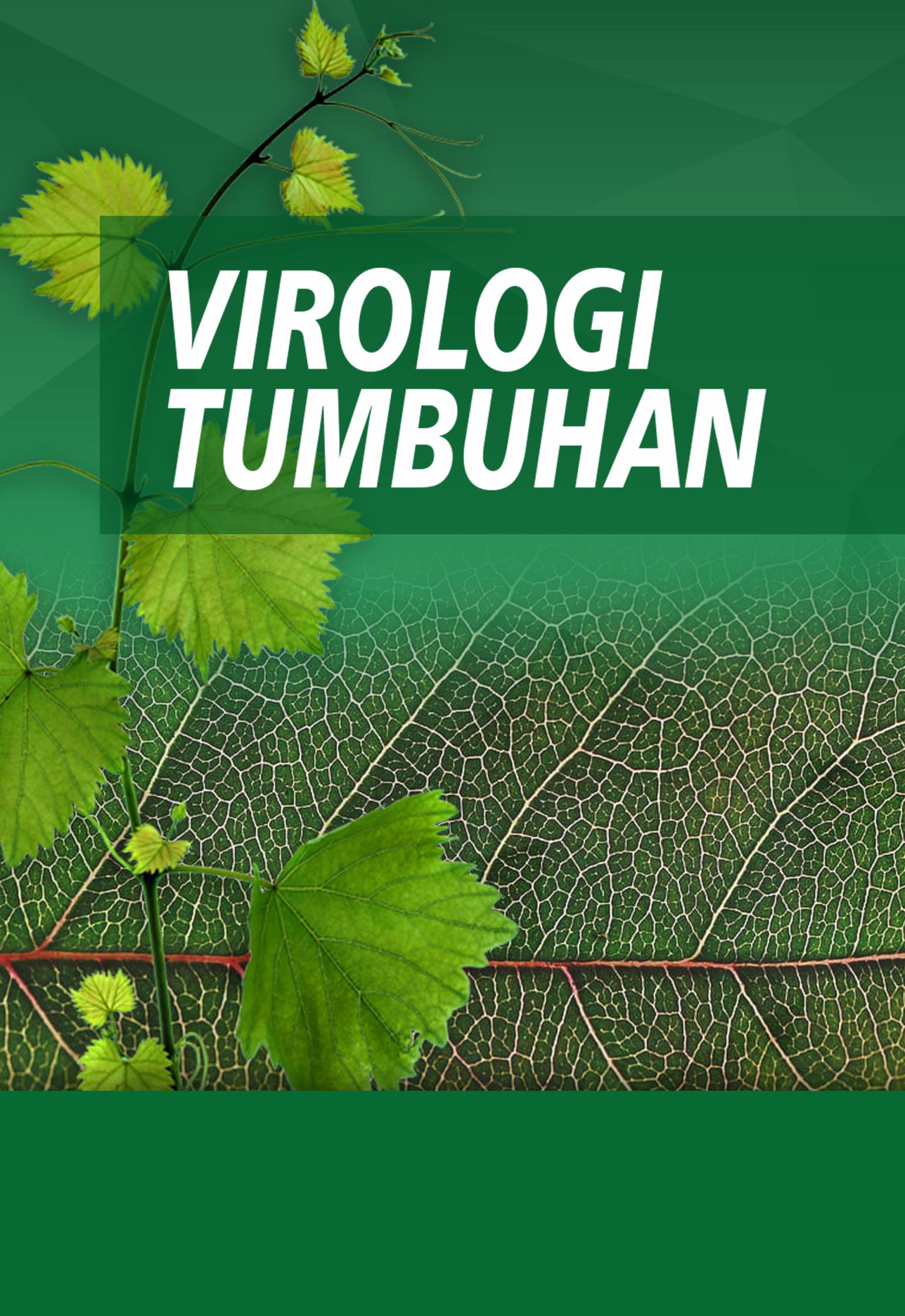




VIROLOGI TUMBUHAN

Arsi • Rizal Andi Syabana • Supyani
Dwiwiyati Nurul Septariani • Ryan Budi Setiawan
Tita Widjayanti • Tili Karenina • Junairiah

The image features a vibrant green background. On the left side, a thin, dark green vine with several bright green, serrated leaves extends upwards. The leaves have a prominent vein structure. The right side of the image is dominated by a close-up, high-contrast view of a leaf's venation, showing a complex network of light-colored veins against a darker green background. The overall composition is clean and botanical.

VIROLOGI TUMBUHAN

UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Virologi Tumbuhan

Arsi, Rizal Andi Syabana, Supyani
Dwiwiyati Nurul Septariani, Ryan Budi Setiawan
Tita Widjayanti, Tili Karenina, Junairiah



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Virologi Tumbuhan

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2022

Penulis:

Arsi, Rizal Andi Syabana, Supyani
Dwiwiyati Nurul Septariani, Ryan Budi Setiawan
Tita Widjayanti, Tili Karenina, Junairiah

Editor: Matias Julyus Fika Sirait & Janner Simarmata

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Arsi., dkk.

Virologi Tumbuhan

Yayasan Kita Menulis, 2022

xii; 106 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-539-1

Cetakan 1, Juli 2022

- I. Virologi Tumbuhan
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur atas Rahmat dan Karunia yang Engkau berikan kepada kami Ya Allah yang telah memberikan kelancaran dalam menulis buku Virologi. Kesehatan dan keselamatan yang diberikan menjadikan kami para penulis dapat menyelesaikan buku ini dengan baik. Akan tetapi dalam menulis buku ini kami hanya manusia yang tidak pernah luput dari kesalahan baik disengaja maupun tidak disengaja. Banyak aspek yang perlu kami pelajari baik kesalahan dalam Teknik penulisan, Bahasa yang masih belum tepat dan penggunaan kata yang belum sempurna. Para penulis juga mengharapkan buku ini dapat dijadikan sebagai sumber ilmu yang berguna bagi pembaca dan khususnya bagi kami para penulis.

Buku ini membahas tentang :

Bab 1 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

Bab 2 Tatanama Virus Tumbuhan

Bab 3 Pengenalan Gejala

Bab 4 Penularan dan Penyebaran Virus

Bab 5 Pengendalian Penyakit Tumbuhan yang disebabkan Virus

Bab 6 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

Bab 7 Ekologi dan Epidemiologi Virus

Bab 8 Dasar-Dasar Diagnosis Virus Tumbuhan

Buku virologi ini mudah-mudahan dapat menambah wawasan bagi pembaca mengenai virus yang menyerang saat ini. Perkembangan

teknologi dapat memberikan kontribusi dalam melakukan identifikasi perkembangan virus dari masa ke masa.

Para penulis sangat mengharapkan masukan dan kritik untuk penyempurnaan buku. Masukan dan kritikan yang bersifat membangun dan menyempurnakan buku ini sangat bermanfaat bagi para penulis untuk menulis lebih baik lagi kedepannya. Dengan adanya buku ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca untuk penerus bangsa

Walaikusalam Wr. Wr.

Palembang, 20 Juni 2022

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel.....	xi

Bab 1 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Sejarah Penemuan Virus.....	4
1.3 Arti Penting Virus.....	16

Bab 2 Tatanama Virus Tumbuhan

2.1 Pendahuluan.....	17
2.2 Sejarah Penamaan dan Klasifikasi Virus.....	18
2.3 Sistem Universal untuk Penamaan Virus	21
2.4 Konsep Spesies pada Virus Tumbuhan	22

Bab 3 Pengenalan Gejala

3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Respon Tanaman Terhadap Infeksi Virus	28
3.3 Pengelompokan Gejala	29
3.3.1 Gejala Lokal	30
3.3.2 Gejala Sistemik	30
3.3.3 Berbagai Agens Yang Menginduksi Gejala Mirip Virus	32
3.3.4 Gejala (Perubahan) Histologis	34
3.3.5 Gejala (Perubahan) Sitologis.....	35

Bab 4 Penularan dan Penyebaran Virus

4.1 Pendahuluan.....	39
4.2 Perpindahan Virus dalam Floem.....	40
4.3 Penularan Virus melalui Vector	41
4.3.1 Penularan Virus non Sirkulatif.....	43
4.3.2 Penularan Virus Sirkulatif	45
4.3.3 Penularan Virus Sirkulatif Propagative	45
4.4 Peran Manusia dalam Penyebaran Virus	46

Bab 5 Pengendalian Penyakit Tumbuhan yang disebabkan Virus

5.1 Pendahuluan.....	49
5.2 Virus Utama pada Tanaman Budidaya.....	50
5.3 Metode Pengendalian Penyakit Akibat Virus	54

Bab 6 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

6.1 Pendahuluan.....	61
6.2 Komponen Replikasi Virus	62
6.3 Tahapan Replikasi Virus.....	64

Bab 7 Ekologi dan Epidemiologi Virus

7.1 Pendahuluan.....	71
7.2 Ekologi Virus Tanaman	72
7.2.1 Keanekaragaman Virus Tanaman.....	72
7.2.2 Ekologi Vektor Serangga	73
7.2.3 Ekologi Virus di Tumbuhan Liar	74
7.2.4 Ekologi Virus Tular Tanah.....	75
7.2.5 Faktor Iklim yang Memengaruhi Ekologi Virus Tanaman.....	77
7.3 Epidemiologi Virus Tanaman	77
7.3.1 Tingkat Keparahan Penyakit.....	78
7.3.2 Kisaran Inang	79

Bab 8 Dasar-Dasar Diagnosis Virus Tumbuhan

8.1 Pendahuluan.....	83
8.2 Deteksi Virus pada Tanaman Nilam.....	85
8.3 Deteksi Virus pada Tanaman Gamal	86
8.4 Deteksi Virus pada Tanaman Mentimun.....	87
8.5 Deteksi Virus pada Tanaman Tebu.....	88
8.6 Deteksi Virus pada Tanaman Tomat.....	90
8.7 Deteksi Virus pada Tanaman Cabai Merah.....	91
8.8 Deteksi Virus pada Tanaman Kentang	92

Daftar Pustaka	95
Biodata Penulis	103

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Tanaman cabai yang terserang virus	2
Gambar 1.2: Arthropoda sebagai vektor penyakit virus	3
Gambar 2.1: Famili dan genus virus yang menyerang tumbuhan	25
Gambar 3.1: Daun tembakau yang menampakkan gejala mosaik setelah diinokulasi secara mekanik dengan isolat tunggal dari virus yang diisolasi dari daun tembakau sakit mosaik di lapangan.	36
Gambar 3.2: Gejala bercak lokal klorotik. Hasil inokulasi mekanik dengan sap daun kacang panjang bergejala mosaik pada <i>C. amaranticolor</i> . ..	36
Gambar 3.3: Gejala penyakit kuning pada kacang panjang di lapangan. Sumber: Dokumentasi pribadi.....	37
Gambar 3.4: Variasi gejala kuning pada daun kacang panjang yang terinfeksi Begomovirus (Mungbean yellow mosaic virus). Daun kelihatan berwarna kuning mencolok (mosaik kuning), melengkung (cupping), dan kerdil.	37
Gambar 4.1: Perpindahan virus antar sel dan perpindahan jarak jauh di dalam jaringan tanaman.....	40
Gambar 4.2: Lokasi virus dalam tubuh serangga vector.....	44
Gambar 5.1: Skema produksi bibit bebas virus secara invitro	57
Gambar 5.2: Ilustrasi ketahanan terhadap virus melalui genom editing menggunakan CRISPR	59
Gambar 6.1: Struktur Komponen Sel pada Replikasi Virus.....	63
Gambar 6.2: Tahapan Reproduksi Virus pada Tumbuhan.....	65
Gambar 6.3: Mekanisme penyebaran virus pada tanaman.....	69
Gambar 7.1: Asal-usul virus tanaman.....	73
Gambar 7.2: Berbagai aspek segitiga penyakit tanaman. (A) Tidak ada faktor pendukung, (B) Patogen virulen ada tapi dua faktor lainnya tidak ada, (C) Ada inang yang rentan tetapi tidak ada patogen dan lingkungan yang mendukung, (D) Hanya lingkungan yang menguntungkan yang berlaku tetapi dua faktor lainnya tidak ada, (E) Ketiga faktor yaitu patogen virulen, kultivar tanaman rentan dan lingkungan yang kondusif ada pada saat yang bersamaan.....	78

Gambar 7.3: Mekanisme penularan virus pada tanaman oleh vektor serangga80

Daftar Tabel

Tabel 1.1: Sejarah penemuan virus	5
Tabel 2.1: Deskripsi famili virus dalam taxonomi virus.....	23
Tabel 4.1: Virus, vektor, dan strategi penularannya.....	41
Tabel 4.2: Metode penularan oleh serangga tipe mulut penusuk penghisap	46
Tabel 5.1: Virus pada beberapa komoditas tanaman utama	52
Tabel 7.1: Beberapa mode penularan virus oleh serangga	74
Tabel 7.2: Interaksi vektor dan virus tular tanah	75

Bab 1

Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

1.1 Pendahuluan

Virus merupakan makhluk hidup yang sangat kecil yang dapat berkembang dan tumbuh pada sel yang hidup. Jadi virus tidak bisa memperbanyak diri tanpa adanya makhluk hidup yang ditumpanginya. Virus tidak memiliki suatu kelengkapan seluler dalam memperbanyak diri pada virus tersebut. Virus memiliki suatu alat pelindung berupa lapisan protein atau dikenal dengan kapsid. Lapisan pelindung yang terdapat pada virus membungkus molekul asam nukleat dan DNA atau RNA saja. Virus memiliki jaringan yang merupakan suatu jaringan yang dapat menyampaikan informasi suatu genetik pada virus. Virus juga dapat melakukan perbanyakan atau melakukan replikasi pada makhluk hidup yang ditumpanginya. Virus dapat memperbanyakkan diri apabila berada di dalam makhluk hidup, akan tetapi akan membentuk kristal apabila berada di dalam sel yang mati atau benda mati. Virus yang memperbanyak diri pada makhluk hidup sehingga makhluk hidup tersebut dapat tertular virus. Virus merupakan suatu mikroorganisme yang memiliki ukuran yang sangat kecil sekali. Untuk mendapatkan suatu gambaran mengenai virus diperlukan alat bantuan seperti mikroskop elektron. Sehingga virus tidak bisa dapat dilihat secara langsung, akan tetapi gejala yang

ditimbulkan oleh virus dapat kita lihat pada tanaman yang terserang. Tanaman-tanaman yang terserang oleh virus dapat menimbulkan gejala yang khas, hal ini dikarenakan adanya perubahan-perubahan yang terjadi pada tanaman tersebut. Virus dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop cahaya. Virus pada tanaman dapat dilihat dengan secara langsung gejala yang ditimbulkan oleh virus. Tanaman yang terserang virus dapat disebabkan oleh adanya vektor serangga yang menularkan penyakit pada tanaman tersebut. Serangga vektor yang menyebabkan gejala penyakit virus pada tanaman memiliki alat mulut menusuk menghisap atau haustelata. Akan tetapi, virus yang menyerang tanaman tergantung adanya luka atau serangga vektor yang membantu dalam proses infeksi pada tanaman tersebut. Virus yang menyerang tanaman dapat menyebabkan kerugian secara besar, karena virus dapat menyebabkan gagalnya produksi pada tanaman. Virus memiliki jumlah yang banyak sekali yang dapat menyebabkan penyakit. Virus yang menyebabkan penyakit pada tanaman banyak ditemukan pada tanaman pangan dan tanaman hortikultura. Virus yang menyerang melalui serangga vektor memiliki gejala yang ditimbulkan berbeda-beda tergantung dari serangga yang menularkan penyakit ke tanaman. Virus memiliki kemampuan untuk melakukan perbanyakkan diri. Akan tetapi virus tidak memiliki struktur-struktur seperti makhluk hidup (Aji et al., 2015; Angraini, 2018; Marwoto & Inayati, 2015; Narendra et al., 2017; Yuliani et al., 2006).



Gambar 1.1: Tanaman cabai yang terserang virus (Arsi, 2021)

Virus yang mengalami arti yang berbeda, hal ini dikarenakan adanya pengaruh identifikasi dalam teknologi dan biomolekuler dalam melakukan identifikasi virus. Selain itu, dapat dipengaruhi sifat kimia dan fisik terhadap virus tersebut. Virus dapat diartikan sebagai suatu patogen yang dapat menimbulkan penyakit pada tanaman yang dapat ditularkan melalui goresan-goresan dan serangga vektor. Virus dalam perkembangbiakannya menggunakan ribosom dan sel-sel tanaman inang yang ditumpanginya, hal ini dikarenakan virus merupakan pathogen yang bersifat parasit yang obligat. Di mana virus tidak akan berkembang atau melakukan replikasi tanpa adanya inang sebagai tempat hidup. Jadi parasit obligat merupakan suatu jenis parasit yang tidak dapat hidup di dalam sel yang hidup, jika berada di dalam sel yang mati maka parasit tidak bisa melakukan replikasi. Virus memiliki bentuknya bervariasi yang menyerang tanaman. Virus ada yang berbentuk bulat seperti bola atau isometri, virus ada yang berbentuk batang, virus yang bentuk batang yang lentur, ada yang berbentuk benang dan ada yang berbentuk peluru serta ada yang berbentuk gemini atau kembang. Gejala serangan virus pada tanaman dapat berbeda tergantung dari serangga vektor yang menyerang tanaman (Sari et al., 2020, 2020).



Gambar 1.2: Arthropoda sebagai vektor penyakit virus (Arsi, 2021)

Serangga dapat berperan dalam menularkan virus pada tanaman, serangga yang melakukan penularan virus ke tanaman seperti, kutu daun (*Aphid gossypii*), Kutu kebul (*Bemisia tabacai*), kutu daun (*Myzus persiceii*), Kutu pisang (*Pentaloni nigronervosa*), Kutu yang menyerang daun tanaman jeruk dan daun mawar (*Aleurocanthus spiniferus*), Kutu yang menyerang daun kelapa (*Aleurodicus destructor* Mask), Kutu daun pada tanaman tebu (*Oregma lanigera* Zehntn), Kutu sisik yang menyerang tanaman kopi dan tanaman cengkeh (*Coccus viridis*) dan kutu dompolan (*Pseudococcus citri* Risso), Wereng coklat (*Nilavarpata lugens*), Wereng hijau (*Nephotettix virescens*) yang menyebabkan penyakit tungro pada tanaman padi (Anggraini, 2018; Maharani et al., 2018; Sari et al., 2020, 2020). (Rahayu et al., 2017; Riyanto, 2016; Subagyo et al., 2015; Sudewi et al., 2020)

1.2 Sejarah Penemuan Virus

Virus merupakan makhluk hidup yang sangat kecil yang dapat menyebabkan sakit pada makhluk hidup yang lainnya. Virus menginfeksi inang yang dapat menyebabkan inangnya mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang tidak normal. Virus yang menyerang hewan yaitu, virus rabies (RABV), *Avian influenza* (AI) atau dikenal dengan flu burung yang disebabkan oleh AI jenis H5N1, virus arbo yang menyerang domba yang tergolong ke dalam genus arbovirus dan virus JE yang menyerang ternak babi. Virus yang menyerang tanaman seperti, tanaman lada, tanaman tembakau dan tanaman terong yang menyerang tanaman tersebut adalah virus *Tobacco Mosaic virus* (TMV), virus yang menyerang tanaman bit, tanaman selada, tanaman bayam, tanaman seledri, tanaman melon, tanaman paprika, tanaman tomat, tanaman wortel dan tanaman kacang-kacangan, tanaman tersebut dapat diserang oleh virus *Cucumber Mosaic Virus* (CMV). Virus yang menyerang tanaman tersebut dapat ditularkan oleh jenis kutu-kutuan dan tali putri, virus yang menyerang tanaman kentang yaitu, Potato virus Y, virus yang menyerang tanaman padi yaitu, virus RTBV (Rice Tungro Bacilliform Virus) yang ditularkan oleh serangga hama wereng hijau (*Nephotettix virescens*) (Fürstenberg-hägg et al., 2013; Taylor et al., 2007; Underwood, 2015; Velzen & Etienne, 2015)

Louis Pasteur merupakan seorang ilmuwan yang melakukan penelitian tentang virus. Penelitian yang dilakukan Louis Pasteur dan tim mengidentifikasi virus pada tahun 1857. Pada tahun tersebut berhasil mengidentifikasi fermentasi

mikroba secara khusus. Setelah itu mereka melanjutkan penelitian mengenai penyakit yang menyebabkan sakit pada ulat sutera. Tahun 1857 tim Louis Pasteur juga melakukan penelitian tentang penyakit rabies. Pada tahun 1885 berhasil mengembangkan vaksin rabies, kemudian vaksin tersebut disuntikan kepada orang yang tergigit oleh anjing. Sejak saat itu hal ini dijadikan langkah awal dalam proses pengembangan vaksin selanjutnya, vaksin ini merupakan virus yang dilemahkan.

Penelitian mengenai virus terus dilakukan dengan berbagai macam-macam objek. Peneliti dari Rusia yang bernama Dmitri Losifovich Ivanovsky dan Peneliti dari Belanda Martinus Beijerinck pada tahun 1898 berhasil menemukan sebuah bahan yang menyebabkan penyakit pada tanaman tembakau. Kedua peneliti tersebut berhasil melakukan pengidentifikasi pertama virus yang menyebabkan sakit pada tanaman tembakau. Virus yang menyerang tanaman tembakau ditemukan yaitu Tobacco Mosaic Virus. Peneliti dari Jerman yang bernama Friedrich Loeffler dan Paul Frosch berhasil menemukan virus yang menyerang hewan. Virus tersebut merupakan virus yang berhasil diidentifikasi pada hewan ternak. Hewan ternak yang terserang pada bagian mulut dan kaki hewan ternak tersebut (Hapsani & Basri, 2008; Kang et al., 2005; Sainsbury et al., n.d.; Saleh, 2003). Virus merupakan mikroorganisme yang memiliki ukuran yang sangat kecil yang tidak dapat dilihat secara langsung. Virus berbeda dengan mikroorganisme yang lain seperti, jamur dan bakteri yang dapat ditumbuhkan pada media. Dengan adanya mikroskop elektron pada pertengahan tahun 1930 berhasil mengamati virus secara visual. Penelitian mengenai virus terus berkembang sampai saat, hal ini dikarenakan semakin berkembang zaman dan teknologi yang ada. Peneliti mengenai virus berkembang dari tahun-ketahun (Tabel 1.1.) (Burrell, 2016)

Tabel 1.1: Sejarah penemuan virus (Burrell, 2016)

No.	Peneliti/Penemu	Hasil penelitian/penemuan	Tahun
1.	E. Janner	Melakukan penelitian terhadap hewan ternak yaitu, sapi yang menyebabkan penyakit cacar sapi yang diaplikasikan virus cacar sapi, kemudian menemukan	1796

		vaksin virus cacar	
2.	Louis Pasteur	Berhasil mengembangkan vaksin rabies, yang merupakan penyakit yang disebabkan oleh ajing, kucing dan hewan lainnya	1885
3.	Martinus Beijerinck dan Dmitri Losifovich Ivanovsky	Berhasil mengidentifikasi virus tobacco mosaik	1892
4.	P. Frosch dan F. Loeffler	Berhasil membuktikan dengan jelas penyakit virus, penemuan penyakit virus pada hewan ternak yang menyerang kaki dan mulut	1898
5.	Giuseppe Sanarelli	Berhasil menemukan virus mixsoma	1898
6.	J. Carrol, W. Reed, J. Lazear, Agramonte dan C Finalay	Penyebaran penyakit ini disebabkan oleh vektor nyamuk yang berhasil ditemukan dengan nama virus demam kuning atau yellow fever virus	1900
7.	Riffat-Bay, M. Remlinger dan A di Vestea	Berhasil mengidentifikasi penyakit virus rabies yang ditularkan oleh hewan	1903
8.	P. Ashburn dan C. Craig	Berhasil mengidentifikasi virus demam berdarah yang disebabkan oleh serangga sebagai vektor	1907
9.	E. Popper dan K.	Berhasil menemukan virus	1909

	Landsteiner	polio yang menyerang manusia	
10.	Peyton Rous*	Berhasil menemukan virus penyebab tumor pada ungags	1911
11.	Joseph Goldberger dan John F. Anderson	Virus campak yang menyerang manusia	1911
12.	F. Twort dan F d'Herelle	Menemukan Bakteriofag	1915
13.		Terjadi Virus influenza seluruh dunia	1918
14.	A. Lowenstein	Menemukan virus herpes simpleks	1919
15.	K. Meyer, C. Haring dan B. Howitt	Menemukan virus Western Equine Encephalitis	1930
16.	M. Theiler	Meneliti virus demam kuning atau yellow fever virus yang direndam dan mengembangkan vaksin	1931
17.	C. Andrews, P. Laidlaw dan W. Smith	Melakukan uji dengan cara mengisola virus influenza dari manusia ke hewan yaitu, musang	1933
18.	R. Muckenfuss, C. Armstrong, H. McCordock, L. Webster dan G. Fite	Berhasil menemukan virus St. Louis encephalitis	1933

19.	C. Johnson dan E. Goodpasture	Berhasil menemukan penyebab penyakit gondok yaitu, virus gondok	1934
20.	M. Hayashi, S. Kasahara, R. Kawamura dan T. Taniguchi	Berhasil menemukan virus dengan nama virus Japanese encephalitis	1934
21.	W. Stanley	Berhasil menemukan virus dengan nama virus Choriomeninghitis limposit	1935
22.	C. Armstrong, T. Rivers dan E. Traub	Berhasil menemukan virus yang dapat menyebabkan penebalan tulang dengan nama virus encephalitis	1936
23.	L. Zilber, M. Chumakov, N. Seitlenok dan E. Levkovich	Menggunakan mikroskop electron untuk mengidentifikasi virus yaitu, virus ectromelia dan vaccinia	1937
24.	B. von Borries, H. Ruska dan E. Ruska	Melakukan suatu penelitian dalam mengembangkan kurva satu tahap pada pertumbuhan bakteriofag	1938
25.	E. Ellis dan M. Delbruck	Berhasil menemukan virus West Neil	1939
26.	G. Hirst	Berhasil menemukan agglutinasi sel darah merah yang berasal dari virus influenza	1940
27.	M. Chimakov, G. Courtois dan tim	Menemukan virus demam berdarah yaitu, Crimean-Congo	1945

28.	G. Dalldorf dan G. Sickles	Menemukan virus Coxsackie	1948
29.	J. Enders*, T. Weller dan F. Robbins*	Melakukan penelitian dengan cara metode kultur sel untuk membuat vaksin polio dan campak, selain itu juga berkembang juga vaksin-vaksin lainnya	
30.	L. Florio, M. Miller dan E. Mugrage	Menemukan virus demam kutu Colorado	1950
31.	R. Dulbecco dan M. Vogt	Melakukan penelitian mengenai uji plak dalam mengembangkan virus hewan, virus polio dan virus Western equine encephalitis	1952
32.	W. Rowe	Berhasil menemukan virus pada manusia yaitu, endovirus manusia (Human adenovirus)	1953
33.	J. Salk, J. Youngner dan T. Francis	Virus yang non aktif yang dikembangkan untuk vaksin polio	1954
34.	J. Lederberg*	Menemukan bakteri yang menghasilkan material genetic dan genetika rekombinan	1958
35.	A. Sabin, H. Cox dan H. Koprowski	Menemukan virus yang dilemahkan untuk vaksin polio	1959
36.	A. Lwoff, R. Horne dan P.	Melakukan pengelompokan virus	1962

	Tournier	berdasarkan dari karateristi virion virus tersebut	
37.	M. Epstein, B. Achong dan Y. Barr	Menemukan penyakit Kanker Imfoma Burkitt yang memiliki hubungan dengan virus Epstein-Barr	1964
38.	D. Tyrrell, M. Bynoe dan J. Almeida	Virus corona yang menyerang manusia	1965
39.	J F. Jacob, A. Lwoff* dan J. Monod	Sintesis virus dan control genetic enzim	1965
40.	B. Blumberg* dan H. Alter, A	Antigen Australia dan penerapannya untuk penyakit Hepatitis B	1967
41.	M. Delbruck*, A. Hershey* dan S. Luria	Menemukan hubungan mekanisme perkembangan dan struktur genetic dari virus	1969
42.	H. Temin*, D. Baltimore*, R. Dulbecco	Menemukan hubungan interaksi antara virus tumor dan Material genetic sel yang transkripsi balik	1970
43.	A. Kapikian dan Colleagues	Menemukan virus Norwalk	1972
44.	R. Bishop, G. Davidson, I. Holmes, T. Flewett dan A. Kapikian	Menemukan Human rotavirus	1973
45.	S. Feinstone, A. Kapikian dan R.	Virus penyebab hepatitis A	1973

	Purcell		
46.	Y. Cossart, A. Field, A. Cant dan D. Widdows	Menemukan virus parvo B-19 dan golongannya terhadap suatu krisis aplastic pada penyakit anemia hemolitik	1975
47.	P. Sharp*, L. Chow, R. Roberts* dan T. Broker	Menemukan bagaimana cara gen penyambung dan pemisahan RNA atau Adenovirus	1975
48.	D. C. Gajdusek*	Menemukan penyakit yang menular yaitu, Encephalopathy spongiform	1976
49.	K. Johnson, P. Webb, J. Lange, F. Murphy, S. Pattyn, W. Jacob dan G. Van der Groen serta P. Piot, E. Bowen, G. Platt, G. Lloyd, A. Baskerville, D. Simpson	Menemukan virus ebola	1976
50.	J. Bishop* dan H. Varmus*	Berhasil menemukan seluler yang berasal dari retrovirus onkogenik	1976
51.	D. Henderson, F. Fenner, I. Arita dan Tim	Melakukan pengendalian secara global penyebab penyakit virus cacar	1977
52.	D. Nathans*, W. Arber*, dan H. Smith	Menemukan enzim restriksi dan aplikasi untuk mengatasi masalah genetika molecular	1978

54.	S. Harrison, M. Rossman, N. Olson, R. Kuhn, T. Baker, J. Hogle, M. Chow, R. Rueckert dan J. Johnson	Menemukan struktur atomik virus yaitu, tomato bushy stunt virus, virus polio dan rhinovirus	1978
55.	P. Berg*	Melakukan pengembangan rekombinan-DNA	1980
56.	R. Gallo, B. Poiesz, M. Yoshida, I. Miyoshi dan Y. Hinuma	Menemukan virus limfosit T pada manusia atau Human lymphocytes virus dengan tipe 1 dan tipe 2	1980
57.	V. Racaniello dan D. Baltimore	Melakukan pengembangan rekombinan cloning virus polio yang menular	1981
58.	S. Prusiner*	Melakukan konsep partikel protein atau prion dan peran etiologi pada encephalopatis spongiform	1982
59.	A. Klug*	Menggunakan mikroskop electron kristalografi dan elusidasi struktur asam nukleat-protein kompleks	1982
60.	F. Barre-Sinoussi*, L. Montagnier* dan J. Chermann	Menemukan Human Immunodeficiency Virus yaitu, HIV	1983
61.	M. Balayan	Menemukan suatu virus hepatitis E dan transmisi	1983

62.	F. Barin, F. Clavel, M. Essex, P. Kanki dan F. Brun-Vezinet	Menemukan Human Immunodeficiency Virus 2 atau HIV 2	1985
63.	G. Hitchings* dan G. Elion*	Langka-langka yang paling prinsip dalam menggunakan obat anti virus acyclovir	1988
64.	M. Houghton, Q-L. Choo, G. Kuo, D. Bradley dan H. Alter	Menemukan Virus Hepatitis C	1989
65.	S. Nichol, C. Peters, P. Rollin dan T. Ksiazek	Menemukan virus Sin Nombre dan berhubungan dengan hantavirus sindrom kardiopulmonari	1993
66.	Y. Chang dan P. Moore	Berhasil menemukan virus herpes yang menyerang manusia 8-Kaposi sarcoma herpes	1994
67.	K. Murray, P. Hooper, A. Hyatt	Kelelawar buah yang ditemukan virus Hendra, kelelawar buah merupakan inang yang reservoir dari virus tersebut	1995
68.	P. Doherty* dan R. Zinkernagel	Menemukan spesivitas genetic sel dengan respon imun	1996
69.	R. Will, J. Ironside, J. Collinge dan Tim	Menemukan partikel protein atau prion spongiform ensefalopati sapi yang menyebabkan sapi terserang penyakit yang berjenis	1996

		Creutzfeldt-jakob pada manusia	
70.	K. Chua, S. Lam, W. Bellini, T. Ksiazek, B. Eaton dan Tim	Menemukan virus nipah	1999
71.	D. Asnis, M. Layton, W.L. Lipkin dan R. Lanciotti	Berhasil membuat virus Ekstensi jangkauan virus West Neil ke Amerika Utara	1999
72.	B. van den Hoogen, A. Osterhaus dan TIM	Menemukan virus Human metapneumo	2001
73.	C. Urbani, J. Peiris, S. Lai, L. Poon, G. Drosten, K. Stohr, A. Osterhaus, T. Ksiazek, D. Erdman, C. Golsmith, S. Zaki, J. Derisi dan Tim	Menemukan virus SARS	2003
74.	B. La Scola, D. Raoult dan TIM	Menemukan virus yang berukuran paling besar	2003
75.	J. Taubenberger, P. Palese, T. Tumpey, A. Garcia-Sastre dan TIM	Melakukan penelitian dengan cara mengsekuensing genom virus influenza 1918 dan melakukan rekonstruksi	2005
76.		Awal proses terjadinya	2005

		penyakit yang disebabkan oleh nyamuk yaitu penyakit chikungunya terjadi penyebar secara global	
77.	E. Leroy, J. Towner, R. Swanepoel dan TIM	Menemukan penyakit yang ditularkan oleh kelelawar yang merupakan vektor penular virus Ebola atau Marburg	2005
78.	T. Allander, D. Wang, Y Chang dan TIM	Human polyoma virus merupakan virus yang menyerang manusia tergolong dalam KI, WU dan MC	2007
79.	H. zur Hausen	Kanker serviks merupakan virus polyoma manusia	2008
80.	B. La Scola, D. Raoult dan TIM	Menemukan viropag Sputnik	2008
81.	W. Plowright dan the FOA Global Rinderpest Eradication Programme	Pemberantas penyakit yang menyerang hewan ternak khusus sapi dengan nama penyakit sampar sapi	2010
82.	B. Hoffmann, M. Beer, T. Mettenleiter dan TIM	Menemukan Virus Schmallenberg	2011
83.	A.M. Zaki, R. Fouchier dan W.I. Lipkin	Menemukan virus corona MERS atau MERS coronavirus	2012
84.		Awal epidemi terbesar	2014

		demam hemoragik (hemorrhagic fever) Ebola di Afrika Barat	
85.		Awal mulai epidemi virus Zika	2015
86.		Awal mulai infeksi virus SARS-CoV-2 penyebab penyakit covid-19 pada manusia	2019
87.		Pandemi global virus SARS- CoV-2 (Covid-19)	2020

1.3 Arti Penting Virus

Virus memiliki peranan masing-masing pada tanaman, ada yang merugikan ada yang menguntungkan bagi tanaman. Virus yang merugikan dapat menyebabkan tanaman menjadi sakit dan mati. Sehingga dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi tanaman. Tanaman yang terserang virus dapat menyebabkan tanaman tersebut mengalami pertumbuhan yang terhambat, bahkan tanaman tersebut tidak berbuah dan kerdil. Virus menyerang tanaman baik dalam bentuk benih maupun tanaman sudah tumbuh. Proses pengendalian virus perlu dilakukan dari awal sampai pasca panen. Virus dapat ditularkan melalui beberapa cara yaitu, melalui luka dan vektor serangga. Serangga yang dapat menularkan penyakit virus pada tanaman merupakan serangga yang memiliki tipe alat mulut menusuk menghisap. Sehingga dalam proses pengendaliannya serangga vektor lah yang harus dikendalikan untuk mengurangi dan mencegah penularan virus pada tanaman. Sedangkan virus yang menguntungkan dalam bidang pertanian yang bertindak sebagai entomopatogen. Virus tersebut dapat mengendalikan serangga-serangga yang merusak tanaman pertanian (Ompusunggu et al., 2015; Rosmini & Lasmini, 2010; Simanjuntak & Hartono, 2020).

Bab 2

Tatanama Virus Tumbuhan

2.1 Pendahuluan

Dalam proses penggolongan virus terdapat perdebatan tentang termasuk ke dalam makhluk hidup atau tidak karena virus memiliki struktur DNA atau RNA sebagaimana makhluk hidup namun tidak menunjukkan aktivitas lain seperti pernafasan seperti makhluk hidup. Perdebatan ini juga berlangsung dalam proses penamaan virus secara internasional. Pada awal kemunculannya, virus belum memiliki dasar taksonomi dalam penamaan dan klasifikasinya. Penggolongan dan penamaan yang biasa dilakukan pada hewan dan tumbuhan tidak bisa diterapkan pada virus karena beberapa kriteria yang tidak bisa diranking.

Penamaan dan klasifikasi virus penting dilakukan untuk proses identifikasi lebih lanjut terkait dengan gejala dan penanganan pada virus tertentu. Menurut soedarto (2010) dalam Suprobowati and Kurniati (2018), hal yang diperhatikan dalam penamaan dan penggolongan virus adalah (1) jenis asam nukleat dan enzim, (2) ukuran dan morfologi, (3) inang, (4) sifat patologis dan imunologinya, (5) metode penularan atau transmisi alami, dan (6) gejala yang ditimbulkan. Pada bab ini akan dijelaskan proses tatanama atau taksonomi pada virus mulai dari sejarah hingga konsensus yang dipakai sepakati secara internasional hingga saat ini.

2.2 Sejarah Penamaan dan Klasifikasi Virus

Manusia perlu melakukan klasifikasi pada setiap makhluk hidup termasuk virus. Sebagaimana tercantum dalam sistem biologi, klasifikasi pada virus merupakan penelitian yang masih belum sempurna dan masih terbatas pada perkiraan. Seperti sistem klasifikasi lain, klasifikasi merupakan buatan manusia dan bukan merupakan kebenaran mutlak, namun para peneliti sepakat untuk membuat aturan yang secara akademik dapat diterima dan disepakati bersama, terstruktur and tersistematis serta memiliki standar yang jelas berdasarkan kemiripan karakteristik pada sebuah populasi. Namun patut disayangkan taksonomi pada virus tidak memiliki rekam sejarah yang panjang sehingga penamaan yang terjadi sekarang bersifat spekulatif. Hal ini yang menjadikan taksonomi pada virus menjadi diskusi yang tidak pernah mati dan pembahasannya sangat sensitive dan selalu menjadi isu penting.

Klasifikasi pada virus merupakan hal yang relatif baru karena bukti pertama virus baru ditemukan tahun 1898 oleh Beijerinck. Tiga puluh tahun kemudian, seorang virologis tumbuhan, Johnson (1927), memberikan gagasan tentang pentingnya memberikan sistem taksonomi dan klasifikasi pada virus (Claude M. Fauquet, 1999). Fase pertama dalam penamaan virus adalah menggunakan rentang kriteria ekologi dan biologi, termasuk objek serangan virus tersebut dan atua gejala yang timbul akibat serangan virus. Seperti disebutkan tentang virus yang menyebarkan penyakit hepatitis (seperti virus hepatitis A, virus hepatitis B, virus demam kuning, virus demam Rift Valley) dikategorikan dalam kelompok virus hepatitits. Sistem klasifikasi ini berkembang sangat signifikan, terbukti pada tahun 1939, Holmes telah mempublikasikan sistem klasifikasi virus berdasarkan reaksi inang dan spesies inang itu sendiri menggunakan sistem nomenklatur binomial-trinomial sesuai dengan tanaman yang terinfeksi virus. Namun cara ini belum terlalu efektif karena hanya bisa mengklasifikasikan 89 virus. Pada tahun 1950an, dengan bantuan mikroskop elektron, muncul pertama kali sistem klasifikasi virus berdasarkan pada kesamaan properti tubuh virus. Seperti penggolongan menjadi virus Herpes oleh Andrewes pada tahun 1954 dan Myxovirus pada tahun 1955. Fenner dan Burnet pada tahun 1957 juga mengklasifikasikan beberapa virus ke dalam kelompok virus cacar. Dalam periode ini muncul banyak laporan tentang virus baru yang ditemukan dan divalidasi oleh komunitas lokal yang tidak diakui

secara internasional. Sehingga menjadi penting untuk membentuk asosiasi internasional para virologis yang mengurus masalah klasifikasi virus sehingga ada aturan klasifikasi yang bersifat universal dan dapat diterima secara luas di seluruh dunia.

Pada tahun 1966 diadakan kongres internasional untuk mikrobiologi di Moskow, Rusia yang menghasilkan 43 virologis yang tergabung dalam *The International Committee on Nomenclature of Viruses* (ICNV) untuk mengurus perihal klasifikasi virus. Organisasi internasional ini dibentuk dengan tujuan menyusun dan mengembangkan sistem taksonomi dan nomenklatur untuk semua virus yang dapat diakui seluruh dunia. Pada tahun 1974, nama ICNV berubah menjadi ICTV yang merupakan kependekan dari *The International Committee on Taxonomy of Viruses* dan masih aktif hingga sekarang.

Sejak pembentukan ICTV, semua virologis sepakat bahwa semua virus yang sudah diisolasi dari berbagai organisme harus diklasifikasikan bersama dalam satu sistem yang unik dan komprehensif serta terpisah dari sistem klasifikasi organisme lain seperti bakteri dan jamur. Arah diskusi kemudian berlanjut ke dalam pembagian hierarki seperti subfilum, kelas, ordo, subordo dan famili. Hingga tahun 1990, belum ada klasifikasi hierarki yang lebih tinggi dari famili (Francki et al., 1991).

Ordo pertama adalah *Mononegavirales* yang diakui pada tahun 1990 dan dua ordo berikutnya yaitu *Caudovirales* dan *Nidovirales* yang diakui pada tahun 1996. Skema yang digunakan dalam klasifikasi ini tidak menggunakan struktur linneaus sehingga sedikit terlihat perbedaan dengan sistem taksonomi pada bakteri dan organisme lain. Selain itu, sistem ini telah terbukti berguna dan dapat diaplikasikan secara internasional sehingga berhasil menggugurkan sistem klasifikasi dan penamaan yang ada sebelumnya. Dengan adanya sistem ini yang sudah diakui dan dimandatkan oleh ICTV, maka sistem ini menjadi acuan taksonomi virus yang tidak bisa didisputasi oleh siapapun.

Pada pertemuan pertama di Mexico city tahun 1970, disepakati ada dua genera dan 24 “floating genera” untuk mengklasifikasikan virus yang menyerang vertebrata, invertebrata dan bakteri. Tepatnya 13 tahun kemudian, pada tahun 1983 baru muncul pengelompokan untuk virus yang menyerang tumbuhan oleh Matthews. Laporan ICTV ke lima (1991) memunculkan 40 famili, 9 subfamili, 102 genera, 2 subgenera dan 7 subgroup untuk virus tumbuhan. Jumlah ini terus berkembang setiap tahunnya, sehingga pada saat persmian

sistem klasifikasi virus yang universal (1998) terdapat 3 ordo, 56 famili, 9 subfamili, 203 genera dan memiliki total spesies sejumlah 3954. Hal ini membuktikan jumlah spesies virus yang ditemukan dan diidentifikasi semakin bertambah.

Sistem klasifikasi ini dinilai presisi dan tersedia gambaran yang menyeluruh untuk sejumlah besar virus famili sehingga sistem ini juga disematkan mampu menyediakan informasi penting untuk virus baru yang belum diketahui atau diidentifikasi. Maka dari itu, klasifikasi yang diusung oleh ICTV ini tidak hanya berguna bagi para virologis dalam melakukan taksonomi virus tetapi juga berguna di bidang pendidikan hingga medis dan epidemiologi.

Sesungguhnya ICTV ini berada di bawah payung *the International Union of Microbiological Societies* (IUMS) tepatnya di divisi virologi. ICTV merupakan organisasi non-profit yang terdiri dari ahli virus yang berkompeten dan merupakan perwakilan dari masing-masing negara di dunia untuk mendefinisikan dan mendisain sistem taxonomi virus yang lebih mudah dan bisa diterima secara internasional melalui sistem demokrasi. Struktur dalam ICTV ada komite, subkomite dan kelompok studi yang terdiri dari 492 ahli virus yang memiliki keahlian masing-masing di bidang virus manusia, hewan, tumbuhan, serangga, protozoa, archaea, bakteri, jamur, alga dan lain sebagainya. Dalam prosesnya, proposal taxonomi virus disusun oleh individu maupun kelompok studi yang kemudian proposal ini direview oleh perwakilan subkomite dan mendapat persetujuan komite eksekutif untuk kemudian bisa diterima. Semua keputusan kemudian akan diratifikasi pada saat kongres virologi terselenggara di mana semua anggota ICTV dan lebih dari 50 perwakilan ahli mikrobiologi hadir pada kongres tersebut. ICTV mempublikasikan secara rutin hasil dari kongres untuk menggambarkan semua taksa yang sudah disepakati dan diterima. Laporan tersebut tersedia secara online dan ada di website resmi ICTV (Mayo and Brunt, 2001).

Semakin meningkatnya jumlah spesies virus maupun strain yang diidentifikasi serta bersamaan dengan banyaknya data tentang gambaran virus serta penyakit yang ditimbulkan, ICTV mulai menggagas proyek besar untuk pangkalan data virus. Proyek ini dinamai ICTVdB yang akan berisi informasi terkait gambaran, identifikasi, dan taksonomi masing-masing strain virus. Hal ini mengharuskan para ahli virus yang akan mendeskripsikan temuannya untuk bisa mengidentifikasi dan mengenali semua virus yang sudah ada.

2.3 Sistem Universal untuk Penamaan Virus

Setidaknya ada dua sistem penamaan dan klasifikasi yang digunakan secara internasional, yaitu sistem linnean yang diusung oleh Linneaus dan adansonian yang diusung oleh Adanson (1763). *System linnean* pernah diusulkan oleh Maurin dan timnya pada tahun 1984 untuk mengklasifikasikan dan menentukan penamaan pada virus. Meskipun mudah dalam pengaplikasiannya, namun system ini memiliki jangkauan yang kecil dalam klasifikasi virus. Hal ini dikarenakan kesulitan memvalidasi kriteria tertentu, seperti ketidakmungkinan mengelompokkan jumlah genom sebuah component dalam kriteria hierarki. Selain itu, tidak adanya alasan yang jelas dalam memprioritaskan kriteria mana yang akan digunakan yang berakibat pada tidak mudahnya melakukan ratifikasi atau ranking semua kriteria

Selanjutnya *system adansonian* melibatkan semua kriteria yang ada dalam satu kesatuan dan mampu melibatkan semua kriteria secara berturut-turut. Kriteria yang mengarahkan kepada kesamaan dalam klasifikasi dinilai sebagai korelasi sehingga tidak perlu didiskriminasikan. Kemudian kriteria turunan atau subset criteria ditambahkan dalam konsiderasi, pola ini diulang hingga semua kriteria dapat diranking untuk mendapatkan pemisahan spesies yang paling baik. System ini masih jarang digunakan karena sangat membutuhkan banyak waktu dan tenaga untuk melakukannya, namun saat ini berkat adanya kemajuan teknologi komputer, sistem ini sudah mulai digunakan. Lebih jauh lagi, data kualitatif dan kuantitatif dapat secara bersamaan menjadi konsiderasi ketika melakukan proses klasifikasi. Dalam hal virus, sudah dilakukan penelitian oleh Harrison (1971) bahwa setidaknya ada 60 karakter yang bisa digunakan untuk mendeskripsikan virus secara utuh.

Peningkatan jumlah laporan tentang sekuens asam nukleat pada virus, dikombinasikan dengan perangkat lunak pada komputer yang sesuai, menjadikan perbandingan sejumlah virus untuk membuat pohon filogenetik yang berbeda dapat dilakukan. Namun, hingga saat ini, belum ada yang memberikan klasifikasi yang jelas untuk semua virus. Klasifikasi yang multidimensi di mana semua kriteria penting dilibatkan untuk menggambarkan virus, bisa jadi merupakan cara yang paling cocok dan tepat dalam mengelompokkan semua jenis virus. Selama kurang lebih 25 tahun, ICTV telah mengklasifikasikan beragam virus pada level genus dan famili dengan

menggunakan pendekatan nonsystematic polythetic. Pada tahapan awal virus digolongkan pada level genus kemudian berlajut ke level famili. Beberapa karakter penting seperti fisikokimia, struktur, genom dan kriteria biologis kemudian digunakan untuk membandingkan dan mengelompokkan virus. Satu set kriteria ini dimungkinkan berubah pada level famili yang lain tergantung pada ketersediaan data dan seberapa penting karakter tersebut pada famili yang dimaksud. Hal ini menunjukkan tidak ada homogenitas atas keteraturan dalam klasifikasi virus ini karena masing-masing virologis akan menitikberatkan kriteria dengan cara yang subjektif. Namun tidak dapat disangkal juga bahwa sejauh ini bisa dilihat konsistensi dari ICTV dalam mengklasifikasikan virus pada level genus dan famili. Jika setelah setelah ditentukan klasifikasi tertentu lalu muncul data baru seperti sekuen DNA/RNA atau genom tertentu, maka data baru tersebut akan mengkonfirmasi klasifikasi yang ada.

Saat ini, kriteria dalam pengelompokan virus di level famili dan genus adalah (1) susunan asam nukleat virus, (2) lilitan helix pada asam nukleat, (3) penggunaan process transkripsi baik DNA maupun RNA, (4) positif atau negatifnya kode gen pada genom. Keempat kriteria ini yang digunakan saat ini walaupun pada masa sebelumnya keberadaan lapisan envelop dimasukkan dalam kriteria penggolongan virus. Hal ini dikarenakan keberadaan lapisan envelop tersebut berhubungan dengan inang alami sehingga kriteria ini ditinggalkan.

2.4 Konsep Spesies pada Virus Tumbuhan

Pada tahun 1991, ICTV sepakat untuk menerima sebuah konsep bahwa virus merupakan sebuah spesies yang dalam hal tertentu memiliki kesamaan dengan organisme lain. Konsep sederhana ini yang membuat laporan ICTV ke enam menulis 'daftar spesies virus' yang faktanya lebih cenderung kepada 'daftar nama virus' tanpa adanya kejelasan status taksonominya (Murphy et al., 1995). Hal ini yang kemudian direvisi pada laporan ICTV ke tujuh dan memunculkan daftar kriteria spesies yang dibutuhkan masing-masing genus, mengindikasikan bagaimana spesies virus dapat diidentifikasi dalam genus tertentu. Virus-virus ini yang kemudian dibedakan dalam spesies dan spesies

tentatif menurut daftar kriteria spesies tersebut dan ketersediaan informasi mengenai virus tersebut.

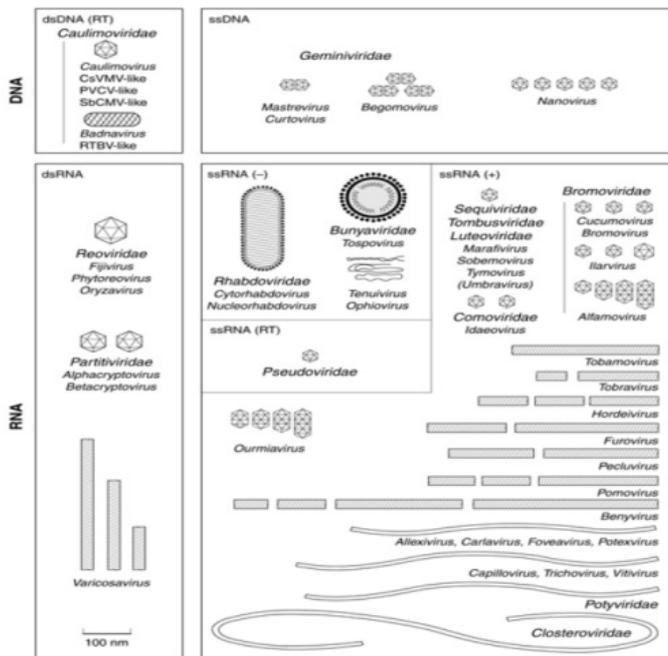
Tabel 2.1: Deskripsi famili virus dalam taxonomi virus (Claude M. Fauquet, 1999)

I. Properti pada virion
<ul style="list-style-type: none"> A. Properti morfologi <ul style="list-style-type: none"> 1. Ukuran 2. Bentuk 3. Ada tidaknya envelope 4. Simetri kapsomer dan strukturnya B. Properti fisik <ul style="list-style-type: none"> 1. Massa molekular 2. Kepadatan Bouyant 3. Koefisien sedimentasi 4. Stabilitas pH 5. Stabilitas suhu 6. Stabilitas kation 7. Stabilitas pelarut 8. Stabilitas detergen 9. Stabilitas radiasi C. Properti genom <ul style="list-style-type: none"> 1. Tipe asam nukleat: DNA atau RNA 2. Lilitan helix: single atau double 3. Linier atau sirkuler 4. Kepekaan: positif atau negatif 5. Jumlah segmen 6. Ukuran genom 7. Ada tidaknya 5' <i>terminal cap</i> 8. Ada tidaknya hubungan antara 5' <i>terminal cap</i> dengan polipeptida 9. Ada tidaknya 3' terminal poly (A) 10. Perbandingan sekuens nukleotida
lanjutan
<ul style="list-style-type: none"> D. Properti protein <ul style="list-style-type: none"> 1. Jumlah 2. Ukuran 3. Aktivitas fungsional 4. Perbandingan sekuens asam amino E. Lemak <ul style="list-style-type: none"> 1. Ada atau tidaknya lemak

2. Keberadaan secara alami atau buatan
F. Karbohidrate
1. Ada atau tidaknya karbohidrat
2. Keberadaan secara alami atau buatan
II. Struktur genom dan replikasi
1. Struktur genom
2. Strategi replikasi asam nukleat
3. Karakteristik transkripsi
4. Karakteristik translasi
5. Titik akumulasi protein
6. Sitopatologi
III. Properti antigenik
1. Hubungan serologik
2. Pemetaan epitop
IV. Properti biologis
1. Rentang inang, alam dan eksperimen
2. Tingkat patogenesis, kaitannya dengan penyakit
3. Jaringan tropism
4. Cara transmisi di alam
5. Hubungan dengan vektor
6. Distribusi geografis

Klasifikasi pada virus terus berevolusi seiring dengan perkembangan teknologi yang tersedia untuk menggambarkan virus. Gelombang pertama dalam penamaan virus adalah sebelum 1940 di mana gejala yang terlihat dari penyakit akibat serangan virus dan caranya bertnsmisi menjadi acuan taksonomi virus. Gelombang kedua terjadi antara tahun 1940 dan 1970 di mana kajian tentang morfologi virus , bilogi virus dan fisikokimia virus bersama-sama dijadikan acuan taksonomi. Gelombang ketiga, yakni setelah tahun 1970, memasukkan informasi molekuler virus dalam proses taksonomi virus. Gelombang terkini tentang penamaan taksnomi virus adalah klasifikasi berdasarkan informasi genetik pada virus. Teknik inilah yang paling lazim digunakan hingga saat ini (Davison, 2020).

Dalam beberapa kasus, properti pada virus yang memiliki kesamaan akan digolongkan ke dalam genus yang sama. Dengan begitu, klasifikasi virus yang baru ditemukan akan lebih mengacu pada genus yang sudah resmi diterima pada laporan ICTV. Seperti contoh sebuah virus tumbuhan yang memiliki filamen 700-850 nm dan ditransmisikan melalui aphids akan digolongkan ke dalam genus *Potyvirus*.



Gambar 2.1: Famili dan genus virus yang menyerang tumbuhan

Ketika sebuah genus virus diterima oleh ICTV, maka selanjutnya adalah menentukan spesiesnya. Namun, tidak ada satupun dari spesies menerima nama internasional yang baru dan hanya memiliki nama dalam bahasa Inggris yang digunakan. Nama latin untuk virus diusulkan untuk digunakan oleh virologis hewan dan manusia, namun usulan ini tidak pernah diimplementasikan. Bahkan usulan ini dicabut pada tahun 1990 yang mengakibatkan nama virus yang menggunakan nama latin seperti *Polyomavirus hominis* tidak bisa digunakan lagi. Beberapa tahun kemudian muncul penamaan virus pada tumbuhan yang sangat berbeda dari sebelumnya, yaitu menggunakan nama lazim lokal namun merubah kata virus menjadi nama genus. Sebagai contoh, *Cucumber mosaic cucumovirus* dan *Tobacco mosaic tobamovirus*.

Bab 3

Pengenalan Gejala

3.1 Pendahuluan

Di dalam Ilmu Penyakit Tumbuhan (Fitopatologi) pengertian “gejala” secara luas adalah Sesuatu yang nampak akibat adanya penyakit. Gejala ini lalu dibagi menjadi dua, yaitu “gejala penyakit” (dalam arti sempit) adalah Sesuatu yang nampak akibat adanya penyakit dari aspek tumbuhannya dan “tanda penyakit” adalah Sesuatu yang nampak akibat adanya penyakit dari aspek penyebab penyakitnya (patogennya). Contoh dari gejala adalah tanaman layu, tanaman kerdil, dan mosaik pada daun. Sedangkan contoh dari tanda adalah miselium jamur, ooze bakteri, dan benda inklusi virus.

Virus menjadi penting secara ekonomi hanya apabila mereka menyebabkan penyimpangan pertumbuhan tanaman yang signifikan dari tanaman yang normal, yang diketahui dari kemunculan gejala. Penyimpangan ini lalu akan berdampak pada penurunan kuantitas dan kualitas dari produk tanaman yang bersangkutan. Di dalam penelitian tentang penyakit virus pada tanaman, peran gejala ini penting karena mencerminkan adanya aktivitas biologi dari perkembangan penyakitnya sehingga dapat digunakan sebagai indikator yang mudah untuk mengetahui penyakitnya.

Di dalam *Virologi* Tumbuhan, ilmu tentang gejala (Simtomatologi) memegang peranan yang penting, terutama dahulu pada saat virus belum bisa diisolasi dan

dikarakterisasi. Juga pada saat biologi molekular belum berkembang, atau belum/tidak bisa diterapkan. Apabila kita tengok dari sejarah perkembangan virologi tumbuhan, kebanyakan nama virus tumbuhan adalah berdasarkan pada gejala penting dari penyakit yang timbul pada tanaman inangnya atau pada tanaman tempat virus tersebut pertamakali didiskripsikan.

Seiring dengan perkembangan virologi tumbuhan dan berbagai cabang ilmu yang menopangnya terutama biologi molekular, semakin disadari bahwa penggunaan gejala saja untuk identifikasi dan klasifikasi virus tidak memadai dan bisa membingungkan. Hal ini karena gejala merupakan ekspresi dari penyakit yang dipengaruhi oleh tiga faktor di dalam Segitiga Penyakit Tumbuhan, yaitu patogen, inang dan lingkungan. Hal ini menyebabkan gejala yang sama dapat disebabkan oleh virus yang berbeda, atau virus yang sama dapat menyebabkan gejala yang beragam, tergantung dari hubungan antar komponen di dalam segitiga penyakit tersebut.

Di era sekarang ini, identifikasi dan klasifikasi virus lebih banyak mengandalkan teknologi biologi molekular terutama adalah teknologi yang berbasis asam nukleat dan protein. Contoh deteksi, identifikasi dan klasifikasi virus yang berbasis asam nukleat adalah penggunaan teknologi amplifikasi dan hibridisasi asam nukleat. Sedangkan contoh deteksi dan identifikasi virus yang berbasis protein adalah penggunaan teknologi immunoassay.

3.2 Respon Tanaman Terhadap Infeksi Virus

Menurut Matthews (1992), respon tanaman terhadap infeksi virus dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu imun (bukan inang) dan dapat terinfeksi (inang). Imun adalah tanaman yang kebal atau tidak dapat terinfeksi. Dalam hal ini virus tidak dapat berkembang biak dalam tanaman. Bisa saja terjadi pelepasan kulit protein virus (uncoating) yang menandai awal dimulainya infeksi, tetapi virus tidak berkembang biak.

Pada tanaman yang dapat terinfeksi virus (biasa disebut inang atau host), virus dapat menginfeksi dan berkembang biak (bereplikasi) pada tanaman. Pada kelompok ini dibagi menjadi dua sub-kelompok yaitu tahan atau resisten dan rentan (susceptible). Pada tanaman yang tahan ada yang ekstrem hipersensitif,

yatu virus dapat berkembang biak hanya terbatas pada sel-sel yang pertama kali terinfeksi dan tidak bisa menyebar ke sel-sel disekitarnya. Hal ini disebabkan karena tidak efektifnya protein yang berperan dalam membantu perpindahan virus antar sel (movement protein). Di lapangan tanaman ini adalah tanaman tahan.

Pada tanaman yang tahan ada pula yang hipersensitif. Pada tanaman ini infeksi virus dibatasi oleh respon inang sehingga hanya terbatas pada zona beberapa sel di sekitar sel yang pertamakali terinfeksi. Biasanya hal ini akan nampak sebagai gejala bercak nekrotik lokal atau klorotik lokal. Di lapangan tanaman ini adalah tanaman tahan. Fenomena ini yang biasa kita lihat pada tanaman indikator misalnya *Chenopodium* saat diinokulasi virus secara mekanik.

Pada tanaman yang rentan virus dapat berkembang biak dan menyebar secara sistemik. Pada kelompok ini ada tanaman yang sensitif, di mana tanaman merespon terhadap infeksi virus sehingga menjadi sakit yang kurang lebih parah. Ada pula tanaman yang toleran, di mana sedikit atau tidak ada efek yang nampak pada tanaman akibat infeksi virus. Hal ini menghasilkan infeksi laten. Di lapangan tanaman ini adalah tanaman tahan.

Infeksi virus tidak selalu menyebabkan penyakit (menampakkan gejala) pada setiap waktu dan pada semua bagian dari tanaman yang terinfeksi. Ada setidaknya enam keadaan di mana gejala mungkin tidak nampak. 1) Infeksi oleh strain virus yang sangat lemah; 2) Tanaman inang yang toleran; 3) Pemulihan gejala yang bersifat sebagian pada daun-daun yang baru; 4) Daun-daun yang terhindar dari infeksi karena umur dan posisi pada tanaman; 5) Daerah-daerah berwarna hijau gelap pada pola gejala mosaik, dan 6) Tanaman yang terinfeksi oleh virus kriptik.

3.3 Pengelompokan Gejala

Gejala mula-mula dapat dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu Gejala Makroskopis dan Gejala Mikroskopis. Gejala makroskopis lalu dibagi lagi menjadi Gejala Lokal dan Gejala Sistemik. Sedangkan gejala mikroskopis dibagi lagi menjadi Gejala Histologis dan Gejala Sitologis. Masing-masing gejala tersebut diuraikan di bawah ini.

3.3.1 Gejala Lokal

Gejala bercak lokal yang berkembang terbatas di sekitar tempat masuknya virus cenderung tidak menimbulkan kerugian secara ekonomi. Tetapi kelompok gejala ini penting di dalam pengujian virus secara biologi. Ada tiga jenis gejala penting yang termasuk ke dalam kelompok gejala lokal ini. Yang pertama adalah gejala *klorotik* lokal. Di sini sel-sel tanaman yang terinfeksi mengalami penurunan kadar klorofilnya ataupun pigmen yang lain, yang menyebabkan berwarna hijau pucat/kuning pucat. Yang kedua adalah gejala nekrotik lokal. Dalam hal ini sel-sel yang terinfeksi virus menjadi mati, sehingga berwarna coklat/hitam. Yang ketiga adalah gejala bercak bercincin. Dalam hal ini pusat bercak berupa sel-sel yang mati yang dikelilingi oleh lingkaran-lingkaran konsentris berisi sel-sel mati di antara jaringan hijau normal.

3.3.2 Gejala Sistemik

Gejala sistemik merupakan gejala yang nampak tidak hanya pada tempat di sekitar masuknya virus pertamakali, namun nampak menyebar ke bagian lain ataupun seluruh bagian tanaman. Hal ini disebabkan karena virusnya juga menyebar di dalam tanaman. Di lapangan gejala sistemik ini hampir tidak ditemukan dalam keadaan tunggal, namun berada dalam keadaan campuran antara lebih dari satu jenis gejala.

Berbagai macam gejala sistemik diuraikan di bawah ini.

1. Perubahan ukuran tanaman

Banyak dijumpai infeksi virus menyebabkan perubahan ukuran tanaman. Yang sering kita jumpai di lapangan adalah gejala kerdil, yaitu tanaman lebih kecil/lebih pendek dibanding tanaman sehat. Sebagai contoh adalah tanaman kacang tanah yang terinfeksi *Peanut Stripe Potyvirus* (PStV).

2. Pola mosaik dan berbagai gejala yang terkait

Salah satu gejala yang umum dijumpai pada tanaman yang terinfeksi virus adalah mosaik yang sering dijumpai pada daun, *Mosaik* adalah gejala berupa area-area berwarna hijau terang dan gelap (hijau muda dan hijau tua) yang membentuk pola *mosaik*. Contoh yang biasa dipakai dalam hal ini adalah gejala mosaik pada tembakau yang

disebabkan oleh infeksi *Tobacco mosaic tobamovirus* (TMV) (Gambar 3.1).

3. Gejala kuning

Di lapangan gejala ini dimulai dari tulang-tulang daun yang masih muda berwarna kuning lalu berkembang menjadi keseluruhan daun berwarna kuning. Contoh gejala penyakit kuning yang akhir-akhir ini banyak kita jumpai adalah gejala penyakit kuning pada kacang panjang (dan juga pada hortikultura yang lain) yang disebabkan oleh infeksi berbagai virus dari Genus Begomovirus famili Grminiviridae (Gambar 3.3 dan Gambar 3.4).

4. Daun menggulung

Infeksi virus dapat menyebabkan gejala berupa daun menggulung. Dalam hal ini daun bisa menggulung ke atas atau menggulung ke bawah (Gambar 3.4)

5. Bercak bercincin

Gejala infeksi virus dapat berupa bercak bercincin yaitu berupa pola cincin-cincin konsentrik dan garis-garis tidak beraturan pada daun. Garis-garis tersebut dapat merupakan jaringan yang menguning atau karena matinya lapisan permukaan sel-sel nya (Gambar 3.2).

6. Nekrotik

Nekrotik adalah gejala berupa matinya sekelompok sel/jaringan/organ. Yang sering dijumpai di lapangan adalah berupa bercak-bercak pada daun yang berwarna coklat/hitam. Warna coklat/hitam tersebut adalah karena matinya jaringan (Gambar 3.2).

7. Abnormalitas perkembangan

Disamping menghambat pertumbuhan tanaman, infeksi virus juga bisa menyebabkan abnormalitas perkembangan tanaman. Gejala ini ada banyak variasi jenisnya. Sebagai contoh adalah perkembangan lamina daun yang tidak seimbang antara bagian sebelah kiri dengan bagian sebelah kanan. Hal ini sering dijumpai bersama-sama dengan gejala mosaik daun (Gambar 1, Gambar 4). Contoh yang lain adalah gejala berupa cacar pada daun (mirip cacar air pada kulit manusia).

8. Layu

Meskipun jarang dijumpai, infeksi virus dapat menyebabkan layu yang diikuti dengan matinya tanaman. Sebagai contoh adalah penyakit virus pada kacang buncis (Kaiser & Danesh, 1971).

3.3.3 Berbagai Agens Yang Menginduksi Gejala Mirip Virus

Gejala penyakit yang mirip dengan akibat infeksi virus dapat disebabkan oleh berbagai agens fisik, kimia maupun biologi. Hal ini bisa mengecoh atau memberikan kesimpulan yang salah.

1. Parasit selular kecil

Sekelompok penyakit yang dicirikan dengan gejala berupa daun menguning, kerdil, gejala “sapu setan”, dan *Filodi* (mahkota bunga berkembang menjadi daun) sudah bertahun-tahun diyakini disebabkan oleh virus. Namun demikian, dengan kemajuan *virologi* tumbuhan, sekarang diketahui bahwa penyebabnya bukan virus. Penyebab penyakit tersebut dapat berupa mikoplasma, spiroplasma, organism mirip *riketsia* dan juga *fitoplasma*. Mereka adalah organisme selular yang berukuran kecil, lebih kecil dari bakteri.

2. Bakteri

Dilaporkan bahwa beberapa bakteri dapat menyebabkan penyakit dengan gejala mirip virus.

3. Toksin artropoda

Sudah sejak lama diketahui bahwa serangga dan juga *artropoda* lain yang makan pada tanaman bisa mensekresikan toksin yang dapat menyebabkan penyakit dengan gejala mirip virus. Penyakit ini lazim disebut *Fitotoksemia*. Sedangkan serangganya disebut dengan serangga toksikogenik. Kutu daun yang mengkolonisasi pucuk tanaman cabai misalnya dapat menyebabkan daun-daun pada pucuk tanaman tersebut keriting, mirip dengan gejala karena virus. Dilaporkan bahwa kutu daun *Calligypona pellucida* (Homoptera) dapat mensekresikan toksin yang menyebabkan penghambatan

perkembangan tanaman dan penghambatan pembentukan anakan. Hanya serangga betina yang menghasilkan toksin (Nuorteva, 1962).

4. Abnormalitas genetik

Berbagai varietas tanaman hias sudah sejak lama diseleksi dan ditangkarkan oleh para petani/pengusaha tanaman hias. Tanaman tersebut menampilkan berbagai corak mosaik pada daunnya yang disebabkan karena faktor genetik. Pemecahan warna bunga tulip yang legendaris pada abad 17 silam, selain disebabkan oleh infeksi Tulip breaking virus (TBV), dilaporkan juga bisa disebabkan karena faktor genetik.

5. Transposon

Transposon adalah elemen mobil yang dapat berpindah pada/dalam genom tanaman (atau hewan). Diketahui ada dua tipe *transposon* yaitu *transposon* sejati misalnya yang sangat populer ditemukan pada jagung dan *transposon* balik (retrotransposon). Apabila *transposon* ini berpindah ke dalam gen atau kumpulan gen yang mengontrol warna bunga/daun pada masa perkembangan organ tersebut akan menyebabkan bercak-bercak dengan warna yang berbeda, mirip dengan gejala infeksi virus.

6. Defisiensi unsur hara

Defisiensi unsur hara pada tanaman dapat menyebabkan pewarnaan yang tidak normal, hilangnya warna maupun kematian jaringan tanaman. Berbagai gejala tersebut mirip dengan gejala infeksi virus. Sebagai contoh defisiensi magnesium dan besi pada kedelai dapat menampilkan gejala “vein banding” yang biasa disebabkan oleh virus.

7. Suhu Tinggi

Tanaman yang ditumbuhkan di lingkungan yang suhunya lebih tinggi dari normal dapat menginduksi gejala mirip virus. Apabila *N. glutinosa* ditumbuhkan pada suhu 37,8°C selama 4-8 hari lalu dikembalikan ke suhu 22°C, daun-daun baru menampilkan pola gejala mosaik, vein clering, klorosis, dan berbagai abnormalitas yang mirip dengan gejala virus (John & Weintraub, 1966).

8. Kerusakan Hormon

Herbisida yang berupa hormon dapat menginduksi gejala mirip virus pada tanaman. Tomat dan anggur cenderung rentan terhadap bahan aktif herbisida 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid). Pertumbuhan daun menjadi tidak normal mirip dengan gejala infeksi virus.

9. Insektisida

Beberapa insektisida telah dilaporkan dapat menginduksi gejala menyerupai infeksi virus (Woodford & Gordon, 1978).

10. Polusi Udara

Banyak polutan udara mampu menghambat pertumbuhan tanaman dan menyebabkan gejala mirip virus. Sebagai contoh adalah gas yang dikeluarkan dari pabrik semen dapat menyebabkan bibit jagung kerdil dan menguning dengan nekrosis dan tepi daun menggulung (Cireli, 1976).

3.3.4 Gejala (Perubahan) Histologis

Gejala makroskopis akibat infeksi virus sering merupakan cerminan dari perubahan histologis di dalam tanaman.

Ada tiga tipe perubahan yang utama, yaitu *nekrosis*, *hipoplasia* dan *hiperplasia*.

1. Nekrosis

Seperti telah diuraikan di muka bahwa nekrosis adalah matinya jaringan tanaman. Contoh gejala *nekrosis* yang mudah adalah gejala *nekrosis* pada daun tanaman indikator *C. amaranticolor* setelah diinokulasi mekanik dengan TMV.

2. Hipoplasia

Hipoplasia adalah perubahan pada jaringan tanaman yang secara umum dicirikan dengan perkembangan sel-sel yang terhambat (ukuran lebih kecil dibanding yang normal). Misalnya adalah sel-sel *mesofil* kurang terdiferensiasi dengan kadar *kloroplast* yang lebih rendah dengan lebih sedikit atau tanpa ruang antar sel.

3. Hiperplasia

Hiperplasia adalah kebalikan dari hipoplasia di mana secara umum dicirikan dengan sel-sel yang lebih besar dibanding yang normal. Setidaknya ada tiga jenis kelainan jaringan yang termasuk ke dalam kelompok ini, yaitu sel-sel lebih besar dari yang normal, pembelahan sel pada sel-sel yang telah terdiferensiasi, dan pembelahan yang tidak normal dari sel-sel kambium.

3.3.5 Gejala (Perubahan) Sitologis

Yaitu segala perubahan yang terjadi pada sel dan bagian-bagiannya (organela).

1. Perubahan pada Struktur sel

Dalam hal ini infeksi virus dapat menyebabkan perubahan ukuran dan bentuk inti sel tanaman inangnya. Infeksi virus juga dapat memengaruhi struktur mitokondria. Infeksi virus juga dapat memengaruhi struktur dan kadar kloroplast tanaman. Infeksi virus juga dapat mempengaruhi ketebalan dinding sel. Pada kerusakan sel yang parah dapat menyebabkan matinya sel tanaman tersebut.

2. Struktur yang diinduksi virus dalam sitoplasma

Infeksi beberapa virus tertentu pada tanaman menginduksi terbentuknya benda inklusi di dalam sitoplasma sel tanaman. Benda inklusi ini berukuran relatif besar, sehingga dapat diamati di bawah mikroskop cahaya. Benda inklusi ini dapat dijadikan sebagai tanda penyakit akibat infeksi virus. Ada dua jenis benda inklusi yang telah dikenal dengan baik yaitu yang berbentuk kristalin dan yang berbentuk kincir.

Contoh benda inklusi berbentuk Kristal adalah pada daun tembakau yang terinfeksi TMV. Pada bagian daun yang berwarna hijau muda, apabila bulu daun (trikoma) di ambil dan dilihat di bawah mikroskop cahaya akan terlihat benda inklusi ini. Dengan pengamatan menggunakan mikroskop elektron akan kelihatan benda ini tersusun dari partikel TMV yang tersusun padat. Dilaporkan bahwa benda inklusi ini merupakan tempat terjadinya replikasi/perakitan virion (partikel virus).

Infeksi *Potyvirus* menginduksi benda inklusi yang berbentuk kincir. Daun tanaman kacang panjang yang terinfeksi PSTV, apabila diamati di bawah mikroskop elektron akan nampak benda inklusi berbentuk kincir tersebut.

Namun demikian perlu dicatat bahwa ada beberapa benda inklusi mirip akibat infeksi virus yang disebabkan karena faktor lain, misalnya defisiensi unsur hara pada tanaman tertentu, degenerasi karena faktor umur, maupun degenerasi karena faktor yang lain.



Gambar 3.1: Daun tembakau yang menampakkan gejala mosaik setelah diinokulasi secara mekanik dengan isolat tunggal dari virus yang diisolasi dari daun tembakau sakit mosaik di lapangan.



Gambar 3.2: Gejala bercak lokal klorotik. Hasil inokulasi mekanik dengan sap daun kacang panjang bergejala mosaik pada *C. amaranticolor*.



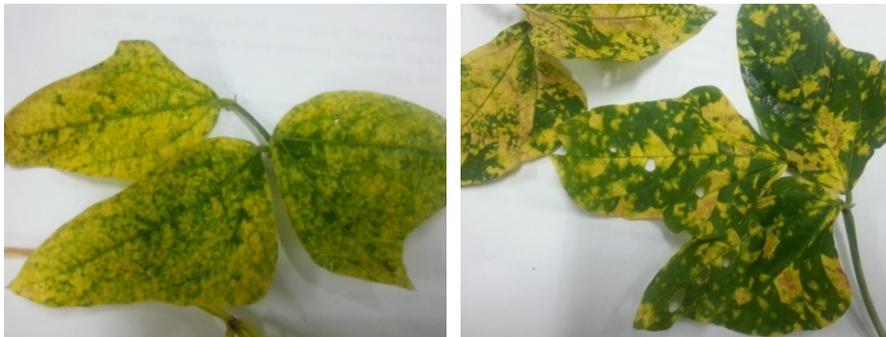
Gambar 3.3: Gejala penyakit kuning pada kacang panjang di lapangan.
Sumber: Dokumentasi pribadi.



Daun berwarna kuning mencolok dengan sedikit mosaik, cupping, ukuran daun lebih kecil.



Daun berwarna kuning mencolok hampir oranye. cupping, ukuran daun lebih kecil.



Daun berwarna mosaik kuning mencolok mengikuti pola tulang daun. Tulang daun berwarna hijau. Dominan warna kuning.

Daun berwarna mosaik kuning mencolok mengikuti pola tulang daun. Tulang daun berwarna hijau.

Gambar 3.4: Variasi gejala kuning pada daun kacang panjang yang terinfeksi Begomovirus (Mungbean yellow mosaic virus). Daun kelihatan berwarna kuning mencolok (mosaik kuning), melengkung (cupping), dan kerdil. (Supyani et al., 2020)

Bab 4

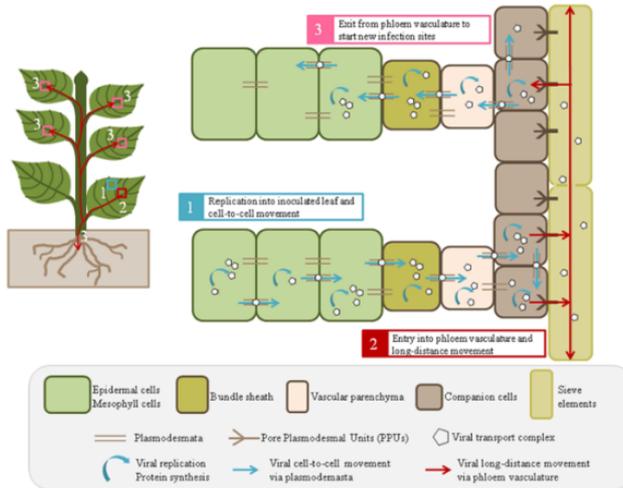
Penularan dan Penyebaran Virus

4.1 Pendahuluan

Virus tanaman merupakan parasit intraseluler obligat yang hidup di dalam sel tanaman inang. Virus terakumulasi hingga konsentrasi tinggi ke seluruh bagian tanaman hingga pada kondisi di mana virus dapat bertahan. Virion memfasilitasi penularan virus dari satu tanaman ke tanaman lain pada tahap propagasi melalui benih atau polen, okulasi, luka mekanis, atau melalui vektor. Virus bertahan di dalam tanaman inang untuk melengkapi siklus hidupnya, antara lain bereplikasi, *enkapsidasi*, penyebaran antar sel, dan perpindahan jarak jauh. Berbagai interaksi kompatibel terjadi antara protein virus atau virion dan faktor seluler tanaman. Tanaman bertahan dari infeksi virus dengan membentuk berbagai strategi atau bahkan menekan virus.

Virus masuk ke dalam tanaman sebagian besar melalui epidermis dan mesofil, lalu diikuti virion dan translasi/replikasi genom di dalam jaringan tanaman terinfeksi. Kemudian kompleks transport virus berpindah ke sel lain untuk bereplikasi di dalam sel terinfeksi yang baru (Gambar 4.1). Perpindahan jarak pendek tersebut membutuhkan modifikasi plasmodesmata (PD) oleh *movement protein* (MP). Transport virus di dalam jaringan floem meliputi

translokasi dari sel mesofil ke *sieve elements* (SE) melewati *bundle sheath* (BS), sel *parenkim vaskuler* (VP), dan *companion cells* (CC). Setelah melewati SE, virus dipindah melalui *sap floem* ke lokasi berbeda untuk menginfeksi sel lain dan menyebarkan ke seluruh bagian tanaman (Gambar 1).



Gambar 4.1: Perpindahan virus antar sel dan perpindahan jarak jauh di dalam jaringan tanaman (Hipper et al. 2013)

4.2 Perpindahan Virus dalam Floem

Perpindahan virus jarak jauh melibatkan beberapa tahap dimulai dari masuknya virus ke dalam sel *floem* (BS, VP, atau CC) hingga ke SE. Proses ini membutuhkan interaksi spesifik antara virus dan faktor inang. Pada daun terinfeksi, virus dapat masuk melalui semua tulang daun, sementara virus hanya dapat keluar melalui tulang daun utama dari jaringan terinfeksi. Hal ini menunjukkan mekanisme yang berbeda pada proses masuk dan keluarnya virus dari *floem*.

Virus yang berpindah dari bagian daun terinfeksi ke bagian daun sehat terdiri dari virion yaitu genom yang terlindung subunit protein kapsid (CP), dan kompleks RNP yaitu genom virus yang berasosiasi dengan protein seluler. CP

merupakan bagian utama yang terlibat pada perpindahan virus jarak jauh, namun beberapa protein virus juga berperan penting.

Virus bertahan dengan cara menginfeksi tanaman dan berpindah dari satu tanaman ke tanaman lain secara efisien. Terdapat banyak tipe berbeda dari organisme yang berasosiasi dengan tanaman termasuk jamur, nematoda, dan beberapa invertebrata yang berperan sebagai vektor untuk virus tanaman yang berbeda. Sebagian besar virus memanfaatkan serangga pemakan tanaman sebagai vektor utama.

4.3 Penularan Virus melalui Vektor

Sebagian virus tanaman menjaga keberadaannya dengan menggunakan vektor tertentu untuk dapat berpindah dari satu tanaman ke tanaman lainnya. Virus membuat kode untuk protein spesifik yang memfasilitasi proses tersebut. Protein yang dikode oleh virus yang berbeda diidentifikasi untuk dapat berinteraksi secara spesifik dengan serangga vektornya dan memfasilitasi penularan serta penyebaran. Genom virus telah dianalisis dengan *sekuensing kontemporer* dan analisis *bioinformatika* sehingga karakter penularan melalui vektor dapat digunakan sebagai kriteria kritis untuk taksonomi virus tanaman. Taksonomi berdasarkan sekuens menunjukkan genus virus yang sama menggunakan jenis vektor yang sama dengan hubungan transmisi yang sama pula.

Spesies virus dari genus lain walaupun dalam famili yang sama dapat memiliki tipe vektor yang berbeda (Tabel 1).

Tabel 4.1: Virus, vektor, dan strategi penularannya

Famili	Genus	Spesies	Vektor	Kode protein	Lokasi virus
Potyviridae	<i>Potyvirus</i>	<i>Tobacco etch virus</i> (TEV)	Kutu daun	CP, HC-Pro	Stilet - non sirkulatif
Bromoviridae	<i>Cucumovirus</i>	<i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)	Kutu daun	CP	Stilet - non sirkulatif
Caulimoviridae	<i>Caulimovirus</i>	<i>Cauliflower</i>	Kutu	CP, P2,	Stilet -

Famili	Genus	Spesies	Vektor	Kode protein	Lokasi virus
		<i>mosaic virus (CaMV)</i>	daun	P3	non sirkulatif
Closteroviridae	<i>Crinivirus</i>	<i>Lettuce infectious yellows virus (LIYV)</i>	Kutu kebul	CPm	<i>Foregut</i> - non sirkulatif
Luteoviridae	<i>Luteovirus</i>	<i>Barley yellow dwarf virus (BYDV)</i>	Kutu daun	CP-RT	<i>Midgut, hindgut</i> - sirkulatif
Geminiviridae	<i>Begomovirus</i>	<i>Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)</i>	Kutu kebul	CP	<i>Midgut, filter chamber</i> - sirkulatif
Bunyaviridae	<i>Tospovirus</i>	<i>Tomato spotted wilt virus (TSWV)</i>	<i>Thrips</i>	G _s	<i>Midgut</i> - sirkulatif propagatif
Reoviridae	<i>Phytoreovirus</i>	<i>Rice dwarf virus (RDV)</i>	<i>Leaf hopper</i>	P2*	<i>Midgut, filter chamber</i> - sirkulatif propagatif
Rhabdoviridae	<i>Nucleorhabdovirus</i>	<i>Maize mosaic virus (MMV)</i>	<i>Plant hopper</i>	G	<i>Midgut</i> - sirkulatif propagatif

CP = protein kapsid, HC-Pro = *helper component proteinase*, P2 = *non-virion helper component protein*, P3 = protein dalam virion CaMV, CPm = *minor capsid protein*, CP-RT = domain pembaca protein kapsid, GN = *glikoprotein N*, P2* = protein kapsid luar yang dikode RDV segmen 2, G = *glikoprotein* (Whitfield et al. 2015).

Terdapat empat tipe hubungan transmisi antara virus tanaman dan serangga vektor yaitu non persisten, semi persisten, persisten, sirkulatif-persisten, dan propagatif. Beberapa virus dapat ditularkan oleh spesies serangga vektor yang berbeda dengan penularan non persisten. Namun beberapa virus lain ditularkan

dengan sangat spesifik oleh hanya satu spesies serangga vektor yaitu penularan sirkulatif-propagatif. Interaksi antara virus dan vektor ini menjelaskan hubungan transmisi berdasarkan tahap akuisisi dan inokulasi. Pada tipe non sirkulatif, virus tidak masuk ke dalam sel tubuh serangga. Sementara pada tipe lainnya virus masuk ke dalam sistem pencernaan serangga dan bersirkulasi atau bahkan bereplikasi di dalam tubuh serangga.

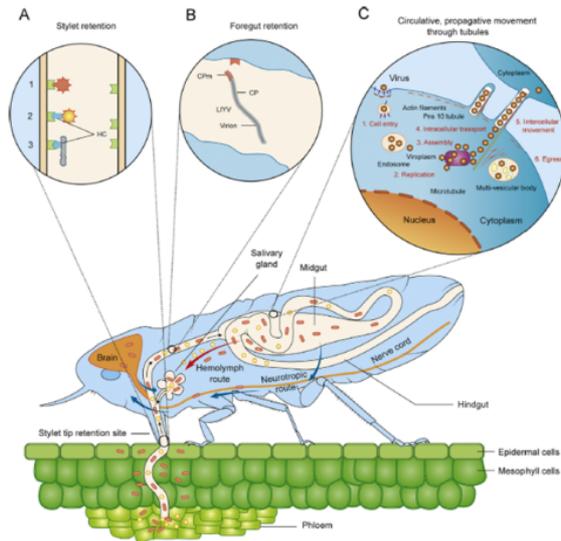
Terdapat protein spesifik pada serangga yang berperan sebagai reseptor pada virus sirkulatif maupun non sirkulatif. Protein glikosilat ditemukan dalam khitin stilet serangga pada tiga spesies serangga yang efektif berperan sebagai vektor. Protein akrosilat yaitu struktur anatomi spesifik di dalam stilet serangga.

4.3.1 Penularan Virus Non Sirkulatif

Virus non sirkulatif bertahan di dalam stilet atau foregut. Penularan tidak dihasilkan dari kontaminasi virion pada stilet kutu daun, melainkan dari interaksi yang spesifik. Virus non sirkulatif *Cucumber mosaic virus* (CMV) dan *Alfalfa mosaic virus* (AMV) pada konsentrasi tinggi dapat diakuisisi dari larutan di antara membran parafilm dan ditularkan ke tanaman. Namun hal yang sama tidak terjadi pada *Turnip mosaic virus* (TuMV) walaupun CMV, AMV, dan TuMV diketahui secara alami ditularkan melalui serangga. Hal ini disebabkan karena CMV mengandung protein kapsid virion sebagai faktor penentu penularan melalui kutu daun, sementara virus lain membutuhkan virion dan protein non struktural tambahan. Disimpulkan bahwa untuk penularan virus, selain virion juga dibutuhkan *helper component* (HC-Pro) yang dikode oleh *Potyvirus* sebagai faktor induksi virus yang harus diakuisisi oleh kutu daun. Terdapat dua strategi dalam penularan virus non sirkulatif pada serangga (tidak hanya kutu daun), yaitu strategi kapsid dan strategi helper. Namun belum diketahui reseptor dalam serangga vektor yang terlibat pada interaksi dengan “protein penularan” untuk keberhasilan penularan virus.

Virus non sirkulatif bertahan di dalam stilet serangga (A) dan foregut (B). Virus sirkulatif non propagatif umumnya terbatas di dalam *floem* dan mempenetrasi tubuh serangga melalui midgut atau hindgut. Virus sirkulatif masuk melalui hemolymph untuk mencapai kelenjar saliva, sedangkan virus sirkulatif propagatif masuk melalui sistem *neurotropik*. Virus propagatif bereplikasi di dalam sel midgut dan jaringan lain dalam tubuh serangga. Beberapa virus propagatif hanya terbatas pada floem dan beberapa lainnya dapat menyebar secara luas dalam jaringan tanaman. Kelenjar saliva

merupakan tujuan akhir penyebaran sirkulatif virus, dan virus mencapai kelenjar saliva melalui hemolymph atau sistem lainnya, salah satunya jaringan saraf (neurotropik). Reovirus menggunakan tubulus (alat ekskresi serangga) dan menyebar dari satu sel ke sel lain di dalam midgut dan bagian lain tubuh serangga melalui struktur tubulus untuk melintasi basal lamina (C).



Gambar 4.2: Lokasi virus dalam tubuh serangga vektor (Whitfield et al. 2015)

Stilet serangga menunjukkan sisi pengikatan virion pada ujung stilet (Gambar 1A). Terdapat beberapa strategi berbeda untuk pengikatan virion dan bertahan dalam stilet, yaitu sebagai berikut:

1. strategi kapsid, pengikatan protein kapsid secara langsung pada stilet
2. strategi *helper component* untuk *Caulimovirus* di mana dua protein virus berperan sebagai “jembatan” antara virion dan stilet
3. protein virus (HC-Pro) pada *Potyvirus* terikat pada stilet kutu daun

Strategi pengikatan bagian *foregut* dan kapsid pada *Crinivirus* menunjukkan protein kapsid minor (CPm) merupakan protein pengikatan virus (Gambar 4.2A). Tahap siklus infeksi *Reovirus* dan penyebaran ke sel penghubung seperti pada *Rice dwarf virus* (Gambar 4.2C). *Rice dwarf virus* masuk ke dalam sel melalui jalur endositik dan setelah virion terlepas dari vesikel maka siklus replikasi dimulai. Virion *progeny* berpindah antar sel melalui struktur

tubula yang tersusun atas protein non struktural virus. Virion berpindah secara langsung dari satu sel ke sel lainnya tanpa fase ekstraseluler.

4.3.2 Penularan Virus Sirkulatif

Virus sirkulatif masuk ke dalam tubuh serangga dan menyebarluas ke berbagai sistem jaringan pada awal penyebaran di dalam jaringan tanaman inang. Virus non propagatif menyebar namun tidak bereplikasi di dalam tubuh serangga, sedangkan virus propagatif menyebar dan bereplikasi pada jaringan yang berbeda. Virus dihisap bersama dengan kandungan seluler tanaman oleh serangga vektor, melewati epitelium usus, terdifusi ke dalam hemolymph dan terakumulasi di dalam kelenjar saliva tanpa replikasi. Kemudian virus dikeluarkan untuk menginokulasi tanaman inang baru bersama saliva serangga.

4.3.3 Penularan Virus Sirkulatif Propagatif

Virus propagatif mengikuti siklus tubuh serangga dan bereplikasi di dalam usus, kelenjar saliva dan kadang pada jaringan lain pada serangga. Periode laten terjadi selama satu atau beberapa hari untuk melengkapi siklus virus. Keberadaan virus di dalam tubuh serangga vektor dapat berlangsung lama, bahkan hingga vektor mati.

Lokasi virus di dalam tanaman inang dapat ditentukan kebiasaan makan serangga vektornya. Virus menginfeksi semua jaringan inang sehingga mudah terhisap serangga vektor dan diakuisisi selama proses makan. Proses ini tergantung pada waktu yang dibutuhkan dan frekuensi vektor makan pada jaringan tersebut. Akuisisi dan inokulasi virus dapat dicapai dalam hitungan detik karena virus bereplikasi dan terakumulasi pada bagian epidermis dan mesofil. Sebaliknya, virus yang terbatas pada bagian *floem* tergantung pada frekuensi vektor makan pada bagian *floem* yang hanya terjadi pada tanaman inang tertentu, sehingga akuisisi dan inokulasi membutuhkan waktu lebih lama yaitu dalam hitungan jam hingga beberapa hari (Tabel 4.2).

Tabel 4.2: Metode penularan oleh serangga tipe mulut penusuk penghisap

Metode penularan	Sirkulatif		Non sirkulatif	
	Propagatif	Non propagatif	Strategi kapsid	Strategi helper
Waktu akuisisi	Menit hingga jam	Menit hingga jam	Detik hingga jam	Detik hingga jam
Waktu retensi	Hari hingga bulan	Hari hingga bulan	Menit hingga jam	Menit hingga jam
Waktu inokulasi	Menit hingga jam	Menit hingga jam	Detik hingga jam	Detik hingga jam
Asosiasi vektor	Internal	Internal	Eksternal	Eksternal
Replikasi	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Kebutuhan HC	Tidak	Tidak	Tidak	Ya

4.4 Peran Manusia dalam Penyebaran Virus

Serangga vektor seringkali menjadi target utama pengendalian penyebaran penyakit virus tanaman, namun sebenarnya aktivitas manusia juga berperan penting dalam penyebaran virus tanaman. Sistem pertanian modern seperti monokultur meningkatkan akumulasi virus dan proliferasi vektor di lahan pertanian. Penyebab lainnya antara lain praktek pertanian dengan peralatan yang tidak steril, tidak membersihkan sisa tanaman di lahan, bahkan penggunaan pakaian dan sepatu yang telah terkontaminasi di lahan.

Perubahan iklim global yang berhubungan dengan aktivitas manusia juga menjadi penyebab tidak langsung penyebaran virus tanaman. Meningkatnya suhu global dan konsentrasi CO₂ memengaruhi pola curah hujan, dan

perubahan suhu ekstrim. Beberapa peristiwa alam ini dapat menguntungkan bagi tanaman untuk bertahan melawan infeksi patogen, namun perubahan kondisi iklim yang mendadak juga dapat membantu penyebaran penyakit virus. Suhu yang lebih tinggi dapat menguntungkan bagi serangga vektor karena peningkatan jumlah sayap kutu daun, waktu terbentuknya generasi dewasa yang lebih singkat, dan peningkatan aktivitas terbang. Selain itu, perubahan kecepatan dan arah angin dapat memengaruhi penyebaran vektor pembawa virus.

Bab 5

Pengendalian Penyakit Tumbuhan yang disebabkan Virus

5.1 Pendahuluan

Produksi komoditas pertanian sangat dipengaruhi faktor abiotik dan biotik. Kedua faktor ini memegang peranan penting dalam memengaruhi metabolisme yang akhirnya terlihat dari perubahan biokimia, fisiologi dan morfologi tanaman. Beberapa contoh faktor abiotik di antaranya adalah tingkat kesuburan tanah yang berkaitan dengan kandungan bahan organik dan unsur hara tanah, keberadaan logam toksik misalnya Aluminium (Al) dan Besi (Fe) yang umumnya berdampak terhadap serapan hara dan level pH (potensial of hydrogen), kadar garam, kandungan air tanah. Contoh lain adalah suhu lingkungan, intensitas cahaya dan lama penyinaran, kecepatan angin, kadar O₂ dan CO₂, serta kelembaban udara.

Faktor biotik yang memengaruhi tanaman di antaranya mikroorganisme antagonis yang berpengaruh positif terhadap tanaman seperti (*Bacillus*, *Rhizobium*, Mikoriza, *Tricoderma*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Nitrosomonas*, dan lain-lain), *mikroorganisme patogen* yang menyebabkan penyakit seperti

Phytophthora, *Erwinia*, *Xanthomonas*, *Nematoda*, *Mikoplasma*, *Virus*. Gulma juga menjadi faktor biotik utama yang memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman.

Dibandingkan dengan faktor biotik lain, virus dapat dikatakan sebagai penyebab penyakit tanaman yang paling sulit dikendalikan karena merusak hingga ke inti sel tanaman. Oleh karena itu pada bab ini akan dibahas beberapa metode pengendalian virus yang menyebabkan penyakit pada tanaman.

5.2 Virus Utama pada Tanaman Budidaya

Penyakit dapat didefinisikan sebagai suatu proses fisiologi yang merugikan akibat rangsangan terus menerus oleh suatu penyebab primer. Hal ini ditunjukkan oleh aktivitas sel sakit dan dinyatakan dalam keadaan morfologi dan histologi yang disebut gejala. Penyakit dapat disebabkan oleh agen abiotik yang non infeksius dan tak dapat ditularkan, misalnya keracunan logam dan defisiensi hara. Penyebab penyakit lainnya adalah agen biotik yang dapat ditularkan, misalnya bakteri, fungi dan virus. Penyebab penyakit ini disebut patogen yang merupakan parasit karena mendapatkan nutrisi dari tumbuhan hidup (inang). Parasit dikatakan bersifat obligat jika hidup hanya terbatas pada jaringan hidup saja. Sedangkan parasit fakultatif dapat memanfaatkan jaringan hidup maupun yang telah mati sebagai sumber nutrisi. Patogen non parasitik merusak tumbuhan dengan mengeluarkan racun (fitotoksin) sebelum memanfaatkannya.

Patogenisitas adalah kemampuan untuk menimbulkan penyakit dan istilah virulensi digunakan sebagai ukuran tingkat patogenisitas. Untuk menggambarkan reaksi tanaman terhadap patogen digunakan istilah kebal (immune), tahan (resisten), toleran (tolerance), dan rentan (susceptible). Hal ini merupakan pengukuran sampai seberapa jauh tanaman dapat mencegah masuknya atau pertumbuhan berikutnya dari patogen dalam jaringannya.

Ketahanan dikatakan horizontal bila merata terhadap banyak ras patogen, sedangkan vertikal (diferensial) hanya efektif terhadap ras patogen tertentu saja. Tanaman yang toleran meskipun terinfeksi oleh patogen, gejala yang timbul hanya ringan. Bahkan yang toleransinya ekstrim tidak menunjukkan

gejala sakit meskipun telah terinfeksi, dan tanaman yang demikian disebut pembawa yang tidak bergejala (*symptomless carrier*). Ketahanan yang tinggi dapat ditunjukkan dengan adanya reaksi hipersensitif, yaitu kematian sel-sel di dekat lokasi infeksi secara cepat sehingga perkembangan patogen terhenti. Reaksi hipersensitif ini terutama efektif terhadap patogen yang obligat.

Dalam kondisi yang baik, penetrasi patogen diikuti dengan infeksi, Pada tanaman yang ketahanannya tinggi mungkin penetrasi dapat terjadi tetapi tidak diikuti oleh infeksi. Infeksi kemudian diikuti dengan terjadinya kolonisasi, yaitu perkembangan dan penyebaran patogen dalam jaringan tanaman. Kolonisasi dapat terbatas seperti bercak atau meliputi daerah yang luas. Jika infeksi bersifat sistemik maka patogennya tersebar luas dalam seluruh tubuh tanaman.

Dibandingkan dengan faktor biotik lain, virus dapat dikatakan sebagai penyebab penyakit tanaman yang paling sulit dikendalikan karena merusak hingga ke inti sel tanaman. Oleh karena itu pada bab ini akan dibahas beberapa metode pengendalian virus yang menyebabkan penyakit pada tanaman.

Virus merupakan nucleoprotein yang sangat kecil dan tembus cahaya sehingga sulit dilihat dengan mikroskope cahaya. Virus terdiri dari asam nukleat (RNA/DNA) yang dibungkus oleh protein (*coat protein*) yang berbentuk batang atau polyhedral. Virus tidak membelah diri/ membentuk spora, namun berkembangbiak dengan cara menginduksi sel inangnya agar membentuk virus baru. Penularan virus dapat melalui penggunaan bahan perbayakan vegetatif, benih, pollen, vector (serangga, tungau, nematoda), atau secara mekanik dengan cairan tanaman sakit. Akibat infeksi virus, tanaman dapat menghasilkan protein baru yang mungkin dapat mengganggu metabolisme normal. Penurunan fotosintesis dapat terjadi karena penurunan jumlah dan efisiensi klorofil serta berkurangnya ukuran daun.

Berikut beberapa contoh virus yang menyebabkan penyakit pada tanaman budidaya dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1: Virus pada beberapa komoditas tanaman utama

No.	Komoditas	Virus	Gejala	Vektor
1.	Padi	Tungro	Tanaman kerdil, jumlah anakan berkurang, pelepah dan helaian daun memendek, perubahan warna daun menjadi kuning	Wereng hijau
2.	Jagung	Maize Dwarf Mozaic Virus	Gejala belang/mosaic, daun hijau kekuningan, tanaman kerdil, tumbuh anakan yang banyak, biji berkurang	Aphid jagung (<i>Rhopalosiphum maidis</i>) Aphid hijau kuning (<i>Mysus persicae</i>)
3.	Jagung	Maize stripe virus	Pada daun Nampak garis klorotik, sempit, terputus-putus	<i>Cicadulina nubila</i>
4.	Kentang	PVY	Nekrosis daun, mosaic daun, kerusakan umbi	Kutu daun
5.	Bawang Merah	Onion yellow dwarf virus (OYDV)	Mozaik daun, penurunan jumlah umbi	Ditularkan melalui benih

No.	Komoditas	Virus	Gejala	Vektor
6.	Cabai	Gemini virus	Daun mengalami vein clearing, tulang daun menebal dan daun menggulung keatas, tanaman kerdil, pembentukan buah terhambat	<i>Bemisia tabaci</i>
7.	Tomat	Tobacco mosaic virus (TMV)	Daun belang hijau kekuningan, Daun mengalami vein clearing, malformasi daun, tanaman kerdil, daun keriting	<i>Bemisia tabaci</i> <i>Mysus persicae</i>
8.	Jeruk	Citrus tristeza virus (CTV)	Tanaman kerdil, klorosis pada daun, gugurnya bunga, ukuran buah mengecil	<i>Toxoptera citricida</i>
9.	Jeruk	Virus Psorosis	Vein flecking (titik kecil pucat pada tulang daun muda), blind pocked (Klorosis daun, lekukan memanjang sejajar dengan batang, tanaman kerdil), kulit batang mengelupas	Ditularkan secara mekanis dan melalui benih
10.	Kakao	Cocoa swollen shoot virus (CSSV)	Tunas bengkak, daun keriting	Kutu putih

5.3 Metode Pengendalian Penyakit Akibat Virus

Terdapat beberapa metode pengendalian penyakit akibat virus yaitu: *Eksklusi patogen*, *Eradikasi* (pemusnahan) patogen, Penggunaan bibit bebas virus, *Genome editing*.

1. Eksklusi Patogen

Tujuan eksklusi adalah mencegah masuknya patogen ke daerah yang masih bebas patogen. Prinsip ini berhasil digunakan terhadap patogen yang penyebarannya melalui bahan tanaman, tetapi sulit untuk patogen yang disebarkan oleh vektor serangga. Jadi pengetahuan tentang cara penyebaran suatu patogen sangat penting dalam eksklusi.

Beberapa cara pengendalian yang mengandung prinsip eksklusi adalah:

a. Karantina dan Pemeriksaan

Karantina adalah suatu pelarangan pengangkutan bahan tanaman tertentu terhadap kemungkinan terbawanya patogen yang berpotensi merusak tanaman di daerah baru. Aktivitas karantina antara lain meliputi: Embargo total terhadap tanaman tertentu dan produk-produknya, Pemeriksaan dan sertifikasi bahan tanaman dari negara asal, Pemeriksaan dan perlakuan terhadap bahan tanaman di pintu masuk negara pengimpor, Perlakuan ini bisa berupa penghancuran segera, perlakuan dengan pestisida.

b. Penghindaran pathogen

Kegiatan ini dapat dilakukan dengan menanam di lokasi yang bebas terisolasi dari patogen, daerah yang kondisi lingkungannya tidak sesuai bagi vektornya. Penggunaan bibit bebas virus dapat memperbesar peluang bagi tanaman untuk terhindar dari serangan virus. Beberapa metode dikembangkan untuk menghasilkan bibit bebas virus sehingga menjamin tanaman akan tumbuh dengan optimal.

2. Eradikasi

Kegiatan ini bertujuan untuk memusnahkan patogen di areal budidaya. Tujuan ini dapat dicapai dengan beberapa teknik yang bersifat, 1) Kultur teknis budidaya misalnya melalui sanitasi areal, pergiliran tanaman untuk memutus siklus hidup serangga vector, pemusnahan tanaman/gulma sebagai inang yang menunjukkan gejala serangan virus, memberikan input budidaya yang sesuai agar pertumbuhan tanaman optimal. 2) Kimiawi misalnya melalui aplikasi pestisida untuk mengendalikan serangga vektor seperti kutu kebul, kutu putih dan tungau. 3) Hayati yaitu dengan memafaatkan agen organisme untuk mengendalikan vector virus misalnya menggunakan jamur *Beuvaria* untuk menginfeksi beberapa spesies serangga vektor.

3. Penggunaan bibit bebas virus

Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan dalam upaya pengadaan benih kentang bermutu adalah dengan teknologi kultur jaringan (teknik *in vitro*). Teknologi kultur jaringan selain bertujuan untuk memperbanyak tanaman dengan cepat melalui teknik mikropropagasi, teknologi kultur jaringan dapat memfasilitasi perbaikan karakter/sifat tanaman menjadi lebih unggul, baik untuk tujuan meningkatkan produksi, maupun untuk meningkatkan resistensi tanaman terhadap berbagai penyakit yang disebabkan oleh faktor biotik dan/atau abiotik. Di samping itu, teknologi kultur jaringan juga dapat dimanfaatkan untuk tujuan pembebasan berbagai penyakit sistemik tanaman (Smith et al., 2017). Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk membebaskan virus tanaman, yaitu kultur meristem, *micrografting*, *chemotherapy*, *thermotherapy*, dan *shoot tip cryotherapy* (gambar 5.1) (Wang et al., 2009).

Pada tanaman kentang misalnya, teknik ini terbukti secara signifikan menghasilkan bibit kentang bebas virus. Korelasi antara ukuran meristem dengan eradikasi virus pada kentang telah diketahui baik. Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa eradikasi virus menunjukkan pola yang berbeda antar virus. Meristem yang diisolasi dengan 2 primordia daun menghasilkan 100% plantlet bebas virus

PLRV, PVY dan PVM, tapi hanya 66% di antaranya bebas PV dan PVS. Eradikasi dengan persentasi sangat tinggi (95%) untuk PVX dan PVS dihasilkan dengan mengkulturkan meristem dengan panjang 0.1 mm dengan atau tanpa primordial daun. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kandungan virus lebih rendah pada ukuran meristem yang lebih kecil.

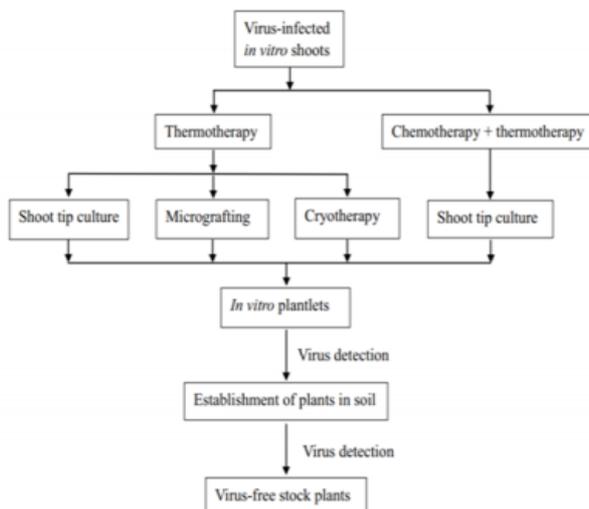
Teknik *Thermoterapi* dan Kemoterapi bersama dengan kultur meristem dapat meningkatkan kesuksesan untuk memperoleh tanaman bebas virus. *Thermoterapi* dapat diaplikasikan pada tanaman induk sebelum meristem diisolasi atau ke meristem tip saat kultur in vitro. Aplikasi pada tanaman induk tidak terlalu merusak sehingga lebih mudah berkembang menjadi *plantlet* dengan kemungkinan bebas virus karena perlakuan panas menghambat multiplikasi virus.

Mekanisme eradikasi virus diduga akibat induksi perubahan sitoplasma yang menghambat multiplikasi dan transport virus, pembentukan o-quinones, aktivasi *ribonuklease*, penghambatan replikasi DNA. Beberapa laporan penelitian menunjukkan bahwa kultivar kentang telah bebas dari PVX dan PVS dengan *thermoterapi*. Pemberian perlakuan panas selama 14 - 42 hari pada suhu 30C mampu menghasilkan bibit bebas virus PVX.

Kemoterapi dapat juga diaplikasikan untuk kultur meristem in vitro, atau pada tanaman sebelum meristem diisolasi. Pada kultur in vitro meristem, bahan kimia ditambahkan pada media kultur, namun dapat memengaruhi pertumbuhan meristem. Bahan yang paling sering digunakan adalah analog sintetik *guanosine*, yaitu *rivabirin* (virazole; 1- β Dribofuranosyl-1, 2,4-triazole-3-carboxamide), yang jika ditambahkan ke media pada konsentrasi 10-50 mg/l, efektif terhadap PVX, PVY, PVS dan PVM pada kentang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan eradikasi virus menunjukkan hasil yang lebih efisien untuk eradikasi virus dibandingkan metode tunggal. Misalnya, shoot tip *cryotherapy* gagal untuk mengeradikasi raspberry bushy dwarf virus (RBDV) (Wang et al., 2009) dan *apple stem grooving virus* (ASGV) (Zhao et al., 2018). Sedangkan kombinasi antara *thermotherapy* dengan *shoot tip cryotherapy* menghasilkan masing-masing 33% dan 100% bebas RBDV (Mink et al., 1998) and ASGV (Wang et al., 2009). Skiada et al. (2009) melaporkan bahwa kombinasi *thermotherapy* dengan *shoot tip culture* berhasil untuk mengeradikasi *grapevine leafroll-*

associated virus 1 (GLRaV-1), yang merupakan virus yang mudah dieradikasi dan *grapevine rupestris stem pitting-associated virus* (GRSPaV), yang merupakan virus yang sulit di eradikasi dari tanaman anggur.



Gambar 5.1: Skema produksi bibit bebas virus secara invitro

4. Rekayasa genetika melalui genom editing

Bioteknologi merupakan sebuah cabang Ilmu yang mempelajari pengambilan manfaat dari suatu makhluk hidup seperti fungi, bakteri, virus, dan yang lainnya dalam sebuah proses produksi untuk menghasilkan barang dan jasa. Bioteknologi juga dikenal sebagai bidang penerapan biosains dan teknologi yang menyangkut penerapan organisme hidup serta pengolahan lingkungan. Rekayasa genetik dapat mengatasi masalah ketidakcocokan dan *linkage drag* karena introgresi gen-gen penting dilakukan dengan mengintroduksi gen secara langsung ke dalam genom tanaman. Suatu gen yang tidak terdapat pada suatu spesies tanaman tertentu dimungkinkan untuk dapat diperoleh dari organisme lain, seperti bakteri, virus, binatang dan tanaman lain dan dipindahkan ke tanaman. Sebagai contoh gen penyandi protein selubung virus (coat protein gene), diisolasi dari virus untuk memperoleh resistensi. Bila

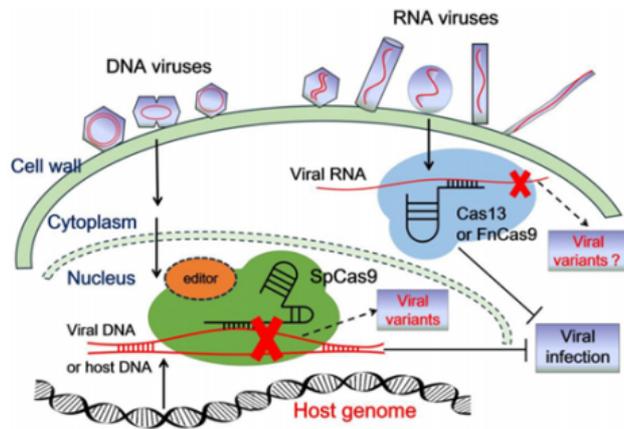
gen tersebut terekspresi ke dalam tanaman akan terjadi akumulasi protein pembungkus virus. Mekanisme resistensi ini berperan pada tingkat awal proses replikasi virus, dengan menghalangi proses replikasi secara tidak terkendali dari partikel virus

Metode lainnya yang dapat digunakan untuk mengedit genom tanpa menambahkan DNA dari organisme lain adalah RNAi, ZFN, TALEN, dan CRISPR. ZFN dan TALEN mengedit gen saat sudah menjadi protein sehingga membutuhkan waktu yang cukup rumit untuk bisa mengedit semua protein yang dituju. RNAi mengedit gen pada tahanan RNA, yaitu dengan membuat RNA yang memiliki sekuens komplemen dengan RNA target. Sedangkan CRISPR dapat mengedit gen pada tahap DNA, sehingga hanya dengan satu kali mutasi namun mampu memengaruhi sifat target.

Mojica (2005), melaporkan bahwa CRISPR ini berisi sejumlah gen yang berfungsi sebagai suatu bentuk adaptasi sistem imun yang melindungi *Archaea* (organisme prokariotik yang hidup pada habitat ekstrim) dan bakteri dari serangan virus. Penemuan kluster gen CRISPR diiringi dengan penemuan beberapa gen-gen yang terkait dengan keberadaan sistem tersebut. Kelompok gen-gen tersebut diistilahkan dengan Cas. Cas (CRISPR associated genes) adalah kelompok gen-gen yang berasosiasi dengan gen-gen CRISPR. Gen-gen Cas mengandung gen-gen yang terlibat dalam pembentukan protein nuklease maupun helikase yakni kelompok enzim yang berfungsi dalam pemotongan DNA (Jansen et al., 2002). Sampai saat ini terdapat 45 gen Cas dan yang paling mendapat perhatian adalah Cas9.

Metode editing gen CRISPR/Cas9 telah diadopsi di hampir 20 spesies tanaman sejauh ini (Ricroch et al., 2017) untuk berbagai sifat termasuk peningkatan hasil, manajemen stres biotik dan abiotik. Inaktivasi gen (knock-out) melalui sistem CRISPR/Cas9 dapat digunakan untuk mengeliminasi gen-gen yang mempunyai pengaruh negatif terhadap kualitas pangan, mengatasi kerentanan terhadap patogen atau untuk mengalihkan lintasan metabolik dari produk akhir

yang bermanfaat. Ilustrasi ketahanan terhadap virus melalui genom editing menggunakan CRISPR dapat dilihat pada gambar 5.2



Gambar 5.2: Ilustrasi ketahanan terhadap virus melalui genom editing menggunakan CRISPR

Bab 6

Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

6.1 Pendahuluan

Virus merupakan suatu agensia *mikroskopis* yang hanya mampu berkembang biak pada suatu sel hidup. Ini lah yang membedakan virus dengan patogen tanaman lainnya. Penyebaran virus dapat bersifat meluas pada seluruh inang hidup, salah satunya pada tumbuhan. Infeksi virus pada tumbuhan dapat menyebabkan berbagai serangan penyakit yang berdampak pada penurunan produksi. Dalam perkembangannya, virus melakukan replikasi saat menginfeksi suatu inang tumbuhan dengan cara memanfaatkan sel-sel yang dimiliki oleh inangnya. Secara umum, replikasi virus dapat diartikan sebagai proses pembentukan dan perbanyakan komponen-komponen virus di dalam sel inang. Replikasi adalah hal yang dilakukan pertama kali oleh virus setelah masuk ke dalam sel tanaman.

Berdasarkan penelitian Te`csi et al. (1996), virus yang masuk ke dalam sel tanaman akan melakukan replikasi dan membentuk protein virus. Pada saat itu, tanaman akan mengalami peningkatan aktivitas protein *anapleorotik*, peningkatan laju fotosintesis dan peningkatan kandungan pati. Setelah laju replikasi menurun maka laju fotosintesis pun ikut menurun. Sedangkan

menurut Funayama dan Terashima (2006), hal tersebut juga diikuti peningkatan glikolisis dan respirasi dalam mitokondria yang ditunjukkan dengan terjadinya klorosis pada daun.

6.2 Komponen Replikasi Virus

Proses replikasi virus berlangsung dengan bantuan beberapa komponen yang terbagi pada beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Komponen Replikasi Virus

Perkembangan virus pada tumbuhan memiliki berbagai aspek pendukung sama halnya dengan virus pada sel inang lainnya. Aspek tersebut nantinya akan mendukung berbagai aktivitas pada proses replikasi virus sehingga terbentuk virus baru. Menurut Hull (2014), aspek dalam replikasi virus sebagai berikut.

a. Komponen Penting untuk Sintesis Virus

Fase sintesis merupakan fase perbanyakan materi genetik virus (genom) menggunakan sel genetik inang (berupa asam amino dan nukleotida). Sel genetik tersebut nantinya akan disintesis oleh sel inang melalui metabolisme dan selanjutnya terbentuk protein dan asam *nukleat* virus baru.

b. Energi

Proses replikasi pada virus membutuhkan energi pendukung, salah satunya yang berperan besar berasal dari sel inang. Energi tersebut berperan dalam polimerisasi khususnya pada proses sintesis protein virus dan RNA terutama dalam bentuk nukleosida trifosfat (NTPs).

c. Sintesis Protein

Sistem dalam sintesis protein menggunakan berbagai bagian sel yang berperan penting selama sintesis berlangsung. Proses tersebut berlangsung menggunakan *ribosom*, enzim, tRNA, serta mRNA virus. Sebagian besar, proses sintesis pada sel tanaman

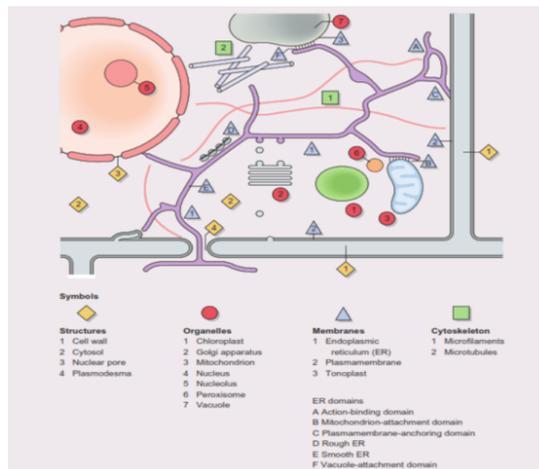
juga dipengaruhi oleh enzim inang yang berperan pada saat *pascatranslasi* protein, misalnya saat proses *glikosilasi*.

d. Sintesis Asam Nukleat

Virus melakukan sintesis asam nukleat pada sel inangnya. Proses tersebut menyebabkan virus membutuhkan enzim yang mampu mendukung proses sintesis. Seluruh virus dalam prosesnya melakukan pengkodean terhadap enzim yang terlibat dalam sintesis asam nukleatnya, namun tidak akan membawa seluruh polipeptida yang terlibat dalam proses tersebut di hasil akhirnya.

e. Komponen Struktural Sel

Komponen dalam struktural sel yang terlibat dalam replikasi virus memengaruhi proses selama replikasi berlangsung. Komponen tersebut di antaranya meliputi Sitoplasma, Nukleus, Kloroplast, Mitokondria, Badan Golgi, serta khususnya Membran sel. Komponen struktural tersebut secara lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1: Struktur Komponen Sel pada Replikasi Virus (Hull, 2014)

f. Sistem Ketahanan Tanaman

Ketahanan tanaman terhadap serangan virus memiliki peranan penting dalam berbagai proses replikasi. Contoh dalam

mekanisme ini ialah *Virus Induce Gene Silencing* (VIGS) juga dikenal sebagai *RNA interference* (RNAi) merupakan suatu teknik untuk membungkam gen pasca transkripsi (post transcriptional gene silencing/PTGS) dan memanfaatkan mekanisme pertahanan alami yang digunakan oleh tanaman untuk melindungi dari serangan virus. Tanaman yang terinfeksi virus akan menginduksi *double stranded RNA* (dsRNA yang dimediasi PTGS untuk mendegradasi RNA virus. *Genome virus* dimodifikasi dengan menghilangkan gen yang berperan dalam menimbulkan gejala virus dan melakukan *kloning cDNA genome* virus ke dalam vektor dengan promotor CaMV35S. Virus yang tidak memiliki gen pembungkaman dimodifikasi sebagai vektor VIGS untuk mendegradasi mRNA tanaman target. Vektor VIGS dibuat dengan mengkloning sebuah fragmen dari gen target tanaman dengan generasi siRNA (Ramewgoda et al., 2014).

6.3 Tahapan Replikasi Virus

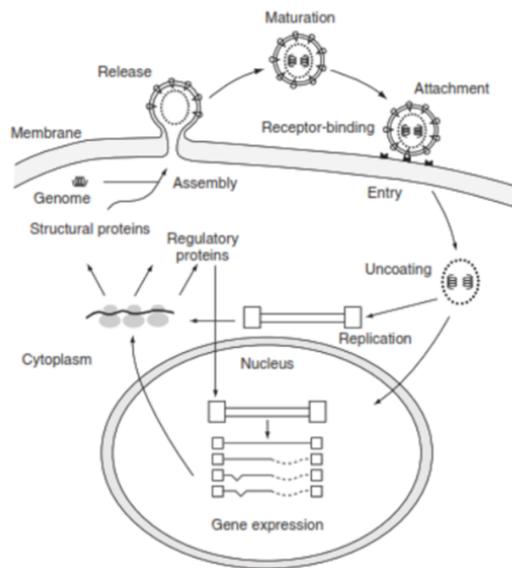
Perkembangan virus pada tanaman tidak bersifat dependent sehingga diperlukan faktor lain yang mampu membantu proses infeksi. Faktor yang dapat membantu infeksi tersebut di antaranya luka pada tanaman atau adanya perantara dari vektor virus. Kemampuan sintesis virus menjadi salah satu faktor penting dalam infeksi virus. Virus harus berkembang di dalam inang untuk terjadinya infeksi. Terjadinya kontak antara virus dan sitoplasma inang yang rentan akan memberi peluang bagi virus untuk terus menginfeksi.

Menurut Cann (2008), tahapan perkembangan virus terbagi menjadi 8 tahap utama sebagai berikut:

1. Attachment

Perbanyakan virus pada suatu tumbuhan diawali dengan pelekatan virus ke sel inang yang diinfeksi. Tempat pelekatan tersebut terjadi pada reseptor yang merupakan suatu protein (glikoprotein/residu karbohidrat yang berada pada glikoprotein atau glikolipid) dengan

fungsi sebagai membran plasma sel yang mampu mengenali virus. Pada tahapan ini, adanya reseptor pada permukaan sel inang memberikan pengaruh kepada tingkat infeksi virus karena berhubungan langsung terhadap jenis sel yang dapat direplikasi pada reproduksinya sehingga memengaruhi patogenesisnya.



Gambar 6.2: Tahapan Reproduksi Virus pada Tumbuhan (Cann, 2004)

2. Entry

Virus yang sudah menginfeksi sel inang selanjutnya diteruskan ke dalam sitoplasma sel. Proses ini bergantung pada ketersediaan energi yang mana sel yang dapat digunakan harus aktif secara metabolik. Tahapan *Entry* terbagi menjadi 3 tahap utama, yaitu 1) Translokasi seluruh partikel virus dengan melintasi sitoplasma, 2) *Endosytosis* virus ke dalam *vakuola intraseluler*, dan 3) Fusi selubung virus dengan membran sel yang dapat berlangsung pada permukaan sel atau sesuai dengan tahapan *endosytosis* dalam vesikel *sitoplasma*. Pada virus, terdapat 2 jenis fusi membran yang biasanya terjadi yaitu bergantung pada pH dan tidak bergantung pada pH.

3. Uncoating

Uncoating merupakan suatu proses perkembangan virus setelah masuk dalam sel ini yang mana terjadi degradasi sebagian atau seluruh kapsid virus dan genom virus akan mulai terpapar (asam nukleat-protein kompleks). Proses ini dapat terjadi dalam endosom yang dipicu pengasaman pH atau dapat langsung terjadi di Sitoplasma. Hasil akhir pada proses *uncoating* bergantung pada struktur virus/nukleokapsid, namun dalam beberapa kasus relatif sederhana.

4. Transkripsi dan Replikasi Genom Virus

Replikasi dan sintesis virus merupakan suatu tahapan perbanyakan virus yang memiliki perbedaan dalam prosesnya tergantung dengan bentuk rantai asam nukleat yang dimilikinya (genom). Berdasarkan pembagiannya, genom virus yang digunakan dalam replikasi virus terbagi menjadi 6, yaitu 1) Virus RNA rantai tunggal (ssRNA)/(-/+), 2) Virus RNA rantai ganda (dsRNA), 3) Virus DNA rantai tunggal (ssDNA), 4) Virus DNA rantai ganda (dsDNA), 5) RNA untai Tunggal dengan DNA Intermediete, dan 6) DNA Beruntai Ganda dengan RNA Intermediete (Cann, 2008).

Virus yang bereplikasi dengan susunan genom ssRNA merupakan suatu virus yang memiliki dua bentuk yaitu RNA negatif (-RNA) dan RNA positif (+RNA). -RNA berfungsi dalam replikasi ssRNA itu sendiri sehingga template yang terbentuk akan semakin banyak, sedangkan +RNA dapat juga dikatakan sebagai mRNA sehingga RNA ini dapat langsung ditranslasikan atau diterjemahkan menjadi protein. Dalam +RNA terkandung gen CP yang mengkodekan pembentukan mantel protein (Coat Protein) sehingga akan terbentuk virus baru (Hull, 2014). Sedangkan dsRNA merupakan suatu susunan genom yang memiliki genom tersegmentasi akibat transkripsi terpisah dari setiap segmen dalam menghasilkan individu RNA pembawa pesan monokistronik dan terjadi di sitoplasma (Cann, 2008).

Contoh replikasi virus dengan genom ssRNA dapat diketahui pada serangan *Tobacco Rattle Virus* (TRV) yang merupakan suatu virus yang memiliki 2 jenis genom yaitu TRV1 yang merupakan -RNA dan TRV2 yang merupakan +RNA. TRV1 berisi RNA-*dependent RNA polymerase* (RdRP) yang mereplikasi TRV1 dan TRV2 dan mengekspresikan RNA subgenomik dari daerah pengkodean lainnya. TRV1 juga mengkodekan protein pergerakan (MP) yang bertanggung jawab untuk memungkinkan pergerakan sel-ke-sel. TRV2 dapat juga dikatakan sebagai mRNA yang memiliki gen CP yang berfungsi sebagai protein mantel sehingga nantinya akan membungkus materi genetik (Ellison et al., 2020).

Replikasi virus pada genom ssDNA merupakan tahap awal dalam pembentukan dsDNA pada inti sel. Proses pembentukan virus baru terbagi dalam 2 tahap utama, yaitu transkripsi dan translasi. dsDNA tersebut nantinya akan melalui tahap transkripsi dan terbentuk mRNA. mRNA selanjutnya akan dibawa ke ribosom untuk diterjemahkan menjadi asam amino yang akan membentuk mantel protein (CP). Pada tahap akhir replikasi tersebut, gabungan mantel protein dan dsDNA akan membentuk virion (virus baru).

RNA untai Tunggal-*Intermediete* merupakan genom retrovirus yang terdiri dari +RNA namun bersifat diplod dan tidak berperan secara langsung sebagai mRNA namun sebagai template yang berfungsi dalam transkripsi balik menjadi DNA (konversi). Enzim yang berperan dalam virus ini ialah *Reverse Transcriptase Enzyme* dan hanya diekspresikan dari DNA provirus yang biasa ditemukan pada retrovirus. Selain dari golongan RNA, kelompok virus DNA juga berperan dalam transkripsi terbalik namun prosesnya terjadi selama pematangan. Proses transkripsi pada golongan DNA diawali dengan perbaikan genom yang kemudian dilanjutkan adanya transkripsi, namun berbeda dengan RNA, pada DNA enzim melakukan konversi RNA virus menjadi DNA virus di dalam partikel virus, sedangkan pada golongan RNA, genom dilepaskan kedalam sel inang untuk selanjutnya melalui tahapan transkripsi.

5. Assembly

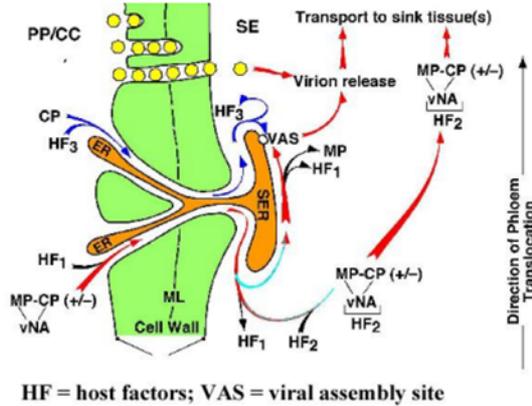
Virion yang telah terbentuk pada proses replikasi selanjutnya akan berkumpul pada tempat tertentu di dalam sel tumbuhan untuk dirakit sesuai dengan pola replikasi virus, pada umumnya terjadi di sitoplasma meskipun pada beberapa DNA virus terbentuk dalam nukleus. Pada tahap ini, umumnya membran sel berfungsi sebagai pengikat protein virus yang dapat memulai proses perakitan (Assembly).

6. Maturation

Virus yang telah dibentuk pada proses replikasi selanjutnya memasuki tahap pematangan di mana nantinya virus-virus dan protein yang telah tersusun sehingga virus dapat bersifat menular. Pada tahap ini, virus yang sebelumnya telah dirakit pada proses *Assembly* sering mengalami perubahan struktural pada partikel yang sebelumnya baru terbentuk akibat adanya pembelahan protein untuk membentuk produk matang (konformasi protein) misalnya saja adanya interaksi *hidrofobik*. Pembelahan tersebut seringkali menyebabkan terjadinya perubahan struktural substansial dalam kapsid atau struktural internal contohnya adanya kondensasi *nukleoprotein* dengan genom virus dan hanya bisa dilihat pada mikroskop elektron (Cann, 2008).

7. Tahap Pelepasan

Virus yang telah terbentuk sempurna selanjutnya keluar dari sel inang dengan memecahkan sel (umumnya pada virus litik). Biasanya, pada tahap ini sel yang terinfeksi akan hancur akibat adanya replikasi virus secara terus menerus sehingga mengganggu fungsi seluler, contohnya dalam proses ekspresi gen esensial. Selain itu, pelepasan partikel virus lainnya dapat diakibatkan adanya pengkodean protein yang merangsang atau biasa disebut apoptosis (Cann, 2008).



Gambar 6.3: Mekanisme penyebaran virus pada tanaman (Ariyanti, 2011)

Pada tahap pelepasan ini, virus akan bergerak dari sel ke sel lain sehingga dapat berkembang dan memberikan gejala serangan pada tanaman terserang (Gambar 3). Contohnya pada serangan *Pepper Yellow Curl Virus* pada cabai dengan vektor pembawa kutu kebul, virion serta protein lainnya (Coat Protein/CP dan Movement Protein/MP) memiliki peranan penting dalam penyebaran virus tumbuhan. CP dan MP selanjutnya akan bergerak dari RE menuju VAS untuk selanjutnya menyebar ke seluruh tumbuhan melalui floem. Fase selanjutnya, penyebaran akan semakin meluas ke sel tanaman sehingga menyebabkan timbulnya gejala penyakit, khususnya pada daun-daun muda.

Bab 7

Ekologi dan Epidemiologi Virus

7.1 Pendahuluan

Ekologi merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang interaksi atau hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya. Hubungan timbal balik tersebut meliputi interaksi yang berkaitan dengan distribusi dan kelimpahan makhluk hidup serta hubungannya dengan alam. Selanjutnya ekologi virus tumbuhan diartikan sebagai cabang ilmu yang mempelajari interaksi antara virus dan tanaman inang yang menyebabkan penyebaran penyakit serta dapat merugikan secara ekonomi (Islam et al., 2017).

Epidemi didefinisikan sebagai variasi jumlah penyakit dalam populasi inang di dalam ruang dan waktu tertentu (Janssen and Ruiz, 2021). Epidemiologi merupakan ilmu atau pengetahuan tentang perkembangan penyakit. Dalam perkembangan penyakit tanaman, epidemiologi yang dimaksud berhubungan dengan populasi patogen yang menginfeksi tanaman inang. Selain itu, epidemiologi juga berhubungan dengan penyakit yang diakibatkan oleh infeksi patogen yang juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan manusia. Epidemiologi umumnya mempelajari perkembangan penyakit dalam ruang dan dalam jangka waktu yang lama. Perkembangan penyakit tersebut umumnya terjadi secara berulang hingga membentuk suatu siklus.

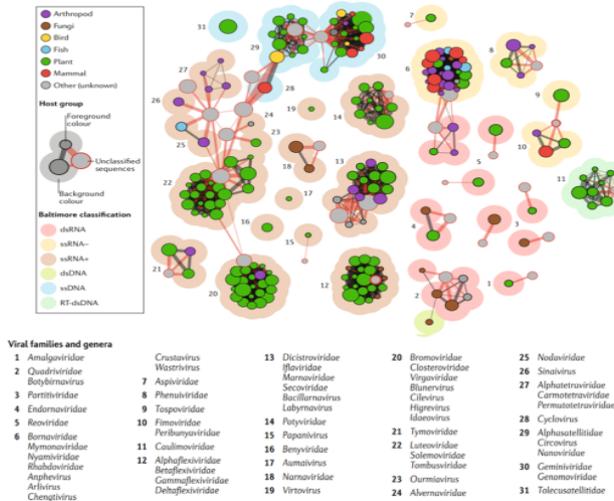
7.2 Ekologi Virus Tanaman

Ekologi virus tumbuhan adalah pengetahuan tentang hubungan dan interaksi antara populasi virus dengan inang dalam lingkungan tertentu. Ekologi virus tumbuhan dapat juga diartikan sebagai studi tentang perilaku virus dalam ekosistemnya dan faktor-faktor yang memengaruhi populasinya. Dalam ekologi virus tumbuhan dipelajari beberapa hal antara lain keanekaragaman virus tanaman, sampling virus dari tanaman yang terinfeksi secara langsung atau dari ekosistem lainnya, bagaimana virus menginvasi dan menyerang tanaman lain, interaksi antara komunitas tanaman yang polikultur dan terdapat tumbuhan liar, vektor serangga, virus persisten yang menunjukkan efek epigenetik, virus yang tertular melalui tanah dan ekosistem tanah di sekitarnya, dasar molekuler genomik virus; faktor ekologi berdampak pada virus tanaman dan teknologi modern (Manzoor et al., 2022).

7.2.1 Keanekaragaman Virus Tanaman

Ditemukan ada sekitar 5.560 spesies virus yang tergolong ke dalam 1.017 genus, 150 famili dan 19 Ordo. Spesies virus yang ditemukan tersebut diperoleh dari tanaman inang yang terinfeksi dan telah diidentifikasi. Pengetahuan tentang identifikasi virus sangat penting mengingat di alam sering ditemukan kombinasi inang dan virus yang beranekaragam dapat berakibat pada serangan pentakit yang lebih parah dan dapat merusak tanaman secara keseluruhan (Manzoor et al., 2022).

Kerabat terdekat virus yang tidak menyerang tanaman adalah virus yang menyerang jamur dan artropoda. Hal tersebut menunjukkan bahwa virus tanaman memiliki struktur genomik yang homolog dengan virus yang menyerang jamur dan *arthropoda*. Sebagai contoh *polymerase* RNA yang bergantung pada RNA dari *secovirus* adalah paling erat kaitannya dengan *polimerase* RNA yang bergantung pada RNA dari *secovirus* adalah *dicistroviruses*, *iflaviruses*, *marnaviruses*, *picornaviruses* dan virus yang belum teridentifikasi tapi menginfeksi nematoda parasit tanaman dan invertebrata lainnya. Selanjutnya beberapa virus yang menginfeksi artropoda, baru-baru ini banyak ditemukan menginfeksi tanaman. Contohnya virus dari Famili *Nodaviridae* yang diketahui menginfeksi *artropoda* selanjutnya diketahui juga menginfeksi tanaman secara sistemik (Lefeuvre et al., 2019).



Gambar 7.1: Asal-usul virus tanaman (Lefevre et al., 2019)

7.2.2 Ekologi Vektor Serangga

Serangga dapat menjadi vektor virus yang menularkan virus dari tanaman sakit ke tanaman sehat. Ketertarikan serangga untuk datang ke tanaman sakit (tanaman yang terinfeksi virus) disebabkan oleh senyawa volatil yang dilepaskan oleh tanaman tersebut. Hal tersebut dapat mengarah pada kesimpulan bahwa serangga memakan tanaman yang terinfeksi virus lebih banyak dari tanaman yang sehat. Selanjutnya virus tanaman yang bersifat persistan akan membuat tanaman lebih menarik bagi serangga daripada virus tanaman yang tidak persisten. Hal inilah yang membuat serangga menjadi vektor virus yang efektif. Virus juga dapat memodifikasi siklus hidup serangga vektor. Selain itu, virus juga dapat memengaruhi kebugaran dan perilaku serangga baik secara langsung maupun tidak langsung. Perubahan langsung tersebut dapat terjadi di dalam serangga vektor selama virus berada di dalam tubuh serangga vektor (Manzoor et al., 2022).

Penularan virus dari tanaman sakit ke tanaman sehat yang dilakukan oleh vektor serangga dilakukan dengan dua cara yaitu melalui peredaran darah dan tanpa melalui peredaran darah. Penularan melalui peredaran darah dan *hemocoel* serangga. Sedangkan penularan virus tanpa peredaran darah hanya melibatkan bagian depan atau mulut serangga (Janssen and Ruiz, 2021).

Penularan virus tanpa melalui peredaran darah atau disebut juga penularan non-sirkulatif. Virus terhisap oleh vektor saat menghisap tanaman dan selanjutnya virus menempel pada kutikula yang melapisi makanan dan juga saluran air liur di dalam bagian mulut (stilet). Virus tersebut hanya sementara berada di bagian tersebut dan akan diinokulasikan kembali ke tanaman inang yang baru. Sedangkan penularan virus yang melalui peredaran darah disebut juga penularan sirkulatif. Virus terhisap dan dicerna bersama sari tanaman oleh serangga. Virus selanjutnya melewati epitel usus, berdifusi ke dalam hemolimf dan menuju ke kelenjar ludah tanpa melakukan perbanyakan. Selanjutnya virus dapat disekresikan dan diinokulasikan ke tanaman inang yang baru bersama air liur serangga. Penularan virus melalui peredaran darah, ada juga yang melakukan perbanyakan atau replikasi virus di dalam usus, kelenjar ludah atau jaringan serangga lainnya (Gutiérrez et al., 2013). Interaksi virus, vektor dan tanaman inang dapat dilihat pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1: Beberapa mode penularan virus oleh serangga (Gutiérrez et al., 2013)

Mode transmisi	Melalui peredaran darah		Tanpa melalui peredaran darah	
	Propagatif	Non-propagatif	Strategi kapsid	Strategi pembantu
Waktu akuisisi	Menit – jam	Menit – jam	Detik – jam	Detik – jam
Waktu retensi	Hari – bulan	Hari – bulan	Menit – jam	Menit – jam
Waktu inokulasi	Menit – jam	Menit – jam	Detik – menit	Detik – menit
Asosiasi dengan vektor	Internal	Internal	Eksternal	Eksternal
Perbanyakan di dalam vektor	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Persyaratan HC	Tidak	Tidak	Tidak	Ya

7.2.3 Ekologi Virus di Tumbuhan Liar

Tumbuhan liar dapat menjadi inang alternatif bagi virus ketika tanaman utama tidak ada. Selanjutnya tumbuhan liar yang telah menjadi inang virus dapat menjadi sumber infeksi bagi tanaman yang baru. Selanjutnya ekologi virus pada tanaman liar dipengaruhi oleh kebugaran tanaman liar tersebut. Ketika virus menginfeksi tumbuhan liar yang tumbuh pada komunitas alami (spesiesnya beraneka ragam), kebugaran relatif tanaman yang terinfeksi dapat

tumbuh sebagai reaksi bertahan dan berkompetisi dengan tanaman sehat (Manzoor et al., 2022).

7.2.4 Ekologi Virus Tular Tanah

Virus tular tanah sebagian besar ditularkan atau dibawa oleh jamur. Virus ditularkan ke akar dan umbi tanaman yang sehat melalui zoospora jamur. Selanjutnya virus dapat bertahan di dalam spora selama 12 tahun di dalam tanah setelah tanaman tumbuh. Akar tumbuhan liar yang ada di sekitarnya menjadi inang alternatif saat tanaman utama tidak ada. Tumbuh liar tersebut menjadi sumber infeksi saat penanaman musim tanam berikutnya (Manzoor et al., 2022). Selain melalui vektor, virus tular tanah dapat juga menyebar dari akar tanaman yang terinfeksi dan ditularkan secara abiotik (Roberts, 2014). Interaksi vektor dan virus tular tanah dapat dilihat pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2: Interaksi vektor dan virus tular tanah (Roberts, 2014)

Ordo	Famili	Spesies	Vektor	
Picornavirales	Secoviridae	<i>Cherry rasp leaf virus</i>	<i>Xiphinema</i>	
		<i>Satsuma dwarf virus</i>	Unknown	
		<i>Strawberry latent ringspot virus</i>	<i>Xiphinema</i>	
		Secoviridae	<i>Arabidopsis mosaic virus</i>	<i>Xiphinema</i> and <i>Longidorus</i>
		Comoviridae	<i>Artichoke Italian latent virus</i>	
			<i>Beet ringspot virus</i>	
			<i>Cherry leaf roll virus</i>	
			<i>Grapevine fanleaf</i>	
			<i>Mulberry ringspot virus</i>	
			<i>Peach rosette mosaic virus</i>	
			<i>Raspberry ringspot virus</i>	
			<i>Tobacco ringspot virus</i>	
			<i>Tomato black ring virus</i>	
		<i>Tomato ringspot virus</i>		
Unassigned	Potyviridae	<i>Barley mild mosaic virus</i>	<i>Polymyxa</i>	
		<i>Barley yellow mosaic virus</i>		
		<i>Oat mosaic virus</i>		
		<i>Rice necrosis mosaic virus</i>		
		<i>Wheat spindle streak virus</i>		
		<i>Wheat yellow mosaic virus</i>		
		<i>Freestria sneak virus</i>	<i>Olpidium</i>	

Ordo	Famili	Spesies	Vektor
		<i>Lettuce ring necrosis virus</i>	
		<i>Mirafiori lettuce big-vein virus</i>	
		<i>Tulip mild mottle mosaic virus</i>	
	<i>Tombusviridae</i>	<i>Cucumber soil-borne virus</i>	Abiotic transfer
		<i>Galinsoga mosaic virus</i>	Unknown
		<i>Melon necrotic spot virus</i>	<i>Olpidium</i>
		<i>Carnation ringspot virus</i>	<i>Olpidium</i>
		<i>Red clover necrotic mosaic virus</i>	Abiotic transfer
		<i>Sweet clover necrotic mosaic virus</i>	
		<i>Cucumber necrosis virus</i>	<i>Olpidium</i> and abiotic transfer
		<i>Cymbidium ringspot virus</i>	<i>Olpidium</i> and abiotic transfer
		<i>Petunia asteroid mosaic virus</i>	
		<i>Tomato bushy stunt virus</i>	
		<i>Beet black scorch virus</i>	<i>Olpidium</i>
		<i>Chenopodium necrosis virus</i>	
		<i>Tobacco necrosis virus A</i>	
Ordo	Famili	Spesies	Vektor
		<i>Tobacco necrosis virus D</i>	
	<i>Virgaviridae</i>	<i>Chinese wheat mosaic virus</i>	<i>Polymyxa</i>
		<i>Japanese soil-borne wheat mosaic virus</i>	
		<i>Oat golden stripe virus</i>	
		<i>Soil-borne cereal mosaic virus</i>	
		<i>Soil-borne wheat mosaic virus</i>	
		<i>Sorghum chlorotic spot virus</i>	
		<i>Peanut clump virus</i>	<i>Polymyxa</i>
		<i>Indian peanut clump virus</i>	
		<i>Beet soil-borne virus</i>	<i>Polymyxa</i> and
		<i>Beet virus Q</i>	<i>Spongospora</i>
		<i>Broad bean necrosis virus</i>	

Ordo	Famili	Spesies	Vektor
		<i>Potato mop-top virus</i>	
		<i>Pea early-browning virus</i>	<i>Paratrichodorus</i> and
		<i>Pepper ringspot virus</i>	<i>Trichodorus</i>
		<i>Tobacco rattle virus</i>	
	Unassigned	<i>Beet necrotic yellow vein virus</i>	<i>Polomyxa</i>
		<i>Beet soil-borne mosaic virus</i>	
		<i>Rice stripe necrosis virus</i>	
		<i>Lettuce big-vein virus</i>	<i>Olpidium</i>
		<i>Watercress yellow spot virus</i>	<i>Spongospora</i>

7.2.5 Faktor Iklim yang Memengaruhi Ekologi Virus Tanaman

Ekologi virus turut dipengaruhi oleh perubahan lingkungan. Faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap ekologi virus di antaranya suhu, kelembababan, curah hujan. Perubahan lingkungan tersebut secara langsung dan tidak langsung berpengaruh terhadap vektor virus dan tanaman inang (Manzoor et al., 2022). Perubahan iklim dapat memengaruhi virulensi dan patogenesitas virus tanaman yang berakibat pada peningkatan keparahan penyakit (Trebicki, 2020).

7.3 Epidemiologi Virus Tanaman

Epidemiologi penyakit tanaman merupakan ilmu pendekatan kuantitatif dengan tujuan mendeskripsikan, memahami, dan memprediksi epidemi, serta mengintervensi sebagai upaya mengurangi akibat serangan penyakit pada populasi tanaman. Selanjutnya epidemiologi virus tanaman diartikan sebagai siklus perkembangan virus di dalam populasi tanaman selama waktu tertentu. Epidemiologi virus tersebut berhubungan dengan penyebaran virus di suatu ekosistem.

Dalam epidemiologi virus tanaman juga berlaku konsep segitiga penyakit. Konsep segitiga penyakit tersebut terdiri dari inang yang rentan, patogen yang virulen, dan lingkungan abiotik yang kondusif (Jeger, 2020).



Gambar 7.2: Berbagai aspek segitiga penyakit tanaman. (A) Tidak ada faktor pendukung, (B) Patogen virulen ada tapi dua faktor lainnya tidak ada, (C) Ada inang yang rentan tetapi tidak ada patogen dan lingkungan yang mendukung, (D) Hanya lingkungan yang menguntungkan yang berlaku tetapi dua faktor lainnya tidak ada, (E) Ketiga faktor yaitu patogen virulen, kultivar tanaman rentan dan lingkungan yang kondusif ada pada saat yang bersamaan (Islam, 2018)

7.3.1 Tingkat Keparahan Penyakit

Virus menyerang tanaman inang dengan berbagai tingkat keparahan. Beberapa virus menyebabkan kematian pada tanaman. Namun sebagian lagi hanya menyebabkan gejala penyakit ringan pada tanaman. Dari sisi epidemiologi virus tanaman, virus yang mengakibatkan gejala penyakit ringan akan lebih berbahaya. Hal tersebut dikarenakan penularan virus akan terus berlangsung ke tanaman lain yang ada di sekitarnya dan akan berkembang secara efisien. Selanjutnya interaksi beberapa spesies virus akan mengakibatkan peningkatan keparahan penyakit pada tanaman inang (Manzoor et al., 2022).

Berbagai gejala penyakit yang diakibatkan oleh infeksi virus di antaranya penghambatan pertumbuhan (tanaman menjadi kerdil), perubahan warna (mosaik, klorosis dan variegasi), deformasi (daun mengkerut, daun berubah menjadi seperti benang), nekrosis, dan gangguan fase generatif (partenokarpi dan kerontokan bunga) (Nazarov et al., 2020).

7.3.2 Kisaran Inang

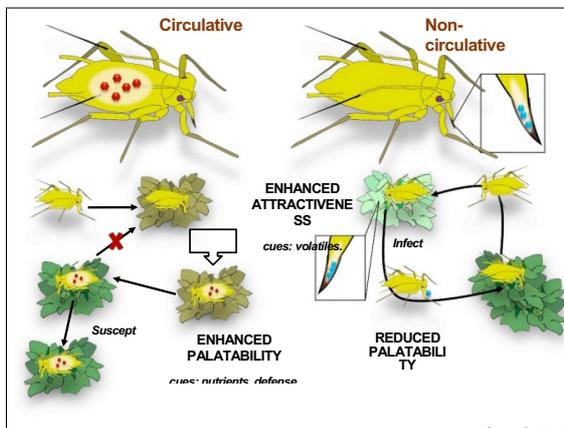
Kisaran inang virus diartikan sebagai jumlah spesies inang dari virus. Beberapa virus hanya mengakibatkan penyakit pada genus tertentu saja. Sedangkan jenis virus lainnya dapat mengakibatkan penyakit pada berbagai spesies tanaman.

Virus yang menginfeksi satu atau beberapa spesies tanaman dinamakan virus spesialis. Sedangkan virus yang menginfeksi beberapa spesies tanaman yang berbeda bahkan dalam famili yang berbeda dinamakan virus generalis (Kumar, Bharti and Ranjan, 2021).

Kisaran inang virus tanaman dipengaruhi oleh intrinsik dan ekstrinsik. Faktor intrinsik yang memengaruhi kisaran inang virus adalah genetik virus yang menentukan kesesuaiannya dalam inang yang berbeda. Sedangkan faktor ekstrinsik yang memengaruhi kisaran inang di antaranya distribusi, kelimpahan, dan interaksi spesies. Selain itu faktor lain yang juga memengaruhi kisaran inang virus tanaman adalah kompleksitas interaksi faktor abiotik dan biotik yang juga dapat berdampak pada pola pelunaran, jangkauan inang dan munculnya penyakit (McLeish, Fraile and García-Arenal, 2019).

Vektor

Sebagian virus ditularkan dari tanaman sakit ke tanaman sehat melalui vektor. Beberapa vektor yang dapat menularkan virus di antaranya serangga, nematoda, tungau, dan jamur. Penularan virus paling banyak ditemukan oleh vektor serangga. Penularan virus oleh vektor serangga dapat berupa sirkulatif (melalui peredaran darah) atau nonsirkulatif (tanpa melalui peredaran darah). Virus sirkulatif umumnya diperoleh selama periode makan yang lama (biasanya di floem). Virus tersebut selanjutnya beredar dalam sistem peredaran darah vektor serangga (beberapa melakukan perbanyakan diri atau replikasi) dan selanjutnya berpindah ke jaringan tertentu seperti seperti kelenjar ludah agar dapat diinokulasikan kembali ke jaringan tanaman. Sedangkan virus non-sirkulatif hanya terikat pada bagian mulut atau usus depan vektor serangga selama beberapa jam hingga hari (Mauck, 2016).



Gambar 7.3: Mekanisme penularan virus pada tanaman oleh vektor serangga (Mauck, 2016)

Inang (Genotif, Kelimpahan dan Distribusi Inang yang Rentan, Tipe Inang, Keberadaan Tumbuhan Liar dan Inang Alternatif)

Epidemiologi virus tanaman dipengaruhi faktor inang di antaranya genotif, kelimpahan dan distribusi inang yang rentan, tipe inang, keberadaan tumbuhan liar dan inang alternatif.

Inang yang rentan atau inang yang tidak memiliki gen resisten dan didukung oleh kondisi lingkungan dapat membantu perkembangan dan keberlanjutan virus di suatu ekosistem. Selanjutnya virus akan berkembang dari beberapa tanaman yang rentan dan menular ke tanaman lainnya hingga berkembang ke populasi yang besar. Epideminya akan berkembang lebih cepat pada tanaman tahunan daripada tanaman berkayu yang hidup dalam jangka waktu yang lebih lama. Tumbuhan liar dapat menjadi inang alternatif virus saat tanaman utama telah dipanen (Manzoor et al., 2022).

Peran Benih, Serbuk Sari, Perdagangan Dunia dan Perbanyakan Tanaman secara Vegetatif dalam Penularan Virus

Beberapa spesies virus ditularkan melalui biji dan serbuk sari. Penularan virus melalui biji dan serbuk sari tersebut dibawa dengan bantuan vektor dari tanaman sakit ke tanaman yang sehat (Fetters et al., 2022). Selanjutnya penularan virus antar negara dipengaruhi oleh perdagangan bibit tanaman. Selain itu penularan virus juga dapat terjadi akibat perbanyakan tanaman secara vegetatif seperti

pencangkakan antara tanaman yang terinfeksi virus dengan tanaman yang sehat (Manzoor et al., 2022).

Faktor Lingkungan yang Memengaruhi

Faktor lingkungan berpengaruh baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap epidemi virus. Faktor lingkungan dapat berpengaruh terhadap vektor virus. Perubahan pola curah hujan umumnya memengaruhi epidemi virus yang dibawa oleh nematoda dan jamur. Selanjutnya angin berpengaruh terhadap vektor yang pergerakannya dipengaruhi oleh udara (seperti serangga) dan juga serbuk sari. Selain itu angin juga berpotensi menyebabkan kontak daun tanaman sakit dengan tanaman sehat. Temperatur udara berpengaruh terhadap pergerakan dan populasi vektor virus. Selanjutnya jumlah karbondioksida pada tanaman berpengaruh terhadap resistensi tanaman terhadap virus. Tingkat kesuburan tanah berpengaruh terhadap keparahan penyakit virus pada tanaman inang (Manzoor et al., 2022).

Bab 8

Dasar-Dasar Diagnosis Virus Tumbuhan

8.1 Pendahuluan

Virus merupakan *mikroorganisme* peralihan antara benda mati dan benda hidup. Virus disebut sebagai benda mati karena dapat berbentuk kristal serta disebut sebagai benda hidup karena virus ini dapat berkembang biak pada jaringan yang hidup. Jadi virus ini mempunyai perilaku seperti makhluk hidup, jika berada dalam sel inang, tetapi jika di luar sel inang virus merupakan partikel dan merupakan susunan molekul. Virus mempunyai struktur yang terdiri atas asam nukleat yaitu *Deoxyribo Nucleic Acid*/ DNA dan *Ribo Nucleic Acid* / RNA dan terbungkus oleh suatu lapisan protein yang disebut dengan kapsid. Setiap sub unit protein disebut kapsomer. Walaupun virus mempunyai berbagai macam ukuran dan bentuk, namun virus ini mempunyai motif struktural yang sama. Sebagai contoh virus mozaik tembakau yang mempunyai kapsid heliks dengan bentuk keseluruhan seperti batang kaku. *Adenovirus* mempunyai kapsid *polihedral* dengan tanduk *glikoprotein* yang terdapat pada setiap puncak. Akibat serangan virus pertumbuhan tanaman menjadi tidak normal. Pengelompokan virus sebagai patogen penyakit tanaman berdasarkan pada perbedaan gejala, cara penularan, sifat fisik kimia serologis dan fenomena hambatan. Gejala penyakit tanaman yang disebabkan

oleh virus biasanya perlahan dan sulit diketahui, contohnya terjadinya perubahan warna (daun), tumbuh kerdil, keriting atau keriput, dan sebagainya (Sutarman, 2017).

Virus tanaman dapat menimbulkan gejala mosaik dan kerdil. Satu jenis virus mungkin dapat menyerang beberapa spesies tanaman, dan satu spesies tanaman dapat diserang oleh banyak jenis virus. Seperti telah disebutkan bahwa virus terdiri dari asam nukleat (RNA atau DNA) yang dibungkus oleh suatu protein, umumnya berbentuk batang atau *polyhedral*. Sebagai contoh, virus tanaman yang terkenal yaitu TMV (Tobacco Mozaic Virus) berbentuk batang dengan ukuran sekitar 15 x 300 μm . Untuk perkembangbiakannya, virus tidak membelah diri ataupun membentuk spora, namun dengan cara menginduksi sel inangnya agar membentuk virus-virus baru. Deteksi virus antara lain dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron, penularan dari tanaman sakit ke tanaman sehat dengan cara pengolesan cairan perasan, menggunakan vektor dan cara serologi. Virus tanaman ditularkan dari satu tanaman ke tanaman lain melalui bahan vegetatif, benih, tepungsari, vektor (serangga, tungau, nematoda atau taliputri), atau secara mekanik dengan cairan tanaman sakit. Tersedianya inokulum pada tanaman sakit di lapangan dan adanya vektor dapat menyebabkan terjadinya infeksi dini dan penyebaran yang cepat. Vektor virus tanaman yang terpenting adalah serangga dari ordo Homoptera yang meliputi afid (kutu daun) dan wereng. Akibat terinfeksi virus, tanaman dapat menghasilkan protein baru yang mungkin dapat mengganggu metabolisme normal. Penurunan fotosintesis dapat terjadi karena penurunan jumlah dan efisiensi klorofil serta berkurangnya luasan daun (Tjahjono, 2021)

Untuk mendapatkan tanaman yang tinggi produktivitas dan berkualitas banyak sekali tantangan. Salah satunya adalah pengendalian virus. Virus pada tanaman memiliki kemampuan untuk memperbanyak diri dengan cepat dan mudah menyesuaikan dengan lingkungan sehingga penyebarannya dapat terus meluas, sehingga perlu dilakukan diagnosis virus tanaman. Tantangan pengembangan metode deteksi virus tumbuhan di antaranya yaitu *sensitivity* (sensitivitas), *specificity* (spesifikasi), dan *early detection* (deteksi cepat). Upaya deteksi cepat dapat menggunakan metode *hyperspectral* dan *Thermal Imaging Methods*, yaitu memanfaatkan perubahan warna dan suhu tanaman sebagai indikator tanaman sakit atau tidak.

Metode deteksi umum yang digunakan yaitu menggunakan *real time Polymerase Chain Reaction* (PCR) dan *Lamp-PCR*. Dalam mengembangkan teknik deteksi virus pada tanaman membutuhkan kolaborasi antara industri dan

petani, universitas, pusat penelitian serta karantina tanaman. Deteksi adanya virus pada tanaman dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung, serologi/molekuler, dan sensor cahaya/citra. Ketiganya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pada pengamatan langsung dapat dilakukan dengan mudah dan praktis, namun tidak spesifik dan berpeluang besar adanya keterbatasan visual pengamat. Pengamatan molekuler, memiliki keunggulan yang spesifik dan akurat, namun terdapat keterbatasan sebab fasilitas laboratorium yang kurang lengkap dan biaya yang tinggi. Adapun untuk deteksi sensor cahaya memiliki keunggulan yaitu mudah dan praktis untuk dilakukan dan dapat menguji jumlah sampel yang lebih banyak. Namun kelemahannya adalah tidak spesifik serta membutuhkan Sumberdaya Manusia (SDM) yang memiliki kemampuan komputasi dan analisis data. Cara deteksi ini gejala virus mosaik berbasis pengolahan citra termal (Termografi). Adapun tahapannya yaitu pertama dengan perekaman citra, kemudian pengolahan citra, lalu visualisasi citra berdasarkan tingkat warna. Selanjutnya adalah dengan analisis statistika data suhu. Saat analisis, berdasarkan pengolahan citra terdapat warna gelap dan terang. Gelap menandakan suhu yang lebih rendah dan terang menunjukkan suhu yang tinggi. Dari sini kita bisa mengetahui bahwa pada daun di setiap daerahnya memiliki suhu yang berbeda-beda (Hendayana, 2021).

8.2 Deteksi Virus pada Tanaman Nilam

Penyakit mosaik pada tanaman nilam disebabkan oleh beberapa jenis virus, yaitu *Potyvirus*, *Potexvirus*, *Cucumber mosaic virus* (CMV), dan Broad bean wilt virus 2 (BBWV2). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara serologi dan molekuler virus-virus yang berasosiasi dengan gejala mosaik pada nilam di KP. Manoko, KP. Cicurug dan lahan petani di Cijeruk. Sampel daun nilam baik yang menunjukkan gejala mosaik atau pun tidak diambil dari setiap lokasi penanaman masing-masing sebanyak 30 sampel.

Kejadian penyakit ditentukan melalui deteksi serologi dengan Direct-ELISA dan Indirect-ELISA terhadap sampel menggunakan empat antiserum, yaitu CMV, *Cymbidium mosaic virus* (CymMV), *Potyvirus*, dan BBWV2. Deteksi molekuler dengan RT-PCR dilakukan untuk mengonfirmasi virus baru yang ditemukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gejala infeksi virus yang ditemukan pada nilam bervariasi, yaitu mosaik lemah, mosaik kuning hijau,

mosaik dengan penebalan, mosaik dengan malformasi daun, dan bintik kuning. Secara serologi, kejadian virus pada setiap kebun bervariasi. Di KP Manoko, Potyvirus dan BBWV2 lebih dominan (100%) dibandingkan CymMV. Di KP Cicurug, kejadian *Potyvirus* dan CMV terlihat lebih dominan (83,3 dan 80%) dibandingkan BBWV2 dan CymMV, sedangkan di Cijeruk, BBWV2 lebih dominan (90%) dari Potyvirus (50%) dan CMV (13,3%). Hasil RT-PCR dengan primer *degenerate* BBWV, diidentifikasi BBWV2 pada sampel daun nilam dari Manoko, Cicurug, dan Cijeruk, sedangkan dengan primer general Potexvirus, diidentifikasi CymMV hanya dari sampel daun nilam dari asal Manoko. Hasil penelitian ini merupakan laporan pertama tentang BBWV2 dan CymMV pada tanaman nilam di Jawa Barat yang mengindikasikan bahwa virus merupakan kendala utama pada perbenihan nilam yang harus segera diatasi (Miftakhurohma et al., 2013).

8.3 Deteksi Virus pada Tanaman Gamal

Deteksi CMV secara molekuler pada tanaman sampel gamal cabai dilakukan melalui teknik RT-PCR. Pelaksanaan RT-PCR meliputi ekstraksi RNA total dari jaringan tanaman gamal dan cabai yang bergejala mosaik untuk memisahkan RNA tanaman dan RNA virus dengan menggunakan *reagen GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit* (Thermo Scientific, USA). Dengan menggunakan hasil ekstraksi total RNA yang diekstraksi dari tanaman gamal dan cabai, dibentuk cDNA pada reaksi balik atau *Reverse Transcription* (RT) dengan primer CMV-CP-R (5'- TCAAAGTGGGAGCACCCAGATGTG - 3'). DNA komplementer (cDNA) yang terbentuk langsung digunakan sebagai cetakan dalam reaksi PCR menggunakan pasangan primer CMV-CP-R dan CMV-CP-F (5'- ATGGACAAATCTGAATCA ACCAGTG -3'). Urutan sikuen primer didesain berdasarkan sikuen *nukleotida* RNA-2 dari CMV isolat cabai asal Thailand dengan nomor aksesori FR820451 yang tersedia di GenBank sehingga dapat mengamplifikasi genom virus pada bagian *coat protein* (CP) dengan produk PCR sebesar 657 bp.

Berdasarkan atas pengamatan gejala di lapangan, uji serologi melalui penelitian pendahuluan dan molekuler yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa gejala mosaik pada tanaman gamal dan cabai tersebut diinfeksi oleh CMV. Gulma yang tumbuh di sekitar pertanaman cabai dapat menjadi inang alternatif yang menjadi sumber inokulum virus yang disebarkan

oleh vektor virus pada pertanaman cabai. Infeksi CMV pada tanaman gamal sebagai tanaman barier pada pertanaman cabai menyebabkan virus memperoleh inang alternatif baru selain gulma untuk bertahan hidup, disamping itu gamal juga merupakan tanaman pohon tahunan sehingga virus dapat hidup bertahun-tahun pada tanaman gamal. Melalui penelitian ini, maka keberadaan gamal sebagai tanaman barier yang berpotensi sebagai inang alternatif virus pada pertanaman cabai perlu diwaspadai karena keberadaan sepanjang tahun meskipun tanaman cabai serta gulma telah dikendalikan. Karakteristik gejala mosaik pada tanaman gamal identik dengan karakteristik gejala mosaik pada tanaman cabai yang diinfeksi oleh CMV (Cucumber Mosaic Virus) pada pertanaman cabai petani di Desa Kerta Payangan, Gianyar dan keberadaan CMV pada tanaman gamal identik dengan keberadaan CMV pada tanaman yang ditemukan pada pertanaman cabai petani di Desa Kerta, Payangan, Gianyar (Pranatayana et al., 2014).

8.4 Deteksi Virus pada Tanaman Mentimun

Gejala infeksi virus banyak ditemukan di pertanaman mentimun di Jawa Barat. Namun, sulit membedakan virus penyebab hanya berdasarkan pengamatan gejala visual. Penelitian ini bertujuan untuk pemutakhiran data virus yang menginfeksi mentimun di Kabupaten Bogor, Karawang dan Subang, Jawa Barat. Sampel tanaman bergejala dikoleksi dari tiap lokasi. Frekuensi virus ditentukan secara serologi dengan metode DIBA (dot immunobinding assay) menggunakan antiserum *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Cucurbit aphid borne yellow virus* (CABYV), *Cucurbit green mottle mosaic virus*

(CGMMV), *Papaya ringspot virus* (PRSV), *Squash mosaic virus* (SqMV), *Watermelon mosaic virus* (WMV), dan *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV). Deteksi asam nukleat dilakukan terhadap virus baru yang dominan dengan *reverse transcription polymerase chain reaction* (RT-PCR)/PCR. Hasil deteksi menunjukkan bahwa frekuensi virus CMV, CABYV, CGMMV, PRSV, SqMV, WMV, dan ZYMV berturut-turut di Bogor mencapai 98%, 100%, 86%, 0%, 8%, 32%, dan 6%, di Subang mencapai 86%, 100%, 88%, 2%, 8%, 60%, and 46%, dan di Karawang 100%, 100%, 98%, 14%, 72%, 68%, and 64%. CMV, CABYV, and CGMMV were the most common viruses

detected in three regencies, while PRSV only detected on samples from Subang and Karawang. RT-PCR/PCR menggunakan primer spesifik atau universal belum berhasil mendeteksi CGMMV dan WMV, namun berhasil mengonfirmasi keberadaan PRSV, Polerovirus, dan Begomovirus (Laili dan Damayanti, 2019).

8.5 Deteksi Virus pada Tanaman Tebu

Propinsi Jawa Timur dikenal sebagai penghasil gula kristal tebu terbesar di Indonesia dengan kontribusi nasional mencapai 49 persen. Budidaya tebu secara luas menghadapi banyak gangguan di lapangan. Di antaranya perubahan iklim, keterbatasan pengairan dan serangan hama penyakit. Salah satu penyakit tebu yang sulit dikendalikan adalah penyakit mosaik yang disebabkan oleh virus mosaik tebu (Sugarcane mosaic Virus = SCMV, genus Potyvirus, familia Potyviridae). Penurunan produksi akibat penyakit mosaik tercatat mencapai 10-32 persen untuk bobot dan hasil gula menurun 6-10 persen.

Data survey yang dilakukan PT Perkebunan Nusantara XI tahun 2014 mengungkapkan bahwa tingkat terjadinya serangan penyakit mosaik tebu mencapai 26-78% di kebun bibit. Oleh karenanya diperlukan metode deteksi cepat untuk identifikasi virus, sebagai bagian dari manajemen pengendalian penyakit. Diagnosis untuk menentukan virus penyebab mosaik tebu seringkali bias apabila hanya didasarkan pada gejala visual yang tampak di daun. Pada umumnya metode deteksi virus penyebab penyakit menggunakan prosedur berbasis serologi atau berbasis asam nukleat (molekuler). Metode serologi banyak digunakan untuk deteksi penyakit tanaman karena preparasi sampel mudah, dapat dikerjakan pada laboratorium sederhana dan tidak memerlukan banyak tenaga ahli.

Metode deteksi berbasis serologi memanfaatkan kemampuan antibodi, yang dibuat pada hewan coba, untuk mengenali protein tertentu dari virus sasaran. Untuk meningkatkan akurasi deteksi berbasis serologi diperlukan antibodi dengan sensitivitas dan spesivitas tinggi yang diperoleh melalui penggunaan antibodi monoklonal dan antibodi spesifik. Namun demikian, isolasi virion murni *Potyvirus* sebagai antigen untuk menginduksi antibodi, sulit dilakukan karena cenderung membentuk *agregat ireversibel* dengan sisa material sel tanaman maupun sesama virion sehingga stabilitasnya rendah.

Disamping itu, *purifikasi virion* dari preparasi yang berbeda menghasilkan kadar dan spesivitas yang berbeda pula. Untuk mengatasi kesulitan ini, teknik molekuler biologi digunakan dengan cara mengkloning dan mengekspresikan gen struktural virus ke bakteri *Escherichia coli*. Dalam menghasilkan antigen rekombinan yang layak sebagai inducer antibodi, diperlukan teknik purifikasi yang tepat untuk melindungi struktur protein dan epitope antigenik untuk menimbulkan respon imun pada hewan coba.

Penelitian ini difokuskan pada produksi antigen rekombinan protein kapsid (rPK) *Sugarcane Mosaic Virus*. PK-SCMV terlibat dalam transmisi penyakit oleh vektor aphids, pergerakan antar sel dan sistemik, enkapsidasi atau penggabungan virion dan pengaturan amplifikasi RNA virus. Sekuen gen penyandi PK-SCMV yang diperoleh dari *survey* lapang diamplifikasi melalui reaksi RT-PCR (reverse transcriptase PCR) karena SCMV merupakan virus dengan genom RNA. Antigen rPK-SCMV digunakan sebagai *inducer* antibodi poliklonal yang akan dimanfaatkan sebagai uji deteksi cepat penyakit mosaik tebu yang akurat, spesifik dan dapat dilakukan pada sampel berjumlah besar.

Untuk memperoleh antigen rekombinan yang murni, bebas kontaminan dengan konsentrasi tinggi dilakukan teknik purifikasi ganda yaitu penggabungan kromatografi afinitas dengan teknik elektro elusi dan dilanjutkan dengan teknik pemekatan protein. Kromatografi afinitas mampu memisahkan molekul protein rendah dari sampel sedangkan elektro elusi akan melindungi imunogenisitas protein serta mencegah kontaminan. Penggabungan kedua teknik purifikasi ini dilanjutkan dengan pemekatan protein dengan kolom filter sentrifugal mampu meningkatkan kepekatan protein antigen hingga 80 kali dari sebelumnya (konsentrasi akhir 16.194 mg/mL). Hal ini sangat menguntungkan karena dapat meminimalkan volume antigen saat disuntikkan ke hewan coba untuk memproduksi antibodi poliklonal. Menurut *Institutional Animal Care and Use Committee* (2016), konsentrasi antigen yang optimal untuk induksi antibodi adalah 50–1000 µg untuk kelinci dan 10–200 µg untuk tikus.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa antigen rekombinan dengan kemurnian tinggi dan konsentrasi tinggi dihasilkan melalui teknik purifikasi ganda yaitu penggabungan antara kromatografi afinitas dan elektro elusi. Sehingga antigen rekombinan PK-SCMV merupakan antigen yang layak untuk menginduksi terbentuknya antibodi poliklonal pada hewan coba.

Penelitian lanjutan yang akan dilakukan adalah produksi antigen poliklonal pada hewan coba menggunakan antigen rPK-SCMV. Antibodi yang diperoleh akan dipergunakan sebagai alat deteksi cepat penyakit mosaik tebu dengan berbagai metode deteksi serologi. Hasil akhir penelitian yang diharapkan yaitu diperoleh metode deteksi cepat secara serologis yang akurat, spesifik untuk strain Indonesia dan dapat dikerjakan pada sampel berjumlah besar (Darsono, 2019).

8.6 Deteksi Virus pada Tanaman Tomat

Tomat merupakan tanaman yang rentan terhadap berbagai organisme pengganggu tanaman. Salah satu penyakit pada tanaman tomat yang dapat menurunkan produksinya di Kabupaten Karo, Sumatera Utara disebabkan oleh virus gemini. Adanya gejala yang sama dengan penyakit lain menyebabkan kesulitan dalam menentukan jenis virus yang menyebabkan suatu penyakit, sehingga perlu dilakukan deteksi virus secara molekuler. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel daun tomat dari 18 desa di Kabupaten Karo. Virus dideteksi dengan teknik *Polymerase Chain Reaction* (PCR) menggunakan primer spesifik untuk virus gemini. Kelainan morfologi yang diamati yaitu daun keriting dan kaku, malformasi, mosaik pada daun, tepi daun menggulung ke atas, tulang daun menebal, ukuran daun mengecil, warna daun hijau kekuningan hingga kuning cerah dan vein clearing. Beberapa desa memiliki gejala infeksi virus yang sama dan dikelompokkan dalam dendogram. Koefisien kemiripan gejala yang sama (100%) terdapat pada Desa Beganding dan Kandibata serta Desa Bulan Baru dan Ujung Simalem. Semua sampel selanjutnya di amplifikasi dengan PCR dan menunjukkan positif terserang virus gemini yang ditandai dengan adanya pita DNA berukuran 1500 (Nurainun 2021).

8.7 Deteksi Virus pada Tanaman Cabai Merah

Metode serologi merupakan cara yang paling sering digunakan untuk mendeteksi dan mendiagnosis virus tumbuhan, baik menggunakan antibodi poliklonal maupun antibodi monoklonal. Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) merupakan teknik deteksi patogen yang berdasarkan pada reaksi antibodi dan antigen. Antibodi diikat dengan enzim spesifik sebagai penanda. Bila ada reaksi positif, enzim akan menghidrolisis substrat sehingga terjadi perubahan warna yang dapat dibaca secara visual. Metode ini sangat potensial untuk digunakan sebagai deteksi *Begomovirus* karena dapat dilakukan dengan mudah, memberikan hasil dalam waktu singkat dan biaya pelaksanaan yang relatif murah, selain itu teknik serologi cukup untuk mendeteksi virus dalam bahan tanaman maupun serangga vektornya. Keragaman *Begomovirus* di lapangan sangat beragam, hal ini diakibatkan penularan *Begomovirus* oleh serangga vektornya pada inang yang sama ataupun yang masih dekat kekerabatannya dapat terinfeksi oleh satu jenis *Begomovirus* secara tunggal, bersamaan dengan jenis *Begomovirus* lain maupun oleh strain lainnya (Sulandari, 2004). Dewasa ini untuk karakterisasi maupun deteksi virus tumbuhan banyak dikembangkan teknik molekuler. Teknik PCR akhir-akhir ini berkembang sangat pesat untuk deteksi berbagai virus tumbuhan. Deteksi virus secara PCR akan memberikan hasil yang akurat, cepat dan sangat peka. Teknik PCR hanya memerlukan jumlah sampel yang sedikit, dan sampel dapat berupa bahan segar, sudah dikeringkan atau beku. Teknik PCR pada umumnya dapat mengatasi kendala pada pengujian virus secara serologi (Sulandari, 2004). Tujuan penelitian ini untuk mempelajari dan mendeteksi gejala yang muncul dilapangan melalui teknik I-ELISA test dan PCR. Hasil deteksi I-ELISA dari berbagai variasi gejala yang muncul di lapangandisebabkan infeksi campuran antara *Tobamovirus*, *Cucumovirus* dan *Potyvirus*, berdasarkan hasil PCR menggunakan *primer universal coat protein* mengamplifikasi fragmen DNA berukuran 580 bp (Mudmainah dan Purwanto, 2010).

8.8 Deteksi Virus pada Tanaman Kentang

Potato virus Y (Potyviridae; Potyvirus) merupakan salah satu virus yang menyerang tanaman kentang. Serangan virus ini dapat menimbulkan kerugian yang berarti, kerugian tersebut berupa penurunan hasil panen umbi kentang secara kualitas maupun kuantitas. Diagnosis virus PVY berdasarkan gejala sulit untuk menentukan identitas suatu virus tersebut. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mendeteksi virus PVY pada tanaman kentang dengan teknik molekuler. Sebanyak 20 sampel daun dikoleksi secara acak dari tanaman kentang yang bergejala di setiap lokasi. Parameter yang di amati adalah gejala, kerapatan stomata tanaman yang bergejala dan deteksi PVY dengan RT-PCR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gejala yang ditemukan di lapangan bervariasi pada daun kentang, seperti mosaik, distorsi daun, rugose, vein clearing dan malformasi daun. RT-PCR menggunakan primer PVY berhasil mengamplifikasi DNA PVY yang diambil pada 20 desa di Tanah Karo dengan menunjukkan adanya fragmen pada ukuran 801pb dan pada tanaman kentang sehat memiliki kerapatan stomata yang lebih besar dibanding tanaman yang bergejala. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teridentifikasinya virus tersebut harus dipertimbangkan sebagai pembatas penting produksi kentang di Tanah Karo (Mastura, 2018).

Tungro yang disebabkan oleh kombinasi infeksi *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV) dan *Rice Tungro Spherical Virus* (RTSV), merupakan salah satu penyakit penting tanaman padi. Kedua virus tersebut dapat bertahan hidup pada tanaman padi, ratun padi, gulma, dan beberapa padi liar. Penelitian bertujuan mendeteksi RTBV dan RTSV pada beberapa spesies gulma yang dikumpulkan dari beberapa lokasi persawahan di Jawa Barat, Bali, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Utara, dan Sumatera Selatan. Deteksi RTBV dan RTSV dari sampel gulma dilakukan berturut-turut dengan metode *Polymerase Chain Reaction*. (PCR) dan *Reverse Transcription* (RT) - PCR menggunakan primer spesifik gen protein selubung. Fragmen DNA spesifik RTBV berukuran ~1.400 pb berhasil diamplifikasi dari *F. miliacea*, *C. iria*, *M. vaginalis*, *L. adscendens*, *S. zeylanica*, *D. sanguinalis*, dan *E. crusgalli*. Fragmen DNA spesifik RTSV berukuran ~787 pb berhasil diamplifikasi dari sepsis gulma *F. miliacea*, *L. octovalvis*, dan *D. sanguinalis*. Fragmen DNA spesifik RTBV maupun RTSV tidak

teramplifikasi dari spesies gulma *L. flava* dan *P. distichum*. Sampel gulma yang dikumpulkan dari lapangan tidak ada yang menunjukkan gejala (visual) terinfeksi virus, sehingga hasil deteksi bermanfaat dalam menentukan status gulma sebagai inang alternatif virus tungro. Sanitasi gulma di sawah sebelum tanam padi menjadi bagian integral teknik pengendalian virus (Ladja et al., 2016).

Biodata Penulis



Arsi, SP, M.Si, Lahir di Jungkal, Kecamatan Pampangan . Lulus dari Pendidikan S-1 Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan tahun 2008, S-2 Ilmu Tanaman Bidang Kajian Umum Proteksi Tanaman Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan tahun 2014. Penulis Sebagai Tenaga Pengajar S-1 Program Studi Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan dari tahun 2015 sampai sekarang. Buku yang terbit tahun 2021 Judul Budidaya Tanaman Sehat Secara Organik, Pengantar Ekologi Serangga, Dasar-Dasar Perlindungan tanaman dan Agroklimatologi



Rizal Andi Syabana lahir di Tegal, Jawa Tengah pada tanggal 04 Maret 1991. Ia telah menyelesaikan pendidikan masternya pada tahun 2020 dari Georg-August Universitaet Goettingen, Jerman. Dosen di prodi Teknologi Hasil Pertanian menjadi pilihan karir, setelah sebelumnya magang sebagai dosen di Universitas Wiraraja. Saat ini, selain berkesibukan sebagai dosen, ia juga menjadi ayah dari seorang putra bernama Syaghaf Alby Syabana.



Supyani lahir di Boyolali, pada 16 Oktober 1966. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Okayama, Jepang. Sejak tahun 1993 sampai sekarang, Ia adalah dosen di Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Bidang ilmu yang Ia tekuni adalah Virologi Pertanian, khususnya adalah pemanfaatan mikovirus (virus yang menginfeksi jamur) sebagai agens pengendalian hayati.



Dwiwiyati Nurul Septariani lahir di Tangerang, pada 23 September 1988. Penulis tercatat sebagai lulusan S1 Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman dan S2 Fitopatologi, Insitut Pertanian Bogor. Fokus pada bidang Bakteriologi di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman, penulis bekerja sebagai dosen Program Studi Agroteknologi Universitas Sebelas Maret Surakarta.



Ryan Budi Setiawan Lahir di Wonogiri, pada 4 Februari 1990. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Andalas (S1) dan Institut Pertanian Bogor (S2). Pria yang kerap disapa Ryan ini adalah anak dari pasangan Nardi (ayah) dan Karti (ibu). Saat ini penulis berprofesi sebagai Dosen di Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Penulis mendalami bidang pemuliaan dan bioteknologi tanaman terutama berkaitan dengan pemuliaan invitro dan konservasi plasma nutfah



Tita Widjayanti, SP., M.Si. Lahir di Kuningan tanggal 19 Agustus 1987. Telah menyelesaikan studi S1 Ilmu Hama dan penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman (FP UNSOED) Tahun 2009. Kemudian melanjutkan Studi Magister di Program Studi Fitopatologi Institut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2012. Saat ini bekerja sebagai Dosen di Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penulis aktif menulis berbagai jurnal ilmiah dan melakukan pengabdian masyarakat di berbagai daerah. Penulis juga aktif sebagai anggota Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI) dan aktif mengikuti kegiatan konferensi ilmiah dalam skala nasional dan internasional



Dr. Tili Karenina, SP., M.Si. Lahir di Palembang Sumatera Selatan pada tanggal 29 Agustus 1985. Penulis Lulus dari pendidikan S-1 Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan di Universitas Sriwijaya (UNSRI) Sumatera Selatan Tahun 2007. Penulis lulus dari pendidikan S-2 di Universitas Sriwijaya Jurusan Proteksi Tanaman Tahun 2010. Penulis lulus pendidikan S-3 di Universitas Sriwijaya pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian. Penulis berdomisili di Kota Palembang. Penulis merupakan salah satu peneliti di Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Sumatera Selatan.



Dr. Junairiah, S.Si., M. Kes. lahir di Surabaya pada tanggal 14 Juli 1971. Pendidikan S1 ditempuh di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor lulus tahun 1995. Pendidikan S2 di Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar, minat studi Biologi Kedokteran, Universitas Airlangga dan lulus tahun 2001. Pendidikan S3 Biologi di Program Studi S3 Biologi, Universitas Gadjah Mada, lulus tahun 2013. Penulis merupakan dosen Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga. Pada

Program Studi S1 Biologi, penulis saat ini mengampu mata kuliah Struktur Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Botani Ekonomi, dan Fisiologi Tumbuhan. Pada Program Studi S2 Biologi, penulis mengampu mata kuliah Fisiologi Zat Tumbuh dan Biokimia Tanaman. Saat ini penulis menekuni penelitian tentang metabolit sekunder yang dihasilkan dari kultur *in vitro* serta aktivitas biologinya baik sebagai antimikroba dan antioksidan. Buku yang telah ditulis dan terbit adalah Keanekaragaman dan Potensi Piperaceae, Tumbuhan sebagai Bahan Antimikroba, Teknologi dan Produksi Benih, Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, Tata Ruang Pertanian Kota, Penyakit Tanaman dan Pengendaliannya, Tanah dan Nutrisi Tanaman, Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan, Dasar-Dasar Agronomi, Pupuk dan Teknologi Pemupukan. Pengelolaan Lahan Kering, Pengantar Perlindungan Tanaman, Budidaya Tanaman Semusim, Keanekaragaman Hayati, dan Budidaya Tanaman Pangan.

Daftar Pustaka

- Aji, T. M., Hartono, S., & Sulandari, S. (2015). Pengelolaan kutu kebul (*Bemisia tabaci* Gen.) dengan sistem barrier pada tanaman tembakau. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 15(1), 6–11.
- Anggraini, K. (2018). Pengaruh Populasi Kutu Daun pada Tanaman Cabai Besar (*Capsicum annum* L.) terhadap Hasil Panen. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 7(1), 113–121.
- Ariyanti, N.A. (2011). Mekanisme Infeksi Virus Kuning Cabai (Pepper Yellow Leaf Curl Virus) dan Pengaruhnya terhadap Proses Fisiologi Tanaman Cabai. *Proceeding Biology Education Conference*, 8(1) : 467-471
- Burrell, J. (2016). How the machine ‘thinks’: Understanding opacity in machine learning algorithms. June, 1–12. <https://doi.org/10.1177/2053951715622512>
- Cann, A.J. (2004). *Principles of Molecular Virology*. 4th Edition. Amsterdam: Elsevier
- Cann, A.J. (2008). *Replication of Viruses*. Amsterdam: Elsevier
- Cireli, B. (1976). Observations on the effects of some air pollutants on *Zea mays* leaf tissue. *Phytopathol. Z*, 86 : 233-239.
- Claude M. Fauquet (1999) ‘Taxonomy, Classification and Nomenclature of Viruses’, Academic Press, pp. 1730–1756.
- Darsono, N. (2019) “Kembangkan Alat Deteksi Cepat Penyakit Mosaik Tebu Melalui Kloning Molekuler,” <https://news.unair.ac.id/2019/10/02/kembangkan-alat-deteksi-cepat-penyakit-mosaik-tebu-melalui-kloning-molekuler/?lang=id>
- Davison, A. (2020) ‘Ictv executive committee report (2017-2020)’.

- Ellison, E. E., U. Nagalakshmi, M. E. Gamo, P. Huang, S. D. Kumar, and D. F. Voytas. (2020). Multiplexed heritable gene editing using RNA viruses and mobile single guide RNAs. *Nature plants*.
- Fereres, A., Raccach, B. (2015). *Plant virus transmission by insects*. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0000760.pub3
- Fetters, A. M., Caltalupo, P. G., Wei, Na., Robles, M. T. S., Stanley, A., Stephens, J. D., Pipas, J. M., Ashman, T. L. (2022) ‘The pollen virome of wild plants and its association with variation in floral traits and land use’, *Nature Communications*, 13(1), pp. 1–11. doi: 10.1038/s41467-022-28143-9.
- Francki, R. I. B. et al. (1991) ‘Archives of Virology Supplementum 2’, fifth report of the international COMmittee on Taxonomy of Viruses, 5th edisio.
- Funayama S. and Terashima I. (2006). Effect of Eupatorium Yellow Vein Virus Infection on Photosynthetic Rate, Chlorophyll Content and Chloroplast Structure in Leaves of Eupatorium makinoi During Leaf Development. *Functional Plant Biology*. P.165-175.
- Fürstenberg-hägg, J., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013). Plant Defense against Insect Herbivores. <https://doi.org/10.3390/ijms140510242>
- Gutiérrez, S., Michalakakis, Y., Munster, M. V., Blac, S. (2013) ‘Plant feeding by insect vectors can affect life cycle, population genetics and evolution of plant viruses’, *Functional Ecology*, 27(3), pp. 610–622. doi: 10.1111/1365-2435.12070.
- Gutierrez, S., Michalakakis, Y., Munster, M.V., Blanc, S. (2013). Plant feeding by insect vectors can affect life cycle, population genetics and evolution of plant viruses. *Functional Ecology* 27: 610-622. DOI: 10.1111/1365-2435.12070
- Hendayana, Y. (2021) “Pakar IPB University Bahas Kemajuan dan Tantangan Diagnosis Virus Pada Tanaman,”
- Hipper, C, Brault, V., Ziegler-Graff, V., Revers F. (2013). Viral and cellular factors involved in phloem transport of plant viruses. *Frontiers in Plant Science* 4: 1-24. DOI: 10.3389/fpls.2013.00154
- Hull, R. (2002). *Mathews’ Plant Virology*. Fourth Ed. Acad. Press. San Diego. 1001 p.

- Hull, R. (2014). *Plant Virology*. Fifth Edition. New York: Academic Press
- Islam, W. (2018) 'Plant Disease Epidemiology: Disease Triangle and Forecasting Mechanisms In Highlights', *Host and Viruses*, 5(7–11). doi: 10.17582/journal.hv/2018/5.1.7.11.
- Islam, W., Zhang, J., Adnan, M., Noman, A., Zaynab, M., Wu, Z. (2017) 'Plant virus ecology: A glimpse of recent accomplishments', *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), pp. 691–705. doi: 10.15666/aeer/1501_691705.
- James, C.K.NG., Perry, K.L. (2004). Transmission of plant viruses by aphid vectors. *Molecular Plant Pathology* 5(5): 505-511. DOI: 10.1111/J.1364-3703.2004.00240.X
- Jansen, R., JD. Embden, W. Gaastra, LM. Schouls. (2002) "Identification Of Genes That Are Associated With DNA Repeats In Prokaryotes," *Mol Microbiol*, 43, Hal. 1565-1575.
- Janssen, D. and Ruiz, L. (2021) 'Special issue: "Plant virus epidemiology"', *Plants*, 10(6), pp. 10–12. doi: 10.3390/plants10061188.
- Jeger, M. J. (2020) 'The epidemiology of plant virus disease: Towards a new synthesis', *Plants*, 9(12), pp. 1–50. doi: 10.3390/plants9121768.
- John, V.T. and Weintraub. M. (1966). Symptom resembling virus infection induced by high temperature in *Nicotiana glutinosa*. *Phytopathology*, 56 : 502-506.
- Kaiser, W.J. and Danesh, D. (1971). Etiology of virus –induced wilt of *Cicer arietinum*. *Phytopathology*, 61: 453-457.
- Kang, B., Yeam, I., & Jahn, M. M. (2005). Genetics of Plant Virus Resistance. 581–621. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.011205.141140>
- Kumar, M., Bharti, R. and Ranjan, T. (2021) 'The Evolutionary Significance of Generalist Viruses with Special Emphasis on Plant Viruses and their Hosts', *The Open Virology Journal*, 14(1), pp. 22–29. doi: 10.2174/1874357902014010022.
- Ladja, F. Hidayat, S.H., amayanti, T.A. Rauf A. (2016) "Deteksi virus Tungro pada Gulma Padi Sawah Menggunakan Teknik PCR," *Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*.

- Laili., (2021) “Deteksi Virus Gemini pada Tanaman Tomat di Kabupaten Karo, Sumatera Utara,” Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Lefeuvre, P., Martin, D. P., Elena, S. F., Shepherd, D. N., Roumagnac, P., Varsani, A. (2019) ‘Evolution and ecology of plant viruses’, *Nature Reviews Microbiology*, 17(10), pp. 632–644. doi: 10.1038/s41579-019-0232-3.
- Link, P.A., Fuchs, M. transmission specificity of plant viruses by vectors. *Journal of Plant Pathology* 87(3): 153-165.
- Maharani, Y., Hidayat, P., Rauf, A., & Maryana, N. (2018). Kutudaun (Hemiptera: Aphididae) pada gulma di sekitar lahan pertanian di Jawa Barat beserta kunci identifikasinya. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 15(2), 74. <https://doi.org/10.5994/jei.15.2.68>
- Manzoor, S., Summuna, B., Bhat FA., Jan, S. K., Sheikh, P. A., Gupta, V., Gulzar, A., Dae, W. A. (2022) ‘Plant virus-ecology and epidemiology’, *The Pharma Innovation Journal*, 11(3), pp. 1328–1336.
- Marwoto, & Inayati, A. (2015). Kutu Kebul: Hama Kedelai yang Pengendaliannya Kurang Mendapat Perhatian. *Iptek Tanaman Pangan*, 6(1), 87–98.
- Mastura, F. (2018) “Deteksi Virus Potato Virus F(PCY) pada Tanaman Kentang di Tanah Karo, Sumatera Utara Menggunakan Teknik Molekuler,” Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Matthews, R. E.F. (1992). *Fundamentals of Plant Virology*. 1st edition. Academic Press. San Diego. 403 p.
- Mauck, K. E. (2016) ‘Variation in virus effects on host plant phenotypes and insect vector behavior: what can it teach us about virus evolution?’, *Current Opinion in Virology*, 21, pp. 114–123. doi: 10.1016/j.coviro.2016.09.002.
- Mayo, M. A. and Brunt, A. A. (2001) ‘The Current State of Plant Virus Taxonomy’, *Molecular Plant Pathology*, 2(x), pp. 97–100.
- McLeish, M. J., Fraile, A. and García-Arenal, F. (2019) ‘Evolution of plant–virus interactions: host range and virus emergence’, *Current Opinion in Virology*, 34, pp. 50–55. doi: 10.1016/j.coviro.2018.12.003.

- Miftakhurrohmah, Suastika, G., Damayanti, T.R. (2013) “Deteksi Secara Serologi dan Molekuler Beberapa Jenis Virus yang Berasosiasi dengan Penyakit Mosaik Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth,”*Jurnal Littri*, 19(3).
- Mudmainah, S dan Purwanto., (2021) “Deteksi Begomovirus pada Tanaman Cabai Merah dengan ELISA test dan Teknik PCR, ”*Jurnal agroland* 17(2): 101-107.
- Murphy, F. A. et al. (1995) ‘Virus Taxonomy : Classification and Nomenclature of Viruses’, Sixth report of the International Committee on Taxonomy of Viruses, 6th.
- Narendra, A. A. G. A., Phabiola, T. A., & Tuliadhi, K. A. (2017). Hubungan Antara Populasi Kutu Kebul (*Bemisia tabaci*) (*Gennadius*) (Hemiptera : Aleyrodidae) dengan Insiden Penyakit Kuning pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.) di Dusun Marga Tengah, Desa Kerta, Kecamatan Payangan, Bali. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 6(3), 339–348.
- Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., Karakozova, M. V. (2020) ‘Infectious Plant Diseases: Etiology, Current Status, Problems and Prospects in Plant Protection’, *Acta Naturae*, 12(3), pp. 46–59. doi: 10.32607/actanaturae.11026.
- Nuorteva, P. (1962). Studies on the causes of the phytopathogenicity of *Calligypona pellucida* (F.) (Hom. Araeopidae) *Ann. Zool. Soc. Zool. Bot. Fenn. Vanamo*, 23 (4) :1-58.
- Nurainun, T.A. (2019) “Deteksi Virus pada Tanaman Mentimun di Jawa Barat.” Program studi Biologi, Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Ompusunggu, D. S., Oemry, S., & Lubis, L. (2015). Uji Efektivitas Jamur *Metarhizium anisopliae* (Metch.) dan *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus (HaNPV) terhadap Larva Penggerek Tongkol Jagung *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) di Lapangan Efectivity. *Jurnal Online Agroekoteaknologi*, 3(2), 779–784.
- Pinheiro, P.V., Wilson, J.R., Xu, Y., Zheng, Y., Rebelo, A.R., Hosseini, S.F., Kruse, A., Silva, R.S.D., Xu, Y., Kramer M., Giovannoni, J., Fei, Z., Gray, S., Heck, M. (2018). Plant viruses transmitted in two different

- modes produce differing effects on small RNA-mediated processes in their aphid vector. *Phytobiomes Journal* 3 (1): 71-81. <http://doi.org/10.1094/PBIOMES-10-18-0045-R>
- Pranatayana, I.B.G., Temaja, I.G.R.M., Yuliadhi, K.Y., Nyana, I.D.N., Suastika, G. (2014) "Deteksi Molekuler Cusumber Mosaic Virus (Cmv) pada Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*) Sebagai Barrier pada Pertanaman Cabai," *E-Jurnal Agrteknologi Tropika*, 3(3).
- Rahayu, G. A., Buchori, D., Hindayana, D., & Rizali, A. (2017). Keanekaragaman dan peran fungsional serangga Ordo Coleoptera di area reklamasi pascatambang batubara di Berau, Kalimantan Timur. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 14(2), 97–106. <https://doi.org/10.5994/jei.14.2.97>
- Ramewgoda, V., K. S. Mysore, and M. Senthil-Kumar. (2014). Virus-induced gene silencing is a versatile tool for unraveling the functional relevance of multiple abiotic-stress-responsive genes in crop plants. *Frontiers in Plant Science*. 5: 1-12.
- Ranawaka, B., Hayashi, S., Waterhouse, P.M., de Felippes, F.E. (2020). Homo sapiens: The superspreader of plant viral disease. *Viruses* 12: 1-7. DOI:10.3390/v12121462
- Ricroch, A., Clairand, P., and Harwood, W. (2017) "Use of Crispr Systems in Plant Genome Editing: Toward New Opportunities in Agriculture," *Emerg. Top. Life Sci*, 1, Hal. 169–182.
- Riyanto. (2016). Keanekaragaman Dan Kelimpahan Serangga Ordo Coleoptera Di Tepian Sungai Musi Kota Palembang Sebagai Sumbangan Materi Pada Mata Kuliah Entomologi Di Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sriwijaya. *Jurnal Pembeajaran Biologi*, 3(1), 88–100.
- Roberts, A. G. (2014) 'Plant Viruses: Soil-borne', eLS, (July 2014). doi: 10.1002/9780470015902.a0000761.pub3.
- Rosmini, & Lasmini, S. A. (2010). Identifikasi cendawan entomopatogen lokal dan tingkat patogenitasnya terhadap hama wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant.) vektor virus tungro pada tanaman padi sawah DI Kabupaten Donggala. *J.Agroland*, 17(3), 205–212.
- Sainsbury, F., Cañizares, M. C., & Lomonossoff, G. P. (n.d.). No Title.

- Saleh, N. (2003). Arti Penting Penularan Virus Lewat Biji Kacang-kacangan dan Hubungannya dengan Sertifikasi dan Produksi Benih Sehat. 12(5), 1–12.
- Sari, S. P., Suliansyah, I., Nelly, N., & Hamid, H. (2020). Identifikasi hama kutudaun (Hemiptera: Aphididae) pada tanaman jagung hibrida (*Zea mays* L.) Di Kabupaten Solok Sumatera Barat. *Jurnal Sains Agro*, 5(2). <https://doi.org/10.36355/jsa.v5i2.466>
- Simanjuntak, D., & Hartono, S. (2020). Isolasi virus entomopatogen dari ulat api setothosea. *Warta PPKS*, 25(1), 31–38.
- Singh, S., Awasthi, L.P., Jangre, A. (2020). Transmission of plant viruses in fields through various vectors. *Applied Plant Virology*. Chapter 24. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818654-1.00024-4>
- Skiada, F.G., K. Grigoriadou, V.I. Maliogka, N.I. Katis, E.P. Eleftheriou. (2009) "Elimination of Grapevine Leafroll-Associated Virus 1 and Grapevine Rupestris Pitting-Associated Virus From Grapevine cv. Agiorgitiko and a Micropropagation of Protocol for Mass Production of Virus-Free Plantlets," *J Plant Pathol*. 91, Hal.77–84
- Smith, G.R., J.D. Fletcher, V. Marroni, J.M. Kean, L.D. Stringer, J. Vereijssen. (2017) "Plant Pathogen Eradication: Determinants of Successful Programs," *Australas Plant Pathol*, 46, hal. 277–84.
- Subagyo, V., Hidayat, P., Rauf, A., & Sartiami, D. (2015). Trips (Thysanoptera: Thripidae) yang berasosiasi dengan tanaman hortikultura di Jawa Barat dan kunci indentifikasi jenis. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 12(2), 59–72. <https://doi.org/10.5994/jei.12.2.59>
- Sudewi, S., Ala, A., Baharuddin, B., & BDR, M. F. (2020). Keragaman Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) pada Tanaman Padi Varietas Unggul Baru (VUB) dan Varietas Lokal pada Percobaan Semi Lapangan. *Agrikultura*, 31(1), 15. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i1.25046>
- Suprobowati, O. D. and Kurniati, I. (2018) 'Virologi', Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 51(8 Sup.), pp. 4–6.
- Supyani, Dwiwiyati Nurul S., Hadiwiyono. (2020). Symptoms Variation of Viral Infections in Yardlong Bean. *J. HPT Tropika* Vol. 20, No. 1, p28–36. ISSN: 1411-7525. E-ISSN: 2461-0399. DOI : 10.23960/j.hptt.12028-36.

- Sutarman. (2017) "Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman," UMSIDA Press. Sidoarjo
- Taylor, P., et al (2007). Critical Reviews in Plant Sciences Plant Volatiles : Recent Advances and Future Perspectives Plant Volatiles : Recent Advances and Future Perspectives. May 2012, 37–41. <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>
- Técsi, L. I., Smith, A. M., Maule, A. J. & Leegood, R. C. (1996). A spatial analysis of physiological changes associated with infection of cotyledons of marrow plants with cucumber mosaic virus. *Plant physiol.* 111, p.975-985.
- Trebicki, P. (2020) 'Climate change and plant virus epidemiology', *Virus Research*, 286, p. 198059. doi: 10.1016/j.virusres.2020.198059.
- Underwood, N. (2015). The Influence of Plant and Herbivore Characteristics on the Interaction between Induced Resistance and Herbivore Population Dynamics. *153*(3), 282–294.
- Velzen, E. Van, & Etienne, R. S. (2015). The importance of ecological costs for the evolution of plant defense against herbivory. *Journal of Theoretical Biology*, 372, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.027>
- Wang, Q-C., B. Panis, F. Engelmann, M. Lambardi, J.P.T. Valkonen. (2009) "Cryotherapy of Shoot Tips: A Technique for Pathogen Eradication to Produce Healthy Planting Materials and Prepare Healthy Plant Genetic Resources for Cryopreservation," *Ann Appl Biol*, 154, hal. 351–63.
- Whitfield, A.E., Falk, B.W., Rotenberg, D. (2015). Insect vector-mediated transmission of plant viruses. *Virology* 479-480: 278-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.virol.2015.03.026>
- Woodford, J.A.T. Gordon, S.C. (1978). Virus-like symptoms id red raspberry leaves caused by fenitrothion. *Plant Pathol* 27:77-81.
- Yuliani, Hidayat, P., & Sartiami, D. (2006). Identifikasi Kutukebul (Hemiptera: Aleyrodidae) dari beberapa Tanaman Inang dan Perkembangan Populasinya. *Jurnal Perhimpunan Entomologi Indonesia*, 3(1), 41–49.
- Zhao, L., MR. Wang, ZH. Cui, L. Chen, QC. (2018) "Combining Thermo-therapy With Cryotherapy for Efcient Eradication of Apple Stem Grooving Virus (ASGV) From Infected Apple In Vitro Shoots," *Plant Dis*, 102, Hal.1574–80.

VIROLOGI TUMBUHAN

Virus merupakan makhluk hidup yang sangat kecil yang dapat berkembang dan tumbuh pada sel yang hidup. Jadi virus tidak bisa memperbanyak diri tanpa adanya makhluk hidup yang ditumpanginya. Virus tidak memiliki suatu kelengkapan seluler dalam memperbanyak diri pada virus tersebut. Virus memiliki suatu alat pelindung berupa lapisan protein atau dikenal dengan kapsid.

Buku ini membahas tentang :

Bab 1 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

Bab 2 Tatanama Virus Tumbuhan

Bab 3 Pengenalan Gejala

Bab 4 Penularan dan Penyebaran Virus

Bab 5 Pengendalian Penyakit Tumbuhan yang disebabkan Virus

Bab 6 Sejarah Penemuan dan Arti Penting Virus

Bab 7 Ekologi dan Epidemiologi Virus

Bab 8 Dasar-Dasar Diagnosis Virus Tumbuhan



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-342-539-1

