

**BUKU AJAR VIROLOGI TUMBUHAN**

**(BAB 1 dan BAB2)**

**Prof. Ir. Sopialena, MP., Ph.D.**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,  
DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS MULAWARMAN  
**FAKULTAS PERTANIAN**

Alamat : Kampus Gunung Kelua Jl. Pasir Belengkong P.O. BOX. 1040 Samarinda 75123  
E-mail : [faperta@unmul.ac.id](mailto:faperta@unmul.ac.id) Website: [faperta.unmul.ac.id](http://faperta.unmul.ac.id) Telp: (0541) 2083337

## **SURAT TUGAS**

Nomor : 241/UN17.3/KP.04.00/2025

Yang bertandatangan di bawah ini Dekan Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, dengan ini menugaskan :

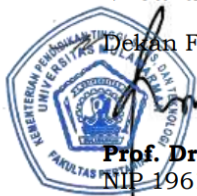
Nama : Prof. Dr. Ir. Hj. Sopialena, M.P.  
NIP : 19631009 198803 2 001  
Pangkat/golongan Ruangan : Pembina Utama Muda/IVc  
Jabatan : Guru Besar  
Unit : Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman

untuk **Menyusun Buku Ajar Virologi Tumbuhan: Pengendalian Hayati dan Pestisida Nabati** pada Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman.

Demikian surat tugas ini disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dilaksanakan sebagai mana mestinya.

24 Januari 2025

Dekan Fakultas Pertanian Unmul,



**Prof. Dr. Ir. H. Rusdiansyah, M.Si.**  
NIP 196109171987031005

## **Kata Pengantar**

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat-Nya, buku ajar *Virologi Tumbuhan* ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai virologi tumbuhan, sebuah bidang ilmu yang mempelajari virus yang menyerang tanaman dan dampaknya terhadap produksi pertanian, ekosistem, dan ketahanan pangan global.

Dalam beberapa dekade terakhir, masalah penyakit yang disebabkan oleh virus telah menjadi tantangan besar dalam dunia pertanian. Virus dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada berbagai jenis tanaman, yang berimplikasi pada penurunan hasil panen dan kerugian ekonomi yang tidak sedikit. Oleh karena itu, pemahaman tentang cara kerja virus, mekanisme infeksi, serta strategi pengendaliannya sangat penting untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh penyakit virus pada tanaman.

Buku ini disusun untuk memberikan pengetahuan yang mendalam mengenai berbagai topik dalam virologi tumbuhan, mulai dari sifat dasar virus, cara virus menyerang tanaman, hingga upaya-upaya pengendalian yang dapat dilakukan, baik secara kimiawi, biologis, maupun dengan pendekatan teknologi mutakhir. Selain itu, buku ini juga dilengkapi dengan studi kasus dan contoh aplikasi dalam dunia nyata, yang diharapkan dapat memberikan wawasan yang berguna bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang pertanian.

Saya berharap buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat dan memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh penyakit virus pada tanaman. Semoga buku ini dapat menginspirasi pembaca untuk terus mengembangkan riset dan inovasi dalam virologi tumbuhan demi menciptakan pertanian yang lebih tangguh, produktif, dan berkelanjutan.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan kesejahteraan masyarakat.

**Sopialena**

*Penulis*

## Virologi Tumbuhan

Virologi tumbuhan adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari virus yang menginfeksi tanaman, termasuk struktur, siklus hidup, mekanisme infeksi, serta dampaknya terhadap fisiologi dan produktivitas tanaman. Virus tanaman umumnya terdiri dari materi genetik berupa RNA atau DNA yang terbungkus oleh kapsid protein. Virus ini tidak memiliki kemampuan untuk mereplikasi diri tanpa memanfaatkan mesin metabolisme sel inang. Contoh virus tanaman yang terkenal adalah Tobacco Mosaic Virus (TMV), yang pertama kali diidentifikasi pada abad ke-19 dan menjadi salah satu virus pertama yang dipelajari secara mendalam (Matthews, 1991).

Infeksi virus tanaman memiliki dampak signifikan pada pertanian, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Virus dapat menyebabkan gejala seperti mosaik, klorosis, nekrosis, dan penurunan pertumbuhan, yang pada akhirnya berdampak pada hasil panen. Misalnya, infeksi Rice Tungro Virus (RTV) pada tanaman padi dapat menurunkan produktivitas hingga 70% di beberapa wilayah endemik Asia Tenggara (Hibino, 1996). Penyebaran virus ini sering kali diperantarai oleh serangga vektor seperti wereng hijau (*Nephotettix virescens*), yang mempercepat epidemi penyakit di lahan pertanian.

Penyebaran virus tanaman sangat bergantung pada vektor, seperti serangga, nematoda, dan jamur. Virus yang ditularkan oleh serangga, misalnya, dapat memiliki mekanisme hubungan spesifik dengan vektor, seperti penularan persisten atau semi-persisten. Sebagai contoh, Begomovirus yang menyebabkan penyakit daun kuning keriting pada tanaman tomat (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*) ditularkan secara persisten oleh kutu kebul (*Bemisia tabaci*), dengan tingkat kerugian yang signifikan pada hasil tanaman di kawasan tropis (Moriones & Navas-Castillo, 2000).

Pemahaman tentang genom virus tanaman memberikan wawasan penting untuk pengembangan strategi pengendalian. Kemajuan teknologi genomik telah memungkinkan analisis lengkap terhadap genom virus, seperti virus RNA untai tunggal dan virus DNA lingkaran ganda. Contohnya, analisis genom TMV menunjukkan bahwa protein Bergerakannya (movement protein) memfasilitasi penyebaran virus melalui plasmodesmata antar sel tanaman (Heinlein, 2002). Pengetahuan ini telah menjadi dasar pengembangan tanaman transgenik yang tahan terhadap infeksi virus melalui pendekatan RNA interference (RNAi).

Pengendalian virus tanaman sering kali membutuhkan pendekatan terpadu, termasuk penggunaan varietas tahan, pengelolaan vektor, dan teknik kultur pertanian yang baik. Varietas tahan, seperti padi IR64 yang tahan terhadap beberapa strain RTV, telah dikembangkan melalui program pemuliaan berbasis resistensi genetik (Khush & Virk, 2000). Selain itu, pengelolaan populasi vektor dengan menggunakan insektisida berbahan nabati atau metode biologi, seperti pemanfaatan musuh alami, dapat mengurangi penyebaran virus secara efektif.

Di sisi lain, deteksi dan diagnosis dini virus tanaman merupakan kunci keberhasilan dalam mencegah epidemi penyakit. Teknologi seperti polymerase chain reaction (PCR) dan enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) memungkinkan deteksi virus secara cepat dan spesifik bahkan pada konsentrasi rendah (Hull, 2014). Pengembangan teknologi sensor berbasis nanomaterial juga mulai digunakan untuk deteksi lapangan yang lebih efisien, memberikan peluang baru dalam pengelolaan penyakit virus tanaman.

Dengan meningkatnya tekanan dari perubahan iklim dan intensifikasi pertanian, tantangan dalam pengendalian virus tanaman semakin kompleks. Penyebaran vektor yang diperluas akibat kenaikan suhu global meningkatkan risiko epidemi virus di wilayah baru. Oleh karena itu, pendekatan holistik yang mengintegrasikan bioteknologi, pengelolaan agroekosistem, dan pemantauan epidemiologi sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan produksi pangan (Jones, 2021).

## **BAB 1: Pendahuluan**

### **1. Pengertian Virologi Tumbuhan**

**Virologi tumbuhan** adalah cabang ilmu biologi yang khusus mempelajari virus yang menyerang tanaman. Fokusnya mencakup berbagai aspek, seperti struktur, replikasi, penyebaran, interaksi dengan inang, serta metode diagnostik dan pengendalian. Virus tumbuhan adalah patogen submikroskopik yang hanya terdiri dari molekul asam nukleat (RNA atau DNA) yang terbungkus dalam protein. Komponen sederhana ini membuat virus berbeda dari organisme lain karena tidak memiliki mekanisme metabolisme sendiri dan sepenuhnya bergantung pada sel inang untuk berkembang biak.

Keunikan virus tumbuhan terletak pada sifatnya sebagai parasit obligat. Virus hanya dapat bereplikasi di dalam sel inang dengan memanfaatkan sumber daya dan enzim dari tanaman yang terinfeksi. Virus ini sering menyebabkan penyakit pada tanaman yang ditandai dengan gejala seperti mosaik daun, klorosis, pertumbuhan terhambat, atau deformasi organ tanaman. Contoh kasus adalah virus *Tobacco Mosaic Virus* (TMV), yang menjadi model penelitian utama dalam virologi tumbuhan dan telah memberikan banyak wawasan tentang struktur dan mekanisme virus.

Penyebaran virus tumbuhan biasanya melibatkan vektor biologis seperti serangga, nematoda, atau jamur. Misalnya, kutu daun (*Aphididae*) sering menjadi vektor utama dalam mentransmisikan virus RNA pada tanaman. Selain itu, virus juga dapat menyebar melalui kontak mekanis, seperti penggunaan alat pertanian yang terkontaminasi. Penelitian tentang mekanisme penyebaran ini menjadi dasar untuk mengembangkan strategi pencegahan yang efektif, seperti pengendalian vektor dan penerapan praktik pertanian yang bersih.

Studi tentang virologi tumbuhan memiliki dampak besar pada sektor pertanian, terutama dalam mengatasi kerugian akibat infeksi virus. Beberapa virus seperti *Rice Tungro Virus* pada tanaman padi atau *Potato Virus Y* pada kentang dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, pengembangan metode deteksi yang cepat, seperti teknik PCR atau ELISA, serta varietas tanaman yang tahan terhadap virus menjadi prioritas dalam upaya pengendalian.

Selain dampaknya yang merugikan, virus tumbuhan juga memiliki peran positif dalam ekosistem dan penelitian bioteknologi. Sebagai contoh, virus sering digunakan sebagai vektor dalam teknik rekayasa genetika untuk menyisipkan gen tertentu ke dalam tanaman. Dengan mempelajari virologi tumbuhan, kita tidak hanya dapat mengendalikan dampak negatifnya, tetapi juga memanfaatkan potensi virus untuk pengembangan teknologi pertanian yang inovatif.

## **2. Definisi dan Karakteristik Virus Tumbuhan**

Virus tumbuhan memiliki karakteristik unik, salah satunya adalah kemampuan menyebar melalui berbagai cara, seperti vektor serangga, kontak fisik antar tanaman, benih yang terinfeksi, atau alat pertanian yang terkontaminasi. Vektor biologis, seperti kutu daun (*Aphididae*), thrips, atau wereng, menjadi salah satu agen utama penyebaran virus pada banyak tanaman. Misalnya, wereng coklat (*Nilaparvata lugens*) berperan penting dalam penyebaran *Rice Tungro Virus* yang menyebabkan kerugian besar pada produksi padi di Asia Tenggara (Sasaki et al., 2000).

Infeksi virus pada tumbuhan biasanya tidak langsung mematikan, tetapi menyebabkan gangguan fisiologis yang signifikan. Virus dapat menghambat proses fotosintesis, transpirasi, atau penyerapan nutrisi, yang berdampak pada penurunan pertumbuhan, hasil panen, dan kualitas produk. Sebagai contoh, infeksi *Tobacco Mosaic Virus* (TMV) pada tanaman tembakau menyebabkan gejala mosaik daun, klorosis, dan deformasi, yang berujung pada penurunan hasil hingga 30-50% (Hull, 2014). Kerugian ini menunjukkan pentingnya pengendalian infeksi virus dalam pertanian.

Selain dampak langsung terhadap produktivitas tanaman, virus tumbuhan juga mempengaruhi dinamika ekosistem pertanian. Infeksi virus dapat memperlemah tanaman sehingga lebih rentan terhadap serangan patogen lain, atau menciptakan lingkungan yang lebih mendukung bagi penyebaran vektor. Hal ini seringkali menyebabkan epidemi pada lahan pertanian, seperti yang terjadi pada *Cassava Mosaic Disease* di Afrika, yang mengakibatkan kerugian pangan dan ekonomi besar-besaran (Legg et al., 2014). Oleh karena itu, pengendalian vektor dan penggunaan varietas tahan virus menjadi langkah utama dalam manajemen penyakit virus tumbuhan.

Di sisi lain, penelitian tentang virus tumbuhan telah memberikan manfaat penting dalam bioteknologi. Virus sering digunakan sebagai alat dalam rekayasa genetika tanaman, misalnya dalam penyisipan gen tertentu untuk menghasilkan tanaman transgenik. Pemahaman mendalam tentang virus tumbuhan tidak hanya membantu mengurangi dampak negatifnya, tetapi juga membuka peluang untuk inovasi teknologi pertanian yang lebih maju.

### **3. Sejarah Perkembangan Virologi Tumbuhan**

Sejarah virologi tumbuhan bermula pada akhir abad ke-19 dengan penemuan penyakit mosaik tembakau, yang menjadi titik awal studi tentang agen infeksi submikroskopik. Pada tahun 1898, Martinus Beijerinck memperkenalkan istilah "virus" untuk menggambarkan agen infeksi yang lebih kecil dari bakteri, setelah menunjukkan bahwa penyakit mosaik tembakau tetap menular meskipun melalui saringan bakteri (Bos, 1999). Penemuan ini menjadi landasan awal bagi pengembangan ilmu virologi tumbuhan, meskipun pada saat itu struktur dan mekanisme virus masih menjadi misteri.

Kemajuan besar dalam virologi tumbuhan terjadi pada pertengahan abad ke-20 dengan pengembangan mikroskop elektron. Teknologi ini memungkinkan para ilmuwan untuk mengamati struktur virus secara rinci, termasuk bentuk kapsid dan komposisi molekulnya. Salah satu penemuan penting adalah identifikasi partikel berbentuk batang dari *Tobacco Mosaic Virus* (TMV), yang menjadi model penelitian dalam virologi tumbuhan (Gibbs, 2008). Penelitian ini tidak hanya memperjelas struktur virus, tetapi juga membuka wawasan baru tentang cara virus berinteraksi dengan sel inang.

Pada dekade-dekade berikutnya, kemajuan dalam biologi molekuler membawa revolusi dalam studi virologi tumbuhan. Teknik seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) memungkinkan deteksi dan identifikasi virus dengan cepat dan presisi tinggi, bahkan pada konsentrasi rendah. Selain itu, perkembangan teknologi sekuensing genom memberikan pemahaman mendalam tentang genom virus, termasuk gen-gen yang berperan dalam replikasi dan penyebaran virus di dalam tanaman (Hull, 2014). Kemajuan ini memperkuat kemampuan ilmuwan untuk mempelajari dan mengendalikan virus secara lebih efektif.



Saat ini, virologi tumbuhan tidak hanya terbatas pada studi dasar, tetapi juga berperan dalam inovasi teknologi pertanian. Misalnya, penelitian tentang virus telah digunakan untuk mengembangkan tanaman transgenik yang tahan terhadap infeksi virus tertentu. Selain itu, pemahaman mendalam tentang virologi juga membantu dalam manajemen penyakit virus di lapangan, termasuk penerapan strategi pengendalian berbasis ekologi dan teknologi canggih. Perjalanan panjang sejarah virologi tumbuhan menunjukkan bagaimana penemuan awal dapat berkembang menjadi ilmu yang mendalam dan aplikatif.

#### **4. Tonggak Penting dalam Virologi Tumbuhan**

Pada tahun 1955, keberhasilan mengkristalkan *Tobacco Mosaic Virus* (TMV) menjadi tonggak penting dalam virologi tumbuhan. Virus ini menjadi yang pertama dipelajari secara struktural, membuka wawasan tentang bentuk dan komposisi molekulnya. Melalui analisis kristalografi sinar-X, para ilmuwan mengungkap struktur spiral RNA yang terbungkus protein, menjadikan TMV model virus RNA dalam penelitian selanjutnya. Penemuan ini memberikan dasar bagi pemahaman tentang hubungan struktur virus dengan mekanisme infeksi, yang relevan bagi pengendalian penyakit tumbuhan (Hull, 2014).

Penelitian tentang TMV juga membantu menjelaskan mekanisme replikasi virus RNA di dalam sel tumbuhan. Setelah menginfeksi sel inang, genom RNA virus menggunakan mesin translasi sel untuk mensintesis protein yang diperlukan untuk replikasi. Protein ini, bersama RNA virus, membentuk partikel infeksius baru yang menyebar ke jaringan lain melalui plasmodesmata atau sistem vaskular tanaman. Pemahaman ini tidak hanya penting secara teoretis, tetapi juga menjadi dasar pengembangan teknologi untuk mencegah infeksi virus pada tanaman.

Kemajuan dalam bioteknologi selama paruh kedua abad ke-20 memungkinkan pengembangan varietas tanaman tahan virus. Salah satu contoh penting adalah padi tahan *Rice Tungro Virus* yang dikembangkan di Asia Tenggara. Penyakit tungro, yang disebabkan oleh kombinasi *Rice Tungro Spherical Virus* (RTSV) dan *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV), sebelumnya menyebabkan kerugian besar pada produksi padi. Melalui penelitian intensif, varietas tahan virus

berhasil dikembangkan, mengurangi dampak ekonomi penyakit tersebut secara signifikan (Hibino, 1996).

Selain varietas tahan virus, penelitian struktur dan replikasi virus juga mendukung pengembangan pendekatan pengendalian lainnya. Contohnya adalah penggunaan teknologi RNA interference (RNAi) untuk menghentikan replikasi virus pada tanaman. Teknologi ini bekerja dengan menghambat gen-gen penting dalam siklus hidup virus, sehingga memperlambat penyebaran infeksi. Strategi ini telah diterapkan pada tanaman seperti pepaya untuk melawan *Papaya Ringspot Virus* (PRSV) dengan hasil yang menjanjikan (Fuchs & Gonsalves, 2007).

Penemuan mekanisme replikasi virus RNA dan pengembangan varietas tahan virus tidak hanya meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Hal ini memberikan manfaat ekologis, seperti menurunkan risiko pencemaran lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Dengan demikian, penelitian mendalam tentang virus tumbuhan telah memberikan dampak luas yang tidak hanya pada produktivitas pertanian, tetapi juga keberlanjutan praktik pertanian di berbagai wilayah dunia.

## **5. Peran Virus dalam Ekosistem**

Dalam ekosistem, virus tumbuhan memiliki peran yang kompleks. Selain sebagai patogen, virus juga dapat memengaruhi interaksi ekologis, misalnya dengan memengaruhi hubungan antara tumbuhan dan herbivora. Beberapa virus diketahui dapat menginduksi resistensi tanaman terhadap serangan serangga tertentu, meskipun mekanismenya masih belum sepenuhnya dipahami (Roossinck, 2011). Virus juga berkontribusi dalam siklus nutrisi melalui peran mereka dalam dekomposisi tanaman yang terinfeksi.

## **6. Dampak Virus pada Pertanian**

Dalam pertanian, virus menjadi ancaman serius karena kerugian yang diakibatkan dapat mencapai miliaran dolar setiap tahun secara global. Contoh signifikan adalah Rice Tungro Virus,

yang menyebabkan kehilangan hasil panen hingga 70% di wilayah Asia Selatan dan Asia Tenggara. Selain itu, infeksi virus pada tanaman hortikultura, seperti cabai dan tomat, dapat mengurangi nilai jual akibat gejala seperti buah cacat atau daun keriting.

## **7. Strategi Pengendalian Virus dalam Pertanian**

Studi virologi tumbuhan tidak hanya berfokus pada pemahaman dasar tetapi juga pada pengembangan strategi pengendalian yang efektif. Salah satu pendekatan utama adalah pengembangan varietas tanaman tahan virus menggunakan bioteknologi modern, seperti teknologi RNA interference (RNAi). Selain itu, pengendalian vektor seperti wereng dan kutu kebul juga menjadi fokus utama dalam mencegah penyebaran virus.

## **8. Perkembangan Teknologi dalam Virologi Tumbuhan**

Kemajuan teknologi dalam bidang virologi tumbuhan terus berkembang pesat. Metode diagnostik berbasis molekuler, seperti RT-PCR dan CRISPR-Cas9, telah memungkinkan deteksi virus secara cepat dan akurat. Di sisi lain, penelitian terhadap interaksi virus-inang melalui teknik genomik dan proteomik memberikan wawasan baru tentang mekanisme infeksi dan resistensi.

## **9. Relevansi Virologi Tumbuhan dalam Pertanian Modern**

Dalam era perubahan iklim, studi virologi tumbuhan semakin relevan karena perubahan suhu dan pola curah hujan dapat memengaruhi penyebaran virus dan vektor mereka. Dengan tantangan baru ini, virologi tumbuhan memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan produksi pangan global. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dinamika virus dalam ekosistem yang berubah, serta untuk mengembangkan solusi inovatif yang ramah lingkungan.

## **BAB 2: Struktur dan Klasifikasi Virus Tumbuhan**

### **1. Pendahuluan tentang Struktur Virus Tumbuhan**

Virus tumbuhan adalah partikel submikroskopik yang secara biologis sederhana namun memiliki kemampuan luar biasa untuk menginfeksi dan mereplikasi dalam tanaman. Virus terdiri dari komponen dasar seperti kapsid, genom (RNA atau DNA), dan pada beberapa jenis, selubung lipid. Komponen-komponen ini bekerja secara sinergis untuk melindungi materi genetik dan memfasilitasi infeksi ke inang. Pemahaman tentang struktur virus tumbuhan menjadi dasar penting dalam virologi untuk mengembangkan strategi deteksi dan pengendalian.

### **2. Kapsid: Pelindung Materi Genetik Virus**

Kapsid adalah struktur protein yang mengelilingi genom virus, memberikan perlindungan dari kerusakan lingkungan dan enzim degradasi. Kapsid dibangun dari subunit protein yang disebut kapsomer, yang tersusun secara simetris, membentuk struktur helikal, ikosahedral, atau bentuk kompleks. Misalnya, Tobacco Mosaic Virus (TMV) memiliki kapsid helikal yang melindungi genom RNA-nya (Hull, 2014). Fungsi kapsid tidak hanya melindungi tetapi juga membantu pengenalan virus terhadap sel inang melalui interaksi dengan reseptor spesifik.

### **3. Genom Virus: RNA atau DNA**

Genom virus tumbuhan bisa berupa RNA atau DNA, yang dapat berbentuk untai tunggal (ss) atau untai ganda (ds). Sebagian besar virus tumbuhan, seperti TMV dan Rice Tungro Virus (RTV), memiliki genom RNA untai tunggal positif (+ssRNA). Virus dengan RNA sebagai genom lebih umum pada tanaman karena kemampuannya untuk langsung bertindak sebagai mRNA dalam proses translasi protein di dalam sel inang. Namun, beberapa virus, seperti

Geminivirus, memiliki genom DNA untai tunggal (ssDNA), yang memanfaatkan mekanisme replikasi DNA inang untuk berkembang.

#### **4. Selubung Lipid: Tidak Dimiliki Semua Virus**

Beberapa virus tumbuhan memiliki selubung lipid yang melapisi kapsid mereka, seperti yang ditemukan pada beberapa Begomovirus. Selubung lipid ini diperoleh dari membran sel inang selama proses perakitan virus. Virus berselubung lipid seringkali lebih rentan terhadap faktor lingkungan, seperti suhu dan deterjen, dibandingkan dengan virus non-selubung. Namun, selubung lipid ini juga memberikan keuntungan dalam mekanisme infeksi, seperti memfasilitasi fusi dengan membran sel inang.

#### **5. Klasifikasi Virus Berdasarkan Genom**

Virus tumbuhan diklasifikasikan berdasarkan jenis genom mereka, yaitu RNA atau DNA, serta sifat untaiannya (untai tunggal atau ganda). Contohnya, virus RNA dibagi menjadi dua kelompok utama: (+ssRNA) seperti TMV dan (-ssRNA) seperti Rhabdovirus. Virus DNA seperti Begomovirus memiliki ssDNA, sementara Caulimovirus memiliki dsDNA. Klasifikasi ini penting untuk memahami mekanisme replikasi virus dan menentukan strategi pengendalian.

#### **6. Klasifikasi Berdasarkan Bentuk Kapsid**

Bentuk kapsid juga menjadi dasar klasifikasi virus tumbuhan. Virus dengan kapsid helikal, seperti TMV, memiliki struktur memanjang dengan protein kapsid yang melilit genom RNA. Virus dengan kapsid ikosahedral, seperti Cowpea Mosaic Virus (CPMV), memiliki bentuk simetris menyerupai bola. Virus kompleks, seperti Cauliflower Mosaic Virus (CaMV), memiliki bentuk yang lebih tidak beraturan dengan kombinasi struktur helikal dan ikosahedral.

## **7. Contoh Virus Tumbuhan: Tobacco Mosaic Virus (TMV)**

TMV adalah salah satu virus tumbuhan yang paling dikenal dan menjadi model dalam penelitian virologi. Virus ini memiliki genom RNA untai tunggal yang panjangnya sekitar 6.400 nukleotida. Kapsid TMV memiliki struktur helikal dengan diameter sekitar 18 nm dan panjang 300 nm. Virus ini menyerang berbagai tanaman, termasuk tembakau dan tomat, menyebabkan gejala mosaik pada daun dan penurunan hasil panen hingga 50% (Scholthof et al., 2011).

## **8. Contoh Virus Tumbuhan: Rice Tungro Virus (RTV)**

RTV adalah virus RNA yang menyerang tanaman padi, terutama di kawasan Asia Tenggara. RTV sebenarnya terdiri dari dua virus: Rice Tungro Bacilliform Virus (RTBV) yang memiliki genom DNA, dan Rice Tungro Spherical Virus (RTSV) yang memiliki genom RNA. Kedua virus ini bekerja sinergis untuk menyebabkan penyakit tungro, yang ditandai dengan daun menguning, pertumbuhan terhambat, dan hasil panen rendah.

## **9. Contoh Virus Tumbuhan: Begomovirus**

Begomovirus adalah kelompok virus DNA yang termasuk dalam keluarga Geminiviridae. Virus ini memiliki genom ssDNA yang dibagi menjadi dua komponen, yaitu DNA-A dan DNA-B. Begomovirus sering disebarkan oleh kutu kebul (*Bemisia tabaci*) dan menyerang tanaman seperti cabai, tomat, dan kapas. Salah satu contoh terkenal adalah Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV), yang menyebabkan kerugian ekonomi signifikan di sektor hortikultura.

## 10. Ilustrasi Struktur Virus Tumbuhan

Ilustrasi struktur virus memberikan gambaran visual yang penting untuk memahami karakteristik fisik virus. Struktur helikal TMV, misalnya, menunjukkan susunan protein kapsid yang membentuk tabung silindris, dengan genom RNA melilit di dalamnya. Struktur ikosahedral virus lain menggambarkan simetri yang kompleks namun efisien. Dengan ilustrasi ini, kita dapat memvisualisasikan bagaimana virus melindungi materi genetiknya sekaligus memfasilitasi interaksinya dengan sel inang.

## Referensi

1. Hibino, H. (1996). Biology and epidemiology of rice viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 34(1), 249-274.
2. Matthews, R. E. F. (1991). *Plant Virology*. Academic Press.
3. Moriones, E., & Navas-Castillo, J. (2000). Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide. *Virus Research*, 71(1-2), 123-134.
4. Heinlein, M. (2002). The spread of Tobacco Mosaic Virus infection: insights into the cellular mechanism of RNA virus transport. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 59(1), 58-82.
5. Khush, G. S., & Virk, P. S. (2000). Rice breeding: achievements and future strategies. *Crop Improvement*, 27(2), 115-144.
6. Hull, R. (2014). *Plant Virology* (5th Edition). Academic Press.
7. Jones, R. A. C. (2021). Global plant virus disease pandemics and epidemics. *Plants*, 10(2), 233.