

DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TUMBUHAN : TEORI DAN APLIKASINYA

Nurul Wirid Annisaa, Desty Aulia Putrantri, Jean Nihana Manalu,
Titik Nur Aeny, Sri Ayu Anggita, Nurmujaahidin, Musawira,
Niken Nur Kasim, Jefri Sembiring, Sri Sukmawati, Suskandini Ratih,
Olivia Cindowarni



DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TUMBUHAN :

Teori dan Aplikasinya

**Nurul Wirid Annisaa
Desty Aulia Putrantri
Jean Nihana Manalu
Titik Nur Aeny
Sri Ayu Anggita
Nurmujahidin
Musawira
Niken Nur Kasim
Jefri Sembiring
Sri Sukmawati
Suskandini Ratih
Olivia Cindowarni**



GETPRESS INDONESIA

**DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TUMBUHAN :
Teori dan Aplikasinya**

Penulis : Nurul Wirid Annisaa

Desty Aulia Putrantri

Jean Nihana Manalu

Titik Nur Aeny

Sri Ayu Anggita

Nurmujahidin

Musawira

Niken Nur Kasim

Jefri Sembiring

Sri Sukmawati

Suskandini Ratih

Olivia Cindowarni

ISBN : 978-623-125-717-8

Editor : Tri Putri Wahyuni

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, April 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan: Teori dan Aplikasinya ini dapat disusun dan disajikan kepada pembaca. Buku ini hadir sebagai referensi yang membahas berbagai aspek penting dalam ilmu penyakit tumbuhan, mulai dari pengantar dasar, hubungan penyakit dengan agroekosistem, hingga mekanisme serangan patogen dan sistem pertahanan tanaman. Disusun secara sistematis dalam dua belas bab, buku ini diharapkan mampu memberikan pemahaman teoritis dan aplikatif bagi mahasiswa, akademisi, praktisi pertanian, maupun pemerhati dunia fitopatologi.

Dalam buku ini, pembaca akan diajak menelusuri sejarah dan perkembangan ilmu penyakit tumbuhan, mempelajari konsep serta klasifikasinya, memahami gejala dan diagnosis penyakit, hingga mendalami interaksi patogen dan tanaman dalam konteks lingkungan dan genetika. Pendekatan interdisipliner yang digunakan dalam membahas pengelolaan penyakit tumbuhan secara terpadu juga menjadi kekuatan buku ini dalam menjawab tantangan pertanian modern yang berkelanjutan. Semoga buku ini dapat menjadi sumber pengetahuan dalam pengembangan strategi perlindungan tanaman serta peningkatan produksi pertanian yang sehat dan produktif.

Padang, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN ILMU PENYAKIT TUMBUHAN	1
1.1 Arti Penting Penyakit Tumbuhan.....	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan Ilmu Penyakit Tumbuhan...	7
1.3 Pentingnya Memahami Penyakit Tumbuhan	12
DAFTAR PUSTAKA.....	15
BAB 2 AGROEKOSISTEM DAN PENYAKIT TUMBUHAN	17
2.1 Pendahuluan.....	17
2.2 Komponen Agroekosistem.....	18
2.3 Faktor Penyebab Penyakit Tumbuhan.....	21
2.4 Dampak Penyakit Tumbuhan dalam Agroekosistem	26
2.5 Pengendalian Penyakit Tumbuhan dalam Agroekosistem.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	33
BAB 3 KONSEP DAN KLASIFIKASI PENYAKIT	35
3.1 Konsep Penyakit Tumbuhan	35
3.2 Klasifikasi Penyakit Tumbuhan	41
DAFTAR PUSTAKA.....	51
BAB 4 SIMPTOMATOLOGI PENYAKIT TUMBUHAN	53
4.1 Pendahuluan.....	53

4.2 Konsep Dasar Simptomatologi.....	55
4.3 Penggolongan Gejala Penyakit Tumbuhan.....	56
4.4 Mekanisme Terjadinya Gejala	65
4.5 Diagnosis Penyakit Berdasarkan Gejala	68
4.6 Aplikasi Simptomatologi dalam Pengendalian Penyakit	71
4.7 Penutup	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BAB 5 PENYAKIT TUMBUHAN OLEH CENDAWAN	79
5.1 Pendahuluan.....	79
5.2 Kelompok Cendawan Patogen Tumbuhan	80
5.3 Karakteristik Cendawan Patogen	82
5.4 Kolonisasi oleh Cendawan	85
5.5 Penyakit Tanaman yang Disebabkan oleh Cendawan Patogen	87
5.6 Pengelolaan Penyakit Cendawan	91
DAFTAR PUSTAKA.....	94
BAB 6 PERKEMBANGAN PENYAKIT TUMBUHAN	95
6.1 Pendahuluan.....	95
6.2 Patogenesis Penyakit Tanaman	98
6.3 Tahapan Dalam Perkembangan Penyakit: Siklus Penyakit	99
DAFTAR PUSTAKA.....	121
BAB 7 PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP PENYAKIT TUMBUHAN	125
7.1 Pendahuluan.....	125

7.2 Pengaruh Perubahan Iklim	126
7.3 Pengaruh Praktik Pertanian.....	135
DAFTAR PUSTAKA.....	139
BAB 8 GENETIKA PENYAKIT TUMBUHAN.....	141
8.1 Pendahuluan.....	141
8.2 Variabilitas Genetik pada Patogen.....	142
8.3 Genetika Resistensi Tanaman terhadap Penyakit.....	143
8.4 Mekanisme Resistensi Tanaman terhadap Patogen.....	148
8.5 Implikasi dalam Manajemen Penyakit Tanaman.....	153
8.6 Studi Kasus dalam Fitopatologi	155
8.7 Kesimpulan	157
DAFTAR PUSTAKA.....	158
BAB 9 MEKANISME SERANGAN PATOGEN	165
9.1 Pendahuluan.....	165
9.2 Siklus penyakit tanaman.....	169
9.3 Patogenesis tanaman	178
DAFTAR PUSTAKA.....	193
BAB 10 SISTEM PERTAHANAN TANAMAN.....	197
10.1 Pendahuluan	197
10.2 Mekanisme Pertahanan Tanaman.....	198
10.3 Aplikasi Pertahanan Tanaman.....	205
10.4 Kesimpulan.....	208
DAFTAR PUSTAKA.....	209
BAB 11 EPIDEMI PENYAKIT TUMBUHAN.....	211
11.1 Pengertian Epidemi.....	211

11.2 Peramalan Epidemi.....	214
11.3 Banyaknya Penyakit pada Tanaman Muda Masih Rentan.....	216
DAFTAR PUSTAKA.....	228
BAB 12 PENGELOLAAN PENYAKIT TUMBUHAN	235
12.1 Pendahuluan.....	235
12.2 Prinsip Pengelolaan Penyakit Tumbuhan.....	235
12.3 Metode Pengelolaan penyakit Tumbuhan	238
12.4 Pengelolaan Penyakit Tumbuhan Terpadu	244
DAFTAR PUSTAKA.....	247
INDEKS.....	248
GLOSARIUM	251
BIODATA PENULIS.....	259

	mengarah pada kematian sel terprogram dan ketahanan sistemik (SAR).....	150
Gambar 9. 1.	(a) <i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV) chlorosis seen in a backlit tobacco leaf (<i>Nicotiana tabacum</i>) (b) Rose black spot fungus causes black and purple spots on leaves.	166
Gambar 9. 2.	Penyakit bercak bakteri disebabkan oleh bakteri <i>Xanthomonas campestris</i> pv, <i>vesicatoria</i>	167
Gambar 9. 3.	Siklus penyakit kudis apel: Jamur yang melewati musim dingin (a) menghasilkan spora seksual (b) menembus dan menginfeksi pohon (c). Lesi segera muncul (d1), spora aseksual (e) diproduksi. Spora ini dilepaskan (f) dan Menyebarkan ke jaringan sehat (g), menyebabkan lebih banyak lesi (d1 dan d2) dan menghasilkan lebih banyak spora (e) Siklus itu kemudian dimulai lagi	170
Gambar 9. 4.	Penyakit daun tomat.	172
Gambar 9. 5.	Pengaruh salinitas tanah terhadap pertumbuhan tanaman sorghum.....	172
Gambar 9. 6.	Miselium.....	173
Gambar 9. 7.	Spora Tanaman.....	174
Gambar 9. 8.	Penyakit darah pisang.	174
Gambar 9. 9.	A) makroskopis jamur C dari tanah. (B) mikroskopis (perbesaran 40×) jamur C dari tanah. (C) literatur	176
Gambar 9. 10.	Pengendalian secara kimia	177
Gambar 9. 11.	Penetrasi langsung Rhizodermis gossypium barbadense oleh <i>Fusarium oxysporum</i> (n = nukleus; w = aposisi dinding yang dihasilkan oleh sel inang; p = penetrasi hifa). Potongan melintang jaringan yang disubstitusi beku × 11000, E Rodriguez-Galvez, Piura, Peru	180
Gambar 10. 1.	Lapisan Gabus (<i>cork layer</i>).....	200

Gambar 10. 2. Pembentukan lapisan gabus.	201
Gambar 10. 3. Pembentukan lapisan absisi.....	201
Gambar 10. 4. Pembentukan lapisan tilosis.....	202
Gambar 10. 5. Lapisan epidermis dan kutikula.....	203
Gambar 10. 6. Lapisan lilin dan Stomata.....	203

DAFTAR TABEL

Tabel 5. 1. Contoh genus pada Phylum <i>Deuteromycota</i>	80
---	----

DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TUMBUHAN :
Teori dan Aplikasinya

BAB 1

PENDAHULUAN ILMU PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Nurul Wirid Annisaa

1.1 Arti Penting Penyakit Tumbuhan

Seperti halnya manusia dan hewan, tanaman juga dapat mengalami gangguan pertumbuhan dan kesehatan akibat berbagai faktor. Ketika tanaman terserang penyakit, pertumbuhan menjadi tidak optimal, daunnya menguning, batangnya layu, atau buahnya membusuk. Dampaknya tidak hanya pada tanaman itu sendiri, tetapi juga berpengaruh terhadap produksi yang diharapkan. Jika seluruh lahan pertanian di suatu negara tiba-tiba gagal panen karena serangan penyakit tanaman, masyarakat yang bergantung pada hasil pertanian mulai mengalami kelaparan, ekonomi negara terguncang, dan terjadi migrasi besar-besaran.

Hal ini terjadi pada pertengahan abad ke-19, patogen *Phytophthora infestans* menyebabkan kehancuran besar pada tanaman kentang di Amerika Serikat dan Eropa, yang berpuncak pada bencana kelaparan di Irlandia. Wabah ini tidak hanya mengurangi produksi pangan secara drastis, tetapi juga memicu ketidakstabilan sosial dan ekonomi, termasuk meningkatnya angka kematian akibat kelaparan (Saville & Ristaino 2021).

Untuk memahami lebih dalam mengenai berbagai penyakit yang menyerang tanaman serta bagaimana cara mengatasinya, berkembanglah sebuah cabang ilmu yang dikenal sebagai Ilmu Penyakit Tumbuhan atau dalam istilah ilmiahnya disebut fitopatologi (*phytopathology*). Ilmu ini berfokus pada studi mengenai gangguan pada tumbuhan, baik yang disebabkan oleh organisme patogen seperti jamur, bakteri, virus, nematoda, maupun faktor lingkungan yang merugikan. Dalam perkembangannya, ilmu penyakit tumbuhan tidak hanya sekadar mengidentifikasi penyakit dan penyebabnya, tetapi juga mempelajari konsep dan klasifikasi penyakit tumbuhan, gejala penyakit, perkembangan penyakit dan epidemiologi, faktor lingkungan yang mempengaruhi, mekanisme serang patogen serta sistem pertahanan tanaman dan pengelolaan penyakit tumbuhan.

1.1.1 Definisi dan Ruang Lingkup Ilmu Penyakit Tumbuhan

Secara umum, **Ilmu Penyakit Tumbuhan** merupakan cabang ilmu pertanian yang secara khusus mempelajari berbagai aspek terkait gangguan kesehatan tanaman. Ilmu ini tidak hanya berfokus pada **penyebab penyakit**, tetapi juga menelusuri bagaimana penyakit berkembang dan menyebar di lingkungan pertanian. Penyakit pada tumbuhan dapat timbul akibat dua faktor utama, yaitu faktor **biotik** dan **abiotik**. Faktor biotik mencakup serangan organisme patogen seperti jamur, bakteri, virus, nematoda, serta parasit tumbuhan yang dapat menginfeksi tanaman dan mengganggu proses fisiologinya. Sementara itu, faktor abiotik meliputi kondisi lingkungan yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, seperti kekurangan unsur hara, kekeringan, salinitas, suhu ekstrem, paparan logam berat, serta defisiensi atau ketidakseimbangan unsur hara (Habib et al., 2021; Mir et al., 2022). Kedua faktor ini dapat berinteraksi dan menyebabkan gangguan serius pada pertumbuhan tanaman,

sehingga memahami ilmu penyakit tumbuhan menjadi hal yang sangat penting dalam dunia pertanian.

Ruang lingkup ilmu ini cukup luas dan mencakup beberapa aspek penting dalam sistem produksi pertanian. Salah satu aspek utama adalah **identifikasi penyakit**, yaitu proses mengenali gejala serta menentukan penyebab suatu penyakit berdasarkan ciri-ciri yang muncul pada tanaman yang terserang. Proses ini menjadi langkah awal dalam memahami sifat penyakit sebelum menentukan metode pengendaliannya. Selain itu, ilmu penyakit tumbuhan juga mencakup **epidemiologi penyakit tumbuhan**, yaitu studi yang berfokus pada bagaimana penyakit menyebar, faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keparahan serangan, serta pola penyebaran penyakit dalam suatu ekosistem pertanian. Dengan mempelajari aspek epidemiologi, langkah-langkah preventif dapat diterapkan secara lebih efektif untuk mengurangi dampak penyakit terhadap hasil panen. Tidak kalah penting, ilmu ini juga membahas **pengendalian penyakit**, yang mencakup berbagai strategi untuk menekan perkembangan patogen dan mengurangi dampaknya terhadap tanaman. Metode pengendalian dapat bervariasi, mulai dari pengelolaan lingkungan pertanian yang lebih baik, pemanfaatan varietas tanaman yang tahan terhadap penyakit, hingga penerapan teknologi bioteknologi yang semakin berkembang dalam dunia pertanian modern.

Penerapan ilmu penyakit tumbuhan tidak hanya terbatas pada penelitian di laboratorium atau kajian akademik semata, tetapi juga memiliki dampak nyata dalam praktik pertanian sehari-hari. Para **petani, peneliti, dan praktisi pertanian** bekerja sama untuk memahami pola serangan penyakit dan mencari solusi yang tepat guna mencegah serta mengatasi masalah kesehatan tanaman. Teknologi pemantauan penyakit berbasis sensor dan kecerdasan buatan mulai dikembangkan

untuk mendeteksi dini adanya gangguan pada tanaman, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum penyakit menyebar lebih luas. Dengan demikian, ilmu penyakit tumbuhan terus berkembang sebagai bidang yang berperan penting dalam menjaga kesehatan tanaman, meningkatkan produktivitas pertanian, serta mendukung ketahanan pangan di berbagai belahan dunia.

1.1.2 Peran Ilmu Penyakit Tumbuhan dalam Bidang Pertanian dan Ekologi

Ilmu penyakit tumbuhan memiliki peran penting dalam menjaga produktivitas dan keberlanjutan produksi pangan dalam pertanian. Tanaman berfungsi sebagai sumber pangan utama bagi manusia dan ternak, serta bahan baku industri dan elemen kunci dalam keseimbangan lingkungan. Penyebaran penyakit yang meluas dapat menyebabkan penurunan hasil panen, meningkatkan biaya produksi, dan memicu terjadinya kelangkaan pangan di berbagai daerah. Dampaknya tidak hanya dirasakan oleh petani, tetapi juga oleh seluruh rantai pasok pangan, termasuk pedagang, konsumen, dan sektor industri yang bergantung pada produk pertanian. Pemahaman yang mendalam mengenai ilmu penyakit tumbuhan menjadi suatu keharusan bagi para pelaku di bidang pertanian agar dapat mengantisipasi dan mengelola risiko yang mungkin terjadi.

Selain perannya dalam pertanian, ilmu penyakit tumbuhan juga memiliki keterkaitan erat dengan **ilmu ekologi**. Penyakit tumbuhan bukan hanya gangguan yang berdampak negatif bagi sektor pertanian, tetapi juga bagian dari dinamika ekosistem yang lebih luas. Interaksi antara tanaman, patogen, dan faktor lingkungan menjadi salah satu faktor penentu keseimbangan alam. Misalnya, peningkatan suhu global dan perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim dapat menciptakan kondisi yang lebih mendukung bagi perkembangan patogen tertentu,

sehingga menyebabkan penyakit tanaman lebih sering terjadi atau semakin sulit dikendalikan. Dalam beberapa kasus, hilangnya keanekaragaman hayati akibat praktik pertanian intensif juga dapat meningkatkan risiko penyebaran penyakit karena tidak adanya tanaman alternatif yang dapat menghambat siklus hidup patogen.

Di era pertanian modern, ilmu penyakit tumbuhan berperan penting dalam **pengembangan sistem pertanian berkelanjutan**. Pendekatan pengendalian penyakit kini tidak hanya berfokus pada penggunaan pestisida kimia, tetapi juga mengarah pada strategi yang lebih ramah lingkungan. Konsep seperti **pengelolaan hama terpadu (PHT)**, **penggunaan agen hayati**, **rotasi tanaman**, serta **pemanfaatan varietas tahan penyakit** semakin banyak diterapkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga memperpanjang umur produktif tanah dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dalam jangka panjang. Dengan terus berkembangnya penelitian di bidang ini, ilmu penyakit tumbuhan semakin memperluas cakupannya dalam menjawab tantangan pertanian global yang semakin kompleks.

1.1.3 Perbedaan dengan Cabang Ilmu Lain

Ilmu Penyakit Tumbuhan sering kali dikaitkan dengan cabang ilmu pertanian lainnya, seperti **agronomi** dan **bioteknologi**. Ketiga bidang ini saling berhubungan dalam pengelolaan pertanian, tetapi memiliki fokus kajian yang berbeda. Fitopatologi, sebagai bidang yang secara khusus mempelajari penyakit pada tumbuhan, meneliti penyebab, mekanisme penyebaran, serta metode pencegahan dan pengendalian penyakit tanaman. Sementara itu, agronomi dan

bioteknologi lebih menyoroti aspek budidaya dan peningkatan kualitas tanaman dengan pendekatan yang berbeda.

Perbedaan Konseptual: Fitopatologi dan Agronomi.

Fitopatologi berfokus pada **gangguan kesehatan tanaman**, termasuk interaksi antara patogen dan inangnya, serta faktor lingkungan yang mendukung perkembangan penyakit. Kajian ini melibatkan identifikasi gejala penyakit, diagnosis patogen penyebabnya, dan metode pengendalian berbasis ilmu pengetahuan. Di sisi lain, **agronomi** memiliki cakupan yang lebih luas dalam sistem pertanian, meliputi teknik budidaya, pengelolaan tanah, irigasi, serta strategi pemupukan untuk memastikan tanaman dapat tumbuh secara optimal. Agronomi tidak hanya memperhatikan faktor biotik seperti penyakit tanaman, tetapi juga faktor abiotik seperti kesuburan tanah dan efisiensi penggunaan air. Meskipun keduanya memiliki perbedaan dalam lingkup kajian, agronomi dan fitopatologi saling melengkapi dalam memastikan pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif.

Perbedaan Konseptual: Fitopatologi dan Bioteknologi.

Bioteknologi pertanian memanfaatkan **teknik rekayasa genetika dan manipulasi biologis** untuk mengembangkan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap penyakit, kondisi lingkungan ekstrem, atau tekanan abiotik lainnya. Dalam hal ini, fitopatologi berperan dalam memberikan data ilmiah mengenai sifat patogen dan mekanisme infeksi, yang kemudian menjadi dasar bagi pengembangan tanaman dengan ketahanan alami terhadap penyakit tertentu. Misalnya, penelitian tentang gen ketahanan tanaman terhadap jamur atau virus dapat membantu ahli bioteknologi dalam menciptakan varietas unggul yang mampu bertahan di lingkungan yang penuh tekanan biotik.

Terlepas dari perbedaannya, ketiga bidang ini tidak dapat dipisahkan dalam dunia pertanian moderen. Pemahaman yang mendalam tentang penyakit tanaman sangat penting bagi ahli agronomi untuk menyusun strategi budidaya yang lebih baik, sementara ahli bioteknologi membutuhkan wawasan dari ahli fitopatologi untuk mengembangkan inovasi dalam perlindungan tanaman. Gabungan antara fitopatologi, agronomi, dan bioteknologi menciptakan pendekatan yang lebih menyeluruh terhadap tantangan-tantangan pertanian, baik dalam skala industri kecil maupun besar.

1.2 Sejarah dan Perkembangan Ilmu Penyakit Tumbuhan

Ilmu Penyakit Tumbuhan, atau fitopatologi, telah berkembang seiring dengan pemahaman manusia tentang hubungan antara tanaman dan penyakit. Pada awalnya, penyakit tanaman dianggap sebagai fenomena alam yang sulit dipahami. Namun, seiring berjalannya waktu, para ilmuwan mulai mengkaji lebih dalam penyebab dan dampak dari penyakit tanaman, yang membawa pada pembentukan ilmu ini sebagai cabang khusus dalam pertanian. Sejarah ilmu penyakit tumbuhan tidak terlepas dari perkembangan pertanian itu sendiri, di mana pertanian yang lebih intensif dan teknologi yang berkembang pesat meningkatkan ketergantungan pada tanaman tertentu, yang akhirnya memperburuk penyebaran penyakit.

Salah satu wabah penyakit tanaman paling dahsyat dalam sejarah adalah **hawar daun kentang**. Sejak tahun 1845, penyakit ini telah menyebar hampir di seluruh lahan pertanaman kentang di Eropa, mencakup jutaan hektar. Dampak paling parah terjadi di Irlandia, di mana kentang merupakan makanan pokok utama penduduknya. Serangan penyakit ini menyebabkan gagal panen

yang berujung pada "*The Irish Famine*" atau Kelaparan Besar Irlandia. Akibatnya, jutaan orang mengalami kelaparan, dan banyak di antara mereka terpaksa beremigrasi ke Amerika Serikat untuk mencari kehidupan yang lebih baik.

Afrika Barat yang merupakan penghasil kakao terbesar di dunia menderita banyak kerugian karena penyakit tunas bengkak (*swollen shoot*) yang disebabkan oleh virus. Penyakit ini berdampak signifikan pada produksi kakao, terutama di Ghana. Pada tahun 1936–1937, produksi kakao Ghana mencapai **116 ribu ton**, tetapi akibat wabah ini, hasil panennya merosot drastis menjadi hanya **64 ribu ton** pada periode 1945–1948 (Hidayat et al., 2013).

Di Indonesia sendiri, terdapat beberapa kasus penyakit tumbuhan salah satunya penyakit *citrus vein phloem degeneration* (CVPD) yang menyebabkan tanaman jeruk di Jawa terutama jeruk siam terjadi penurunan hasil panen 60-90%. Sekitar 3 juta pohon jeruk di Indonesia mengalami kerusakan berat selama tahun 1960–1970 (Gottwald 2007).

1.2.1 Perkembangan Awal dan Tokoh-Tokoh Penting

Sejarah perkembangan **Ilmu Penyakit Tumbuhan** dimulai sejak para ilmuwan pertama kali menyadari bahwa tanaman, seperti halnya manusia dan hewan, dapat mengalami gangguan kesehatan. Pada awalnya, penyakit pada tanaman sering dianggap sebagai hukuman atas dosa yang telah dilakukannya.

Pada tahun 875 dan beberapa tahun berikutnya, penyakit ergot yang menyerang rye (sejenis gandum) mewabah di berbagai negara Eropa. Penyakit ini disebabkan oleh cendawan *Claviceps purpurea*, yang menghasilkan sklerotium yang tercampur dengan butiran rye. Sklerotium tersebut mengandung senyawa alkaloid beracun yang dapat menyebabkan ergotisme

pada manusia. Gejala penyakit ini meliputi pembengkakan pada jari tangan, jari kaki, bahkan hidung dan telinga, yang dalam kasus parah dapat berujung pada kematian (Hidayat et al. 2013). Pada tahun 1845, **M.J. Berkeley**, salah satu pendiri ilmu patologi tumbuhan asal Inggris, menemukan hubungan antara jamur dan penyakit tanaman, yang membuka jalan bagi penelitian lebih lanjut di bidang fitopatologi. Penemuan ini sangat penting karena menunjukkan bahwa patogen mikroskopis dapat menginfeksi tanaman dan menyebabkan penyakit. Selanjutnya pada tahun 1867, Heinrich Anton de Bary seorang ahli mikologi dan botani Jerman yang dikenal dengan “Bapak Fitopatologi Modern” membuktikan bahwa jamur dapat menyebabkan penyakit pada tanaman dan memperkuat pemahaman tentang hubungan antara patogen dan inangnya.

Tokoh penting lainnya adalah **Louis Pasteur**, yang dikenal dengan teori kuman penyakitnya dan banyak berkontribusi dalam pemahaman mikroorganisme sebagai penyebab penyakit, tidak hanya pada manusia dan hewan, tetapi juga pada tanaman. Pada akhir abad ke-19, **Robert Koch**, seorang ilmuwan Jerman, mengembangkan **Postulat Koch**, yang digunakan untuk membuktikan bahwa mikroorganisme tertentu adalah penyebab penyakit. Ini menjadi dasar penting dalam ilmu penyakit tumbuhan, karena para peneliti mulai dapat mengidentifikasi dan memverifikasi hubungan antara patogen dan penyakit tanaman secara ilmiah. Seiring berjalannya waktu, lebih banyak ilmuwan yang berkontribusi dalam memajukan ilmu penyakit tumbuhan, seperti penemuan tentang bakteri sebagai penyebab penyakit pada tanaman oleh **Erwin F. Smith** pada awal abad ke-20. Erwin f. Smith mengidentifikasi lebih dari 100 penyakit tanaman yang disebabkan oleh bakteri. Penelitian tentang virus tanaman yang diperkenalkan oleh **Martinus Beijerinck** pada tahun 1898. Ia melakukan eksperimen filtrasi menggunakan gelatin (agar-agar) untuk membuktikan bahwa agen penyebab

penyakit tersebut lebih kecil dari bakteri dan mampu melewati saringan yang menahan bakteri. Beijerinck menyebut agen infeksius ini sebagai "virus", menandai penemuan pertama tentang virus tanaman dan membuka jalan bagi pengembangan virologi sebagai disiplin ilmu.

1.2.2 Revolusi Pertanian dan Dampaknya pada Studi Penyakit Tumbuhan

Perkembangan ilmu penyakit tumbuhan semakin pesat dengan adanya **revolusi pertanian** yang terjadi pada abad ke-19 dan 20. Revolusi pertanian, yang mencakup peningkatan penggunaan teknologi dalam produksi tanaman dan pembukaan lahan pertanian yang lebih luas, menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap serangan penyakit. Teknik pertanian yang intensif, seperti monoculture atau penanaman satu jenis tanaman dalam area luas, memperburuk penyebaran penyakit. Ketergantungan pada varietas tanaman yang sama memudahkan patogen untuk berkembang biak dan menyebar dengan cepat. Pada masa ini, ilmu penyakit tumbuhan berfokus pada identifikasi penyakit-penyakit yang muncul akibat perubahan dalam sistem pertanian dan bagaimana mengendalikan penyebarannya.

Seiring dengan revolusi pertanian, para ilmuwan semakin menyadari pentingnya **pengelolaan penyakit tanaman** untuk menjaga hasil pertanian. Penemuan tentang cara-cara untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit melalui pemuliaan tanaman dan penggunaan varietas yang lebih tahan terhadap patogen mulai dikembangkan. Metode **rotasi tanaman** juga diperkenalkan untuk mengurangi peluang penyebaran penyakit. Penekanan pada pengendalian penyakit di bidang pertanian ini menjadi sangat penting, karena masalah penyakit tanaman dapat memengaruhi kestabilan pasokan pangan yang

semakin meningkat akibat pertumbuhan populasi manusia dan kebutuhan akan pangan yang lebih besar.

1.2.3 Kemajuan Teknologi dan Pengaruhnya terhadap Diagnosa dan Pengendalian Penyakit

Pada abad ke-20, kemajuan teknologi memberi dampak besar dalam perkembangan ilmu penyakit tumbuhan. Penggunaan teknologi baru dalam bidang **mikroskopi elektron**, **biologi molekuler**, dan **genetika** membuka pintu bagi penemuan baru tentang patogen penyebab penyakit tanaman. Dengan teknologi mikroskopi, ilmuwan dapat melihat patogen dengan lebih jelas dan mengidentifikasi virus, bakteri, dan jamur yang menyebabkan penyakit tanaman dengan tingkat presisi yang lebih tinggi. Teknologi ini membantu mempercepat proses diagnosis penyakit tanaman, yang sebelumnya memakan waktu lebih lama, dan memberikan informasi yang lebih akurat mengenai sumber penyakit.

Selain itu, dalam pengendalian penyakit tanaman, teknologi juga memainkan peran yang sangat penting. **Bioteknologi** pertanian, yang melibatkan rekayasa genetika untuk menghasilkan tanaman tahan penyakit, semakin berkembang pesat. Pemanfaatan **penanda molekuler** dan teknik **CRISPR-Cas9** memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi gen yang mengatur ketahanan tanaman terhadap patogen tertentu. Dalam hal ini, fitopatologi dan bioteknologi bekerja sama untuk menciptakan tanaman yang lebih tahan terhadap penyakit dengan memodifikasi atau meningkatkan karakteristik genetik tanaman. Tak hanya itu, teknologi pemantauan penyakit berbasis sensor dan drone yang dapat mendeteksi gejala penyakit sejak dini kini semakin banyak diterapkan di lapangan untuk membantu petani mengelola tanaman mereka dengan lebih efektif. Semua kemajuan ini menunjukkan betapa pentingnya integrasi antara teknologi dan ilmu penyakit tumbuhan dalam

upaya meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit, serta menjaga keberlanjutan produksi pertanian di masa depan.

1.3 Pentingnya Memahami Penyakit Tumbuhan

1.3.1 Dampak Penyakit Terhadap Produksi Pangan dan Ekonomi

Penyakit pada tumbuhan memiliki dampak yang sangat besar, baik terhadap **produksi pangan** maupun **perekonomian** secara keseluruhan. Tanaman adalah sumber utama bagi kebutuhan pangan manusia dan hewan, dan ketika tanaman terkena penyakit, tidak hanya hasil panennya yang berkurang, tetapi juga kualitasnya dapat terganggu. Penyakit yang menyebar dengan cepat dapat menghancurkan seluruh tanaman dalam waktu singkat, yang mengarah pada penurunan drastis dalam hasil pertanian. Dampak ini, pada gilirannya, berdampak pada pasokan pangan yang tersedia, yang kemudian mempengaruhi harga pangan di pasar. Harga yang melonjak tinggi akibat kekurangan pasokan dapat menambah beban ekonomi masyarakat, terutama di negara berkembang yang bergantung pada pertanian sebagai sumber utama mata pencaharian.

Bukan hanya petani yang merasakan dampaknya, tetapi seluruh rantai pasokan pangan, termasuk pengolah makanan, pedagang, dan konsumen, juga akan merasakannya. Ketika penyakit menyerang tanaman dalam skala besar, maka produksi pangan yang seharusnya stabil menjadi rentan, dan hal ini bisa berujung pada krisis pangan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai penyakit tanaman tidak hanya penting bagi petani, tetapi juga bagi para pengambil kebijakan dan seluruh sektor yang terkait dengan ketahanan pangan global.

1.3.2 Kasus Nyata: Epidemi Penyakit Tumbuhan

Salah satu contoh kasus nyata yang menunjukkan betapa besar dampak penyakit tumbuhan adalah **epidemi yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans***, patogen penyebab **penyakit busuk daun dan umbi pada tanaman kentang**. Pada abad ke-19, sebuah pandemi besar penyakit kentang yang disebabkan oleh patogen ini menyebabkan **kelaparan besar di Irlandia**, yang dikenal dengan nama "**The Great Famine**" (1845–1852). *Phytophthora infestans* menyebar dengan cepat di seluruh wilayah Irlandia, memusnahkan hampir seluruh tanaman kentang yang merupakan makanan pokok masyarakat pada saat itu. Kejadian ini menyebabkan kelaparan yang meluas, mengakibatkan kematian lebih dari satu juta orang dan mengusir banyak orang Irlandia ke luar negeri.

Pada tahun 1962, gejala penyakit tungro pertama kali ditemukan di Kalimantan Selatan. Pada tahun 1969-1971, penyakit ini berkembang secara epidemik dan menyebabkan 10 ribu ha lahan padi sawah rusak. Pada saat itu juga, epidemi tungro terjadi di Sumatera Selatan dan Lampung. Dalam kurun waktu 20 tahun, tungro telah menyebar ke 23 provinsi di Indonesia (Prayudi 2001).

Kasus ini menjadi contoh ekstrem bagaimana satu penyakit tanaman dapat mengubah nasib sebuah negara. Ini menunjukkan betapa **kerentanannya ketergantungan pada satu komoditas tanaman**. Pemahaman tentang penyakit tumbuhan tidak hanya penting dalam konteks penelitian ilmiah, tetapi juga dalam perencanaan kebijakan pertanian dan ketahanan pangan. Dari kejadian tersebut, banyak negara mulai menyadari pentingnya keberagaman tanaman sebagai langkah mitigasi terhadap ancaman penyakit yang dapat mengancam ketahanan pangan.

1.3.3 Hubungan Antara Penyakit Tumbuhan dengan Keamanan Pangan dan Perubahan Iklim

Keamanan pangan adalah isu global yang semakin menjadi perhatian dunia, terutama dengan semakin meningkatnya dampak dari **perubahan iklim**. Perubahan iklim membawa ketidakpastian terhadap pola cuaca, yang berpengaruh pada kondisi pertumbuhan tanaman. Suhu yang lebih tinggi, curah hujan yang tidak menentu, serta kelembapan yang lebih tinggi atau lebih rendah dapat menciptakan kondisi yang mendukung berkembangnya penyakit tanaman. Sebagai contoh, kondisi lembab dan suhu tinggi sangat mendukung penyebaran jamur dan bakteri yang merusak tanaman. Penyakit tanaman yang berkembang pesat di bawah kondisi iklim yang berubah dapat merusak hasil pertanian, mengancam ketahanan pangan, dan meningkatkan ketergantungan pada impor pangan.

Selain itu, dengan adanya perubahan iklim, pola distribusi patogen juga dapat bergeser ke wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak terpengaruh. Hal ini meningkatkan potensi terjadinya epidemi penyakit tanaman di wilayah-wilayah baru, yang tentunya mempengaruhi keberagaman dan keberlanjutan pasokan pangan. Memahami penyakit tanaman dan bagaimana faktor lingkungan dapat mempengaruhi penyebarannya, menjadi langkah penting dalam merancang kebijakan pertanian yang adaptif terhadap perubahan iklim. Pemerintah dan praktisi pertanian perlu berkolaborasi untuk menemukan solusi jangka panjang yang tidak hanya mengatasi penyakit tanaman, tetapi juga memperhitungkan aspek perubahan iklim dalam strategi pertanian yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gottwald, T.R., da Graça, J.V., Bassanezi, R.B. (2007). Citrus huanglongbing: the pathogen and its impact. *Plant Health Progress*. DOI: <http://doi.org/10.1094/PHP-2007-0906-01-RV>
- Habib, S., Lwin, Y.Y. and Li, N. (2021). Down-Regulation of *S1GRA10* in Tomato Confers Abiotic Stress Tolerance. *Genes*, 12(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/genes12050623>
- Hidayat, S.H., Hidayat, P., Harahap, I.S., Nurhayati, E., Giyanto, and Guntoro, D. (2015). *Dasar-dasar perlindungan tanaman*. 3rd ed. Tangerang Selatan: Penerbit Universitas Terbuka.
- Mir, R.A. et al. (2022). Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. *Frontiers in Plant Science*, 13(6). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.819658>
- Prayudi, B. (2001). Penyakit tungro di lahan rawa pasang surut. Repositori Kementerian Pertanian. Diakses dari: <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/6440> (Tanggal 8 Maret 2025).
- Saville, A.C. and Ristaino, J.B. (2021). Global historic pandemics caused by the FAM-1 genotype of *Phytophthora infestans* on six continents. *Scientific Reports*. 11(1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90937-6>

BAB 2

AGROEKOSISTEM DAN PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Desty Aulia Putrantri

2.1 Pendahuluan

Penyakit tumbuhan merupakan salah satu ancaman besar yang dapat mengganggu keberhasilan agroekosistem. Penyakit ini muncul akibat infeksi oleh berbagai jenis patogen seperti jamur, bakteri, virus, atau nematoda yang menyerang tanaman. Setiap jenis patogen memiliki mekanisme yang berbeda dalam menginfeksi dan merusak tanaman. Jamur, misalnya, seringkali menyebabkan penyakit bercak daun, busuk akar, atau penyakit batang yang dapat menghentikan proses fotosintesis atau merusak jaringan tanaman. Bakteri dapat menyebabkan penyakit busuk daun, kanker akar, atau layu bakteri, sementara virus dapat menyebabkan mosaik daun dan deformasi tanaman yang pada akhirnya menurunkan kualitas hasil pertanian. Nematoda, meskipun seringkali diabaikan, juga dapat merusak akar tanaman, menghambat penyerapan air dan hara, serta mengurangi pertumbuhan tanaman. Penyakit tumbuhan ini dapat berkembang dengan cepat apabila kondisi lingkungan mendukung, seperti kelembapan yang tinggi, suhu yang tidak stabil, atau kondisi tanah yang kurang baik. Bahkan, cuaca yang tidak menentu atau kekurangan air dapat menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap serangan pathogen.

Pengelolaan penyakit tumbuhan dalam agroekosistem menjadi aspek yang sangat penting dalam rangka menjaga hasil produksi pertanian agar tetap optimal. Penyakit yang tidak dikendalikan dapat menyebabkan penurunan hasil yang signifikan, yang pada akhirnya memengaruhi ketahanan pangan dan kesejahteraan petani. Pengelolaan penyakit dalam konteks agroekosistem harus dilakukan secara terintegrasi dan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan, penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, serta pendekatan yang meminimalkan dampak negatif terhadap keberagaman hayati dan kualitas tanah (Romeh, 2019). Dengan mengelola penyakit secara efektif, agroekosistem dapat dipertahankan keseimbangannya, yang pada gilirannya akan menjamin keberlanjutan produksi pertanian dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan.

2.2 Komponen Agroekosistem

Agroekosistem merupakan sistem yang kompleks dan dinamis, terdiri dari berbagai komponen yang saling berinteraksi satu sama lain untuk mendukung kelangsungan produksi pertanian. Setiap komponen dalam agroekosistem memiliki peran yang sangat penting, dan perubahan atau gangguan pada salah satu komponen dapat berdampak langsung terhadap keberhasilan sistem secara keseluruhan. Berikut berbagai komponen yang membentuk agroekosistem (Pagano *et al.*, 2017).

2.2.1 Tanaman

Tanaman adalah komponen utama dalam agroekosistem, menjadi sumber pangan, bahan baku industri, serta komponen penting dalam siklus karbon dan oksigen di dalam ekosistem.

Tanaman yang dibudidayakan seperti padi, jagung, kedelai, dan tanaman hortikultura lainnya, tidak hanya memberikan hasil berupa produk pertanian tetapi juga memengaruhi struktur tanah, kualitas air, dan bahkan iklim mikro di sekitar area pertanian. Tanaman memiliki hubungan yang sangat erat dengan unsur hara di tanah, sehingga pengelolaan kualitas tanah menjadi sangat penting untuk menjamin keberhasilan pertanian. Selain itu, pemilihan varietas tanaman yang sesuai dengan kondisi agroekosistem, termasuk ketahanan terhadap penyakit, kekeringan, dan hama, juga berperan besar dalam mencapai hasil yang optimal. Tanaman yang tumbuh sehat di dalam agroekosistem yang terkelola dengan baik berfungsi sebagai pendorong utama yang mendukung stabilitas ekonomi dan keberlanjutan sistem pertanian.

2.2.2 Hewan

Hewan dalam agroekosistem, baik itu hewan ternak seperti sapi, kambing, dan ayam, maupun hewan liar seperti serangga, berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Hewan ternak sering kali menjadi sumber pakan bagi manusia, serta dapat berkontribusi dalam siklus nutrisi melalui kotorannya yang dapat digunakan sebagai pupuk alami untuk tanaman. Di sisi lain, hewan juga memengaruhi keberhasilan pertanian melalui interaksinya dengan tanaman, seperti dalam proses pembungaan. Serangga seperti lebah, kupu-kupu, dan berbagai jenis serangga lainnya berperan sebagai pembungaan tanaman, yang penting untuk keberhasilan produksi buah dan biji pada beberapa jenis tanaman. Selain itu, beberapa hewan juga berperan dalam pengendalian hama secara alami. Misalnya, burung dan laba-laba atau serangga predator lainnya yang dapat mengurangi populasi hama tanaman secara efektif tanpa memerlukan penggunaan pestisida kimia.

2.2.3 Mikroorganisme

Mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan virus, memiliki peran yang sangat besar dalam keberhasilan agroekosistem, khususnya dalam proses-proses dekomposisi bahan organik dan siklus unsur hara. Mikroorganisme yang ada di tanah bertanggung jawab untuk mengurai sisa-sisa tanaman yang mati menjadi unsur hara yang dapat diserap kembali oleh tanaman. Selain itu, mikroorganisme juga dapat membantu menjaga kesehatan tanaman dengan cara mengendalikan patogen yang berpotensi merusak tanaman. Beberapa jenis mikroorganisme bahkan memiliki kemampuan untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyerapan air, dan mengurangi kerusakan akibat erosi tanah. Dalam konteks yang lebih luas, mikroorganisme yang ada dalam tanah juga berperan dalam mengatur keseimbangan ekosistem dengan mengontrol jumlah hama dan patogen yang menyerang tanaman.

2.2.4 Faktor Abiotik

Faktor-faktor abiotik atau faktor lingkungan yang meliputi suhu, kelembapan, cahaya, curah hujan, dan kualitas tanah memainkan peran yang sangat besar dalam menentukan keberhasilan pertanian dalam agroekosistem. Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan spesifik terkait faktor-faktor lingkungan ini. Misalnya, tanaman padi memerlukan curah hujan yang cukup tinggi dan suhu yang hangat untuk berkembang dengan baik, sementara tanaman jagung lebih toleran terhadap kondisi kering dan suhu yang lebih tinggi. Kelembapan yang tinggi dapat mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga dapat mempercepat perkembangan patogen seperti jamur dan bakteri yang menyebabkan penyakit. Begitu pula, kualitas tanah yang baik, yang memiliki keseimbangan unsur hara dan pH yang

tepat, sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

2.2.5 Manusia

Manusia memegang peran sentral dalam pengelolaan agroekosistem. Sebagai pengelola utama, manusia bertanggung jawab atas segala keputusan yang berkaitan dengan penggunaan sumber daya alam, pengelolaan tanah, air, serta pengendalian hama dan penyakit tanaman. Selain itu, manusia juga memainkan peran penting dalam pemilihan dan pengembangan varietas tanaman yang sesuai dengan kondisi agroekosistem tertentu, baik dari segi ketahanan terhadap hama, penyakit, maupun toleransi terhadap faktor lingkungan seperti kekeringan atau salinitas. Pemilihan praktik pertanian yang baik, seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengendalian hama secara alami, adalah bagian dari upaya manusia untuk menjaga keseimbangan dalam agroekosistem. Di sisi lain, manusia juga memiliki potensi untuk merusak keseimbangan agroekosistem apabila pengelolaannya tidak dilakukan dengan bijaksana. Penggunaan pestisida secara berlebihan, konversi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, serta praktik pertanian intensif yang mengabaikan keberlanjutan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengurangi kualitas tanah serta biodiversitas dalam agroekosistem.

2.3 Faktor Penyebab Penyakit Tumbuhan

Penyakit tumbuhan merupakan masalah yang kompleks dan multi-faktorial yang melibatkan berbagai elemen penyebab, baik biotik maupun abiotik. Penyakit ini dapat merusak tanaman secara signifikan, mengurangi hasil pertanian, dan bahkan dapat menyebabkan kematian tanaman jika tidak dikelola dengan baik.

Salah satu faktor utama penyebab penyakit tumbuhan adalah patogen, yang terdiri dari berbagai kelompok organisme yang mampu menyerang tanaman dan menyebabkan kerusakan pada struktur atau fungsi tanaman. Patogen merupakan organisme atau virus yang dapat menginfeksi dan bertahan hidup pada tumbuhan, serta dapat mengganggu kesehatan tanaman dan menyebabkan gejala penyakit (Jibril *et al.*, 2016). Patogen ini meliputi jamur, bakteri, virus, dan nematoda, masing-masing dengan karakteristik dan cara serangan yang berbeda.

2.3.1 Jamur (Fungi)

Jamur merupakan salah satu penyebab utama penyakit tumbuhan, yang dapat menginfeksi berbagai bagian tanaman seperti daun, batang, akar, atau buah. Jamur memiliki kemampuan untuk berkembang biak dengan sangat cepat, terutama dalam kondisi yang lembap dan hangat. Beberapa penyakit yang disebabkan oleh jamur, seperti bercak daun, busuk akar, dan penyakit batang, dapat mengurangi kemampuan tanaman untuk fotosintesis, menyebabkan kerusakan jaringan, atau mengganggu aliran air dan unsur hara melalui sistem perakaran. Sebagai contoh, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, dan *Phytophthora* adalah beberapa jenis jamur yang dikenal dapat menyebabkan kerusakan serius pada tanaman, seperti busuk akar yang menghambat penyerapan air, atau bercak daun yang mengurangi efisiensi fotosintesis. Selain itu, spora jamur seringkali terbawa angin atau air, yang memungkinkan penyebaran penyakit ke tanaman lain, sehingga infeksi dapat meluas dengan cepat dalam agroekosistem.

2.3.2 Bakteri

Bakteri juga merupakan penyebab umum penyakit tumbuhan. Beberapa jenis bakteri patogenik dapat menyebabkan penyakit pada berbagai bagian tanaman, mulai dari akar, batang, hingga daun. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri termasuk busuk daun, kanker akar, dan penyakit layu. Salah satu contoh bakteri patogen yang merusak tanaman adalah *Xanthomonas* yang dapat menyebabkan penyakit busuk daun pada berbagai tanaman seperti cabai dan tomat. Bakteri ini menginfeksi jaringan tanaman, menyebabkan kerusakan sel-sel yang pada akhirnya mengganggu fungsi normal tanaman. Beberapa jenis bakteri seperti *Ralstonia solanacearum* menyebabkan penyakit layu bakteri yang menghalangi peredaran air dan hara di dalam tanaman, sehingga tanaman menjadi layu meskipun mendapatkan cukup air. Proses infeksi bakteri seringkali dipicu oleh luka pada tanaman, yang memungkinkan bakteri masuk lebih mudah. Selain itu, bakteri dapat tersebar melalui air irigasi, alat pertanian yang tidak steril, atau bahkan melalui angin yang membawa partikel kecil.

2.3.3 Virus

Virus pada tanaman dapat menyebabkan penyakit yang sangat merusak meskipun ukurannya sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Virus menyerang sel tanaman dan mengubah fungsi normal sel tersebut, yang seringkali menyebabkan perubahan morfologi dan fisiologi tanaman. Penyakit yang disebabkan oleh virus antara lain adalah mosaik pada daun, yang mengakibatkan bercak-bercak kuning atau putih pada daun dan memperlambat proses fotosintesis. Beberapa virus juga dapat menyebabkan deformatif pada tanaman, seperti mengubah bentuk daun, bunga, atau buah, yang pada akhirnya mengurangi kualitas dan hasil produksi tanaman. Virus pada tanaman umumnya tersebar melalui vektor seperti

serangga penghisap, terutama kutu daun, atau dapat juga melalui pemangkasan tanaman atau penggunaan alat pertanian yang terkontaminasi. Karena virus seringkali tidak dapat disembuhkan dengan pengobatan kimia, pengendalian virus lebih mengandalkan pada pencegahan dan pengelolaan vektor serta penggunaan varietas tanaman yang tahan terhadap infeksi virus tertentu.

2.3.4 Nematoda

Nematoda adalah cacing mikroskopis yang dapat menginfeksi akar tanaman, menyebabkan kerusakan serius pada sistem perakaran dan mengganggu kemampuan tanaman untuk menyerap air dan unsur hara dari tanah. Penyakit yang disebabkan oleh nematoda seringkali terjadi di tanah yang lembap dan subur, di mana nematoda dapat berkembang biak dengan cepat. *Meloidogyne* atau nematoda akar gall merupakan salah satu jenis nematoda yang paling merusak, menyebabkan pembengkakan atau pembentukan galls di akar tanaman. Pembengkakan ini menghalangi aliran air dan nutrisi ke bagian tanaman lainnya, mengurangi pertumbuhan dan produksi tanaman. Nematoda juga dapat menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap infeksi oleh patogen lain, seperti jamur dan bakteri, karena kerusakan yang terjadi pada sistem perakaran. Penyebaran nematoda dapat terjadi melalui tanah yang terkontaminasi, alat pertanian, atau bahkan melalui akar tanaman yang terinfeksi yang dipindahkan ke lahan lain.

Selain patogen, faktor lingkungan juga berperan besar dalam perkembangan dan penyebaran penyakit tumbuhan. Kondisi suhu, kelembapan, dan curah hujan yang tidak stabil atau ekstrem dapat meningkatkan kerentanannya terhadap infeksi patogen. Suhu yang tinggi atau kelembapan yang berlebihan, misalnya, dapat mempercepat laju pertumbuhan jamur dan bakteri, sementara kondisi lembap juga memudahkan

penyebaran spora atau patogen lainnya ke tanaman lain. Curah hujan yang tinggi, meskipun bermanfaat bagi tanaman, dapat menyebabkan genangan air yang menciptakan kondisi ideal bagi pertumbuhan jamur patogen atau bahkan merusak sistem perakaran tanaman. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi atau kekeringan yang berkepanjangan dapat membuat tanaman stres, mengurangi ketahanannya terhadap patogen, dan memperburuk gejala penyakit yang sudah ada. Oleh karena itu, pengelolaan faktor lingkungan seperti irigasi yang baik, pengendalian kelembapan tanah, dan perlindungan tanaman dari kondisi ekstrem sangat penting untuk mengurangi dampak penyakit tumbuhan dalam agroekosistem.

Penyakit tumbuhan yang disebabkan oleh patogen serta dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mendukung perkembangannya, menjadi tantangan besar dalam pertanian modern. Untuk mengelola penyakit ini, pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan sangat diperlukan, yang mencakup pemilihan varietas tanaman yang tahan terhadap patogen tertentu, rotasi tanaman, penggunaan teknologi pengendalian yang ramah lingkungan, serta pengelolaan faktor-faktor abiotik yang berperan dalam menciptakan kondisi yang tidak mendukung berkembangnya penyakit tumbuhan. Upaya pengelolaan penyakit tumbuhan bukan hanya bertujuan untuk mengendalikan patogen, tetapi juga untuk menciptakan agroekosistem yang sehat dan berkelanjutan dalam jangka Panjang.

2.4 Dampak Penyakit Tumbuhan dalam Agroekosistem

Penyakit tumbuhan merupakan salah satu ancaman utama dalam dunia pertanian yang dapat menimbulkan kerugian signifikan bagi petani, agroekosistem, dan keberlanjutan produksi pertanian itu sendiri. Dampak penyakit tumbuhan tidak hanya terbatas pada penurunan hasil tanaman, tetapi juga dapat merusak keseimbangan ekosistem dan mengarah pada penggunaan pestisida yang berlebihan, yang pada akhirnya menciptakan dampak negatif yang lebih luas. Dampak-dampak ini beragam dan dapat memengaruhi berbagai aspek kehidupan, mulai dari aspek ekonomi petani hingga kesejahteraan lingkungan dan kesehatan manusia.

2.4.1 Penurunan Hasil Tanaman

Serangan penyakit pada tanaman dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai bagian tanaman, termasuk akar, batang, daun, dan buah. Kerusakan yang terjadi seringkali langsung berhubungan dengan penurunan kualitas dan kuantitas hasil pertanian. Misalnya, penyakit yang disebabkan oleh jamur seperti *Fusarium* atau *Phytophthora* dapat menyebabkan busuk akar atau pembusukan pada bagian tanaman lainnya, yang menghambat kemampuan tanaman untuk menyerap air dan unsur hara (Khan *et al.*, 2018). Pada tanaman hortikultura, penyakit seperti bercak daun atau busuk buah dapat menurunkan estetika dan kualitas komersial produk, membuatnya tidak layak untuk dipasarkan. Sementara itu, infeksi virus atau bakteri dapat merusak struktur sel tanaman dan mengganggu fungsi metabolik tanaman, mengurangi hasil produksi dan menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap stres. Penurunan hasil ini berpotensi menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi petani, terutama jika serangan

penyakit terjadi dalam skala besar, atau jika penyakit tersebut bersifat kronis dan dapat berulang setiap musim tanam.

2.4.2 Kerusakan Ekosistem

Penyakit tumbuhan yang menyerang tanaman di agroekosistem juga dapat menyebabkan kerusakan pada keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Ketika penyakit menurunkan populasi tanaman tertentu, maka ada dampak langsung terhadap komponen-komponen lain dalam ekosistem tersebut. Tanaman yang terinfeksi atau mati dapat mengurangi ketersediaan makanan dan tempat tinggal bagi organisme lain, seperti serangga, burung, dan mikroorganisme tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi keberagaman hayati di dalam agroekosistem. Penyakit yang menyebar dengan cepat, seperti *Huanglongbing* pada jeruk atau *Wheat Rust* pada gandum, dapat mengurangi keberagaman tanaman dan mengganggu hubungan simbiotik antara tanaman, hewan, dan mikroorganisme. Kerusakan pada tanaman juga dapat memperburuk kualitas tanah, karena penurunan jumlah tanaman dapat mengurangi jumlah bahan organik yang ditambahkan ke tanah, yang berfungsi untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan. Selain itu, ekosistem tanah yang sehat tergantung pada keberadaan mikroorganisme yang bermanfaat, yang dapat terganggu jika penyakit tumbuhan menyebabkan kerusakan besar pada akar tanaman atau mengganggu proses dekomposisi bahan organik.

2.4.3 Penggunaan Pestisida

Untuk mengendalikan penyakit tumbuhan, terutama yang disebabkan oleh patogen yang cepat menyebar seperti jamur, bakteri, atau virus, petani sering kali bergantung pada penggunaan pestisida kimia. Meskipun penggunaan pestisida dapat membantu mengurangi kerugian akibat penyakit dengan

cepat, tetapi dampak jangka panjangnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia dapat sangat merugikan. Penggunaan pestisida yang berlebihan atau tidak tepat dapat mencemari tanah dan sumber daya air, merusak mikroorganisme tanah yang bermanfaat, serta mengurangi keberagaman hayati dalam agroekosistem. Selain itu, pestisida dapat meracuni organisme non-target, seperti serangga polinator (misalnya lebah) yang berperan penting dalam pendebungaan tanaman. Dampak lainnya adalah munculnya resistensi terhadap pestisida pada patogen, yang mengarah pada ketergantungan terhadap pestisida yang lebih kuat atau lebih berbahaya. Dari sisi ekonomi, penggunaan pestisida yang berlebihan dapat meningkatkan biaya produksi pertanian secara signifikan, yang pada akhirnya menurunkan keuntungan petani. Dalam jangka panjang, ketergantungan pada pestisida juga dapat mengurangi keberlanjutan sistem pertanian itu sendiri, karena ketidakseimbangan ekosistem yang disebabkan oleh penggunaan bahan kimia ini dapat menurunkan kesuburan tanah dan mengganggu siklus alamiah yang mendukung pertanian.

Selain itu, penggunaan pestisida yang tidak terkontrol dapat memiliki dampak buruk terhadap kesehatan manusia. Pestisida yang tersisa pada hasil pertanian dapat mencemari pangan yang dikonsumsi oleh konsumen, yang pada gilirannya dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti keracunan akut atau gangguan kesehatan jangka panjang seperti kanker dan gangguan endokrin. Oleh karena itu, meskipun pestisida dapat memberikan solusi sementara untuk mengatasi penyakit tumbuhan, ketergantungan pada pestisida perlu diatasi dengan pendekatan pengelolaan yang lebih berkelanjutan, seperti pengendalian hayati, rotasi tanaman, atau penggunaan varietas tanaman yang tahan terhadap penyakit.

2.5 Pengendalian Penyakit Tumbuhan dalam Agroekosistem

Pengendalian penyakit tumbuhan dalam agroekosistem adalah aspek yang sangat penting untuk memastikan keberlanjutan produksi pertanian dan menjaga keseimbangan ekosistem. Penyakit tumbuhan yang disebabkan oleh berbagai patogen dapat merusak tanaman secara signifikan, sehingga pengelolaan yang tepat sangat dibutuhkan. Beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengendalikan penyakit tumbuhan antara lain pemilihan varietas tahan penyakit, rotasi tanaman, pengelolaan tanah, penggunaan organisme pengendali alami, serta penggunaan pestisida secara bijak. Masing-masing pendekatan ini memiliki keunggulan dan tantangan tersendiri, yang memerlukan integrasi untuk menciptakan sistem pengelolaan penyakit yang lebih berkelanjutan dan efektif.

2.5.1 Pemilihan Varietas Tahan Penyakit

Pemilihan varietas tanaman yang tahan terhadap penyakit merupakan salah satu strategi pertama dan paling efektif dalam pengendalian penyakit tumbuhan. Tanaman yang telah dipilih dan dikembangkan untuk memiliki ketahanan terhadap patogen tertentu dapat mengurangi kerugian yang disebabkan oleh serangan penyakit. Misalnya, varietas padi yang tahan terhadap penyakit *blast* atau *blast rice* yang disebabkan oleh jamur *Pyricularia oryzae*, atau varietas tomat yang tahan terhadap *Verticillium wilt* dapat memperkecil risiko kehilangan hasil akibat infeksi patogen tersebut. Pemilihan varietas ini juga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, yang dapat meningkatkan biaya produksi dan merusak lingkungan. Namun, pengembangan varietas tahan penyakit membutuhkan penelitian yang mendalam mengenai patogen yang ada di lapangan serta pemuliaan tanaman yang sesuai dengan kondisi lokal dan

kebutuhan petani. Selain itu, keberhasilan varietas tahan penyakit juga sangat bergantung pada faktor lingkungan dan manajemen pertanian yang baik.

2.5.2 Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman adalah metode yang sangat efektif untuk memutus siklus hidup patogen yang ada di tanah. Dengan menanam tanaman yang berbeda di lahan yang sama pada musim yang berbeda, petani dapat mengurangi akumulasi patogen yang biasanya lebih spesifik terhadap tanaman tertentu. Misalnya, rotasi antara tanaman padi dan kedelai dapat mengurangi infestasi nematoda parasit akar yang lebih banyak menyerang tanaman padi. Dengan memvariasikan jenis tanaman yang ditanam, patogen yang berspesialisasi pada tanaman tertentu tidak akan memiliki inang yang cukup untuk berkembang biak, sehingga jumlah patogen akan berkurang dari waktu ke waktu. Namun, rotasi tanaman membutuhkan pengetahuan tentang perilaku patogen dan pola hidup tanaman yang tepat. Terkadang, rotasi tanaman juga dapat memengaruhi hasil produksi jika tanaman yang dipilih tidak sesuai dengan kebutuhan pasar atau lahan pertanian tertentu.

2.5.3 Pengelolaan Tanah

Pengelolaan tanah yang baik sangat penting untuk menciptakan kondisi yang tidak mendukung perkembangan patogen. Tanah yang sehat dan subur mendukung pertumbuhan tanaman yang kuat, yang pada gilirannya meningkatkan ketahanan terhadap serangan penyakit. Salah satu aspek penting dalam pengelolaan tanah adalah menjaga keseimbangan pH tanah dan memastikan ketersediaan unsur hara yang cukup. Tanah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat membuat tanaman lebih rentan terhadap serangan patogen. Penggunaan kompos dan bahan organik dapat meningkatkan jumlah

mikroorganisme bermanfaat di tanah, yang dapat membantu mengendalikan patogen dengan cara persaingan atau menghasilkan senyawa antibakteri dan antifungi. Selain itu, pengelolaan irigasi yang baik untuk menghindari genangan air atau kekeringan yang ekstrem juga sangat penting, karena kondisi ini dapat menciptakan lingkungan yang ideal untuk perkembangan jamur atau bakteri patogen.

2.5.4 Penggunaan Organisme Pengendali Alami

Penggunaan organisme pengendali alami adalah pendekatan yang semakin populer dalam pengendalian penyakit tumbuhan, terutama sebagai alternatif ramah lingkungan untuk penggunaan pestisida kimia. Organisme pengendali alami seperti predator hama (misalnya, ladybug yang memakan kutu daun) atau mikroorganisme antagonis (seperti *Trichoderma* atau *Bacillus subtilis*) dapat digunakan untuk mengendalikan populasi patogen dengan cara persaingan atau produksi senyawa antibakteri dan antifungi. Mikroorganisme antagonis dapat membantu membatasi penyebaran patogen dalam tanah atau di permukaan tanaman, mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh infeksi. Pendekatan ini tidak hanya lebih ramah lingkungan, tetapi juga lebih aman bagi manusia dan hewan. Namun, tantangannya adalah efektivitas organisme pengendali alami ini dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menunjukkan hasil yang signifikan dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia. Selain itu, keberhasilan penggunaan organisme pengendali alami memerlukan pengetahuan yang mendalam tentang interaksi ekologi dan cara-cara pengelolaan yang tepat.

2.5.5 Penggunaan Pestisida Secara Bijak

Meskipun penggunaan pestisida masih menjadi salah satu solusi utama dalam pengendalian penyakit tumbuhan, penggunaannya harus dilakukan dengan sangat hati-hati dan bijak. Penggunaan pestisida yang berlebihan dapat menyebabkan resistensi patogen terhadap bahan kimia tersebut, yang membuat patogen menjadi lebih sulit untuk dikendalikan di masa depan. Selain itu, pestisida yang tidak digunakan dengan tepat dapat mencemari tanah, air, dan udara, serta membunuh organisme non-target yang bermanfaat, seperti serangga penyerbuk dan mikroorganisme tanah yang mendukung kesuburan tanah. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemantauan yang teliti terhadap kondisi tanaman dan memilih waktu aplikasi yang tepat untuk memastikan efektivitas pestisida. Alternatif lain yang semakin berkembang adalah penggunaan pestisida nabati atau pestisida biologi yang lebih ramah lingkungan dan memiliki dampak yang lebih kecil terhadap kesehatan dan ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Jibril, S.M. *et al.* (2016) 'Plant and Pathogens: Pathogen Recognition, Invasion and Plant Defense Mechanism', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(6), p. 247257. Available at: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.506.028>.
- Khan, N. *et al.* (2018) 'Antifungal activity of bacillus species against fusarium and analysis of the potential mechanisms used in biocontrol', *Frontiers in Microbiology*, 9(OCT). Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02363>.
- Pagano, M.C. *et al.* (2017) 'Advances in eco-efficient agriculture: The plant-soil mycobiome', *Agriculture (Switzerland)*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/agriculture7020014>.
- Romeh, A.A. (2019) 'Integrated Pest Management for Sustainable Agriculture', in A.M. Negm and M. Abu-hashim (eds) *Sustainability of Agricultural Environment in Egypt: Part II: Soil-Water-Plant Nexus*. Cham: Springer International Publishing, pp. 215–234. Available at: https://doi.org/10.1007/698_2018_267.

BAB 3

KONSEP DAN KLASIFIKASI PENYAKIT

Oleh Jean Nihana Manalu

3.1 Konsep Penyakit Tumbuhan

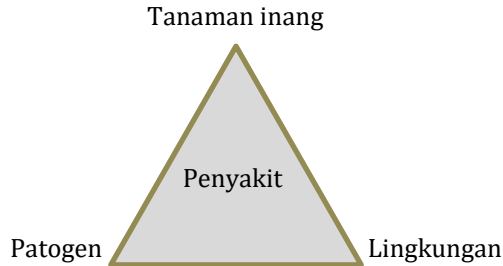
Kebutuhan pangan dunia sangat tergantung pada produksi tanaman. Pemenuhan kebutuhan pangan dunia akan tercapai dan berkelanjutan jika kondisi fisiologis tanaman dalam kondisi normal selama proses pertumbuhan dan perkembangan. Strange dan Scott (2005) menyatakan bahwa lebih dari 800 juta orang mengalami kekurangan makanan dan sebanyak 10% produksi pangan dunia mengalami kehilangan yang disebabkan oleh penyakit tanaman. Penyakit dapat menginfeksi tanaman di lapangan maupun pasca panen. Permasalahan ini mengakibatkan banyak tanaman tidak ditanam secara intensif.

Tanaman sakit akan menunjukkan kondisi visual yang berbeda dengan tanaman sehat. Tanaman sakit akan mengalami gangguan pada aktivitas sel berupa kemampuan sel dalam penyerapan air dan nutrisi sehingga tidak mampu melakukan translokasi ke semua bagian tanaman, proses fotosintesis yang terhambat, metabolisme, serta menghasilkan benih dan lainnya. Gangguan yang terjadi pada tanaman sakit ini mengakibatkan penurunan terhadap fungsi fisiologis dengan potensi genetik yang terbaik. Bagian sel dan jaringan tanaman yang sakit akan menentukan fungsi fisiologis yang akan terganggu terlebih

dahulu (Agrios, 2005). Penyakit tidak hanya terjadi pada tumbuhan yang dibudidayakan, tetapi juga pada tumbuhan liar (Horst, 2013).

Penyakit tanaman dapat didefinisikan sebagai gangguan fisiologis yang diakibatkan oleh interaksi tanaman dengan penyebab penyakit secara terus-menerus sehingga mengakibatkan pertumbuhan yang abnormal yang dapat ditandai dengan munculnya gejala dan tanda penyakit (Shew dan Shew, 2017). Penyebab penyakit tumbuhan disebabkan oleh faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik berasal dari kelompok patogen tumbuhan, yaitu cendawan, bakteri, virus, nematoda, dan tumbuhan tingkat tinggi (Strange dan Scott, 2005). Faktor abiotik atau stress lingkungan terjadi akibat tanaman tidak mampu tumbuh optimal pada suhu ekstrem, kelembaban, pH, cahaya, dan paparan pestisida (Whindam dan Whindam, 2008).

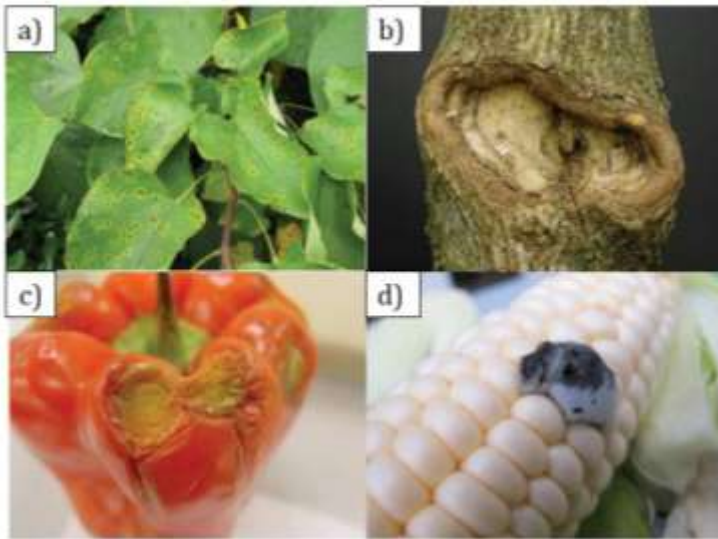
Penyakit tumbuhan merupakan hasil akhir (produk) dari interaksi tanaman (inang) dengan patogen. Lingkungan akan mempengaruhi keberlangsungan interaksi ini sehingga penyakit dapat berkembang. Ketiga komponen (inang, patogen, dan tumbuhan) sangat berpengaruh terhadap timbulnya penyakit pada waktu dan tempat yang tepat. Konsep ini disebut dengan segitiga penyakit (Shew dan Shew, 2017). Waktu juga memegang peranan penting terhadap pembentukan infeksi yang dilakukan oleh patogen. Faktor waktu dapat membantu dalam mengelola kondisi yang mendukung patogen untuk melakukan infeksi pada tanaman (Islam, 2018).



Gambar 3. 1. Interaksi ketiga komponen: inang, patogen dan lingkungan berhubungan terhadap munculnya penyakit (Sumber: Whindam dan Whindam (2008))

3.1.1 Gejala dan Tanda Penyakit

Tanaman yang sakit akan menunjukkan gejala dan tanda penyakit. Gejala penyakit dapat didefinisikan sebagai bentuk ekspresi penyakit yang dapat dilihat secara visual. Gejala penyakit ini dapat dideskripsikan sebagai perubahan abnormal pada tanaman yang dapat kita lihat, seperti bercak, layu, kerdil, nekrotik dengan kematian sel dan jaringan serta hiperplastik dengan pertumbuhan jaringan tanaman yang berlebihan (Gambar 3.1.1). Suatu penyakit dapat dikarakteristik oleh satu atau lebih gejala (Shew dan Shew, 2017; Horst, 2013).



Gambar 3. 2. Gejala penyakit umum a) Bercak daun; b) Kanker batang dengan cincin pada jaringan kalus ; c) Lesi cekung antraknos pada paprika; d) Puru kecil pada gosong jagung
Sumber: Shew dan Shew (2017)

Gejala penyakit biasanya digunakan untuk nama umum suatu penyakit. Misalnya, penyakit kacang tanah yang disebabkan oleh cendawan *Sclerotium rolfsii*, umumnya disebut sebagai busuk batang atau jamur putih. Perubahan warna yang paling umum adalah klorosis yang menyebabkan daun menguning akibat kurangnya klorofil daun. Kehilangan warna pada daun menjadi karakteristik untuk beberapa penyakit, misalnya penyakit yang disebabkan oleh virus. Beberapa pola variasi warna yang disebabkan oleh virus adalah mosaik, belang (*mottle*) dan bercak bercincin. Gejala penyakit dapat mempengaruhi keseluruhan bagian tanaman atau organ atau jaringan lokal. Penyakit layu merupakan penyakit yang dapat mempengaruhi keseluruhan bagian tanaman atau satu sisi bagian tanaman. Gejala penyakit yang menginfeksi tanaman

secara keseluruhan misalnya penyakit kerdil (Shew dan Shew, 2017).

Tanda penyakit adalah struktur patogen (penyebab penyakit) yang dapat terlihat pada tanaman yang sakit. Gejala dan tanda penyakit pada beberapa kasus hadir secara bersama. Tanda penyakit mencakup spora, miselium, sklerotia, nematoda, bakteri yang mengalir kedalam air, dan lain sebagainya (Whindam dan Whindam, 2008). Tanda penyakit paling mudah untuk diamati adalah penyakit tanaman yang disebabkan oleh kelompok patogen cendawan. Penamaan beberapa penyakit penting yang berada di lapangan didasari oleh tanda – tanda yang patogen hasilkan. Sebagai contoh, penyakit karat dinamai berdasarkan spora berwarna karat yang berlimpah pada tanaman inang (Gambar 3.1.2a). Embun tepung dinamai berdasarkan kemunculan tepung hifa dan spora yang dihasilkan oleh cendawan embun tepung di permukaan tanaman inang (Gambar 3.1.2.b) (Shew dan Shew, 2017).



Gambar 3. 3. Tanda patogen tanaman a) Spora patogen karat jingga pada blackberry; b) Hifa dan konidia embun tepung pada timun

Sumber: Shew dan Shew (2017)

3.1.2 Ancaman Penyakit Tumbuhan bagi Kehidupan

Peranan penyakit tanaman sangat penting bagi kehidupan, terutama bagi manusia. Kebutuhan manusia sangat erat dengan produk – produk tumbuhan untuk mencukupi kebutuhan makanan, pakaian, furnitur, dan lingkungan. Jutaan manusia sangat bergantung pada hasil tanaman untuk melangsungkan kehidupan, salah satunya dari bencana kelaparan bahkan kematian. Bencana kematian dan kelaparan pertama yang dialami oleh manusia terjadi di Irlandia pada tahun 1845. Patogen *Phytophthora infestans* menginfeksi tanaman kentang di Eropa yang menyebabkan penyakit busuk daun kentang. Dampak dari wabah penyakit ini menyebabkan lebih dari satu juta orang Irlandia mati kelaparan karena kentang adalah makanan pokok dan jutaan orang lainnya bermigrasi ke Amerika Serikat (Whindam dan Whindam, 2008; Agrios, 2005).

Hawar kastanye (*Chestnut blight*) merupakan penyakit endemik yang disebabkan oleh patogen *Cryphonectria parasitica* yang menginfeksi pohon kastanye di Amerika dan Eropa. Jutaan pohon kastanye dihancurkan sehingga menyebabkan kerugian miliaran dolar. Selain itu, penyakit ini juga mempengaruhi berkurangnya populasi satwa liar karena kurangnya nutrisi yang dihasilkan dari buah kastanye (Rigling dan Prospero, 2018; Whindam dan Whindam, 2008). Penyakit elm Belanda juga salah satu penyakit yang menyebabkan kematian 18 juta pohon elm di Amerika Serikat mati. Penyakit ini disebabkan oleh patogen *Ophiostoma ulmi*. Sampai saat ini penyakit elm Belanda masih menyebabkan kematian pada pohon elm (Potter *et al.*, 2011).

Penyakit dari kelompok virus yang juga sangat berdampak adalah penyakit mosaik pada singkong yang disebabkan oleh dua strain virus yaitu, *African cassava mosaic virus* (ACMV) dan *East African cassava mosaic virus* (EACMV) mengakibatkan kehilangan hasil sehingga terjadi ketidakstabilan ketahanan pangan di Afrika

Timur. Penyakit dari golongan bakteri *Ralstonia (Pseudomonas) solanacearum*, patogen yang tersebar luas di dunia dan menyebabkan penyakit pada lebih dari 200 tanaman inang. Patogen dari golongan nematoda, yaitu nematoda sista kedelai *Heterodera glycines* memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kehilangan hasil panen, seperti kehilangan hasil yang terjadi di Amerika Serikat bagian tenggara sekitar 88,4 juta US dollar pada tahun 1990 (Strange dan Scott, 2005).

Penyebaran penyakit tanaman dapat dikendalikan apabila kondisi lingkungan diperhatikan. Serangan penyakit akan minim jika kondisi lingkungan tidak menguntungkan dan infeksi tidak ada saat inokulum diproduksi. Oleh sebab itu, diperlukan pengetahuan tentang cuaca melalui peranan patologi tanaman sehingga petani dapat mengambil langkah – langkah pencegahan penyakit. Selain cuaca, beberapa praktik budidaya tanaman juga perlu diperhatikan seperti rotasi tanaman, pengolahan tanah, kesuburan, irigasi, waktu tanam, pemangkasan, dan panen yang dapat mempengaruhi perkembangan penyakit. Apabila terjadi perubahan praktik budidaya, akan menyebabkan perubahan yang tidak terduga dalam keseimbangan antara inang, patogen, dan lingkungan. Hal ini dapat memicu wabah penyakit yang serius yang sebelumnya kurang penting (Shew dan Shew, 2017).

3.2 Klasifikasi Penyakit Tumbuhan

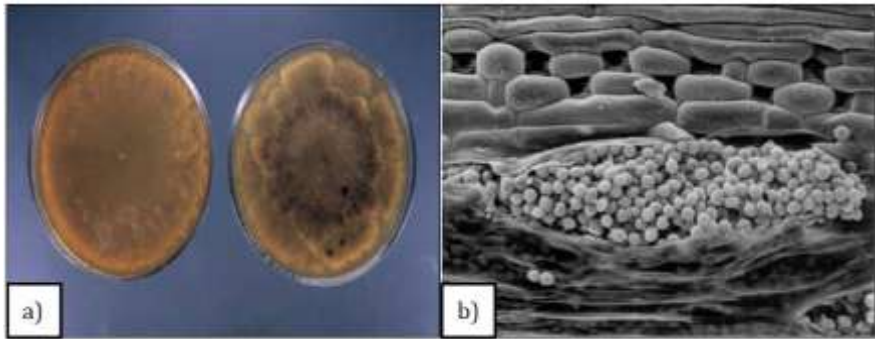
3.2.1 Penyakit Biotik

Penyakit biotik terjadi akibat infeksi dari mikroorganisme yang disebut sebagai patogen tumbuhan sehingga menyebabkan penyakit yang infeksius. Patogen tumbuhan terdiri dari kelompok cendawan, bakteri, virus, nematoda, dan tumbuhan tingkat tinggi. Infeksi patogen menyebabkan terganggunya

metabolisme sel tumbuhan melalui toksin yang dihasilkan patogen dan menyerap nutrisi dari sel inang. Beberapa patogen juga mampu tumbuh dan berkembang pada jaringan pengangkut, yaitu xilem atau floem sehingga transportasi air dan hara terganggu (Agrios, 2005).

3.2.1.1 Cendawan

Patogen cendawan adalah kelompok patogen yang paling melimpah. Patogen cendawan menyebabkan ribuan penyakit tanaman yang berbeda dengan berbagai jenis gejala, seperti hawar, busuk, bercak, puru (*gall*) dan layu. Struktur cendawan berbentuk seperti benang yang disebut hifa. Hifa cendawan berfungsi untuk menempel pada substrat melalui pertumbuhan vegetatif. Hifa akan mengeluarkan enzim yang memecah senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana ketika sumber makanan tersedia, sehingga dapat diserap dan dimanfaatkan untuk pertumbuhan, reproduksi, dan kelangsungan hidup (Gambar 3.2.1.1.1a). Pemenuhan nutrisi yang berlimpah pada substrat menghasilkan massa hifa yang disebut miselium. Cendawan berkembang biak dengan menghasilkan spora dari reproduksi seksual (Gambar 3.2.1.1.1b). Infeksi cendawan pada inang melalui penyebaran spora yang dibantu dengan angin, hujan atau vektor (Shew dan Shew, 2017).

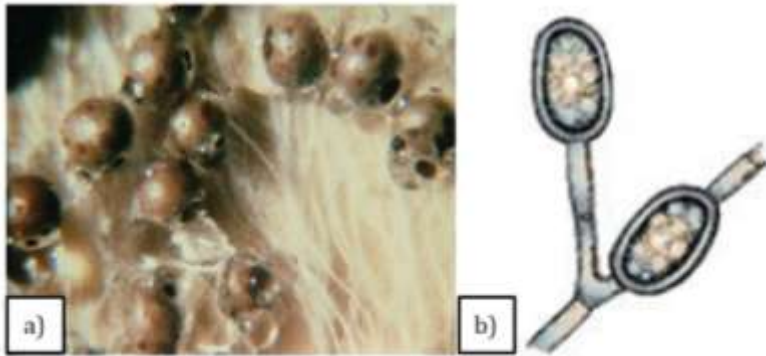


Gambar 3. 4. a) Struktur tubuh vegetatif (miselium) kultur *Botryosphaeria*; b) Spora cendawan yang dihasilkan oleh penyakit gosong bengkok
Sumber: Agrios (2005)

Keberlangsungan hidup cendawan juga dilakukan dengan reproduksi aseksual. Struktur penting pada reproduksi aseksual patogen cendawan, yaitu klamidiospor dan sklerotia (Gambar 3.4). Klamidiospor adalah spora istirahat yang memiliki dinding tebal. Sklerotia adalah hifa yang sangat rapat yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak mendukung (Windham, 2008). Kelompok cendawan patogen yang menyebabkan penyakit baik di lapangan dan pasca panen, yaitu chytridiomycetes, zygomycetes, askomycetes, basidiomycetes, dan deuteromycetes (Heitman, 2011).

Patogen cendawan menyebabkan beberapa penyakit yang merugikan dengan berbagai jenis gejala. Jenis gejala penyakit yang disebabkan antara lain, yaitu nekrosis, bercak daun, hawar, blas yang menyebabkan penyakit blas padi disebabkan oleh *Pyricularia oryzae*, rebah pada benih yang kebanyakan disebabkan oleh *Phytophthora* sp. dan *Rhizoctonia* sp., busuk akar yang disebabkan oleh *Fusarium* sp. dan *Rhizoctonia* sp. Gejala penyakit lain seperti daun keriting disebabkan oleh *Taphrina deformans*, puru pada jagung sehingga menyebabkan

penyakit gosong bengkok oleh *Ustilago maydis* dan akar gada yang disebabkan oleh *Plasmodiophora brassicae* pada kubis (Mduma *et al.*, 2015).



Gambar 3. 5. Struktur reproduksi aseksual cendawan a) Sklerotia;
b) Klamidiosfor

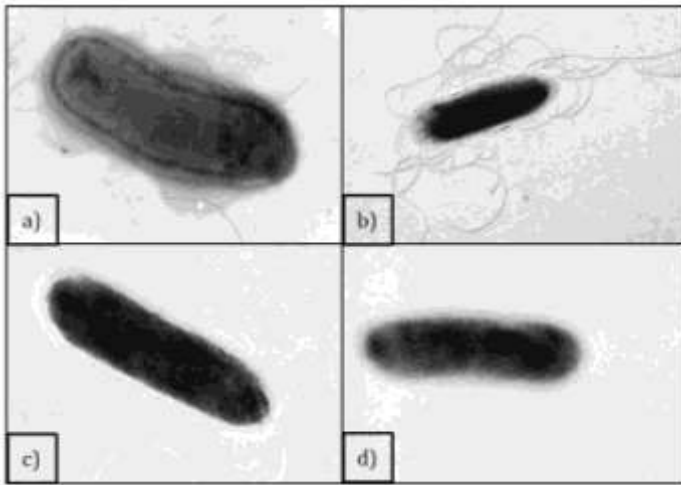
Sumber: Ownley dan Benson (2017); Agrios (2005)

3.2.1.2 Bakteri

Beberapa penyakit tumbuhan yang paling penting disebabkan oleh bakteri. Bakteri patogen merupakan organisme prokariotik yang memiliki lapisan lendir pada dinding sel. Bakteri patogenik berasal dari kelompok gram negatif dan paling banyak berbentuk batang (Gambar 3.5). Infeksi bakteri patogen dilakukan melalui luka dan dapat masuk (penetrasi) melalui lubang alami tumbuhan seperti stomata, lentisel, dan hidatoda. Penyebaran penyakit oleh bakteri juga dapat melalui udara, air dan vektor seperti serangga dan peralatan budidaya yang terkontaminasi (Windham, 2008).

Kelompok bakteri patogen diantaranya adalah *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Xanthomonas*, *Streptomyces*, dan *Xylella* (Gambar 3.5). Beberapa jenis gejala penyakit yang disebabkan oleh bakteri patogen, yaitu bercak dan hawar daun, busuk pada buah dan

akar, layu, kudis dan kanker. Setiap genus bakteri dapat menyebabkan berbagai jenis penyakit. Sebagai contoh, spesies *Agrobacterium* menyebabkan pertumbuhan berlebih atau poliferasi organ, namun pertumbuhan berlebih juga dapat disebabkan oleh spesies tertentu dari *Rhodococcus* dan *Pseudomonas* (Agrios, 2005).



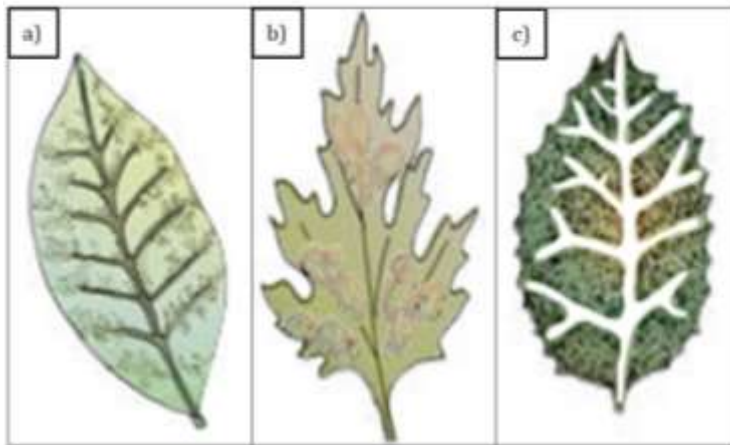
Gambar 3. 6. Bentuk genus bakteri patogen a) *Agrobacterium*; b) *Erwinia*; c) *Pseudomonas*; d) *Xanthomonas*
Sumber: Agrios (2005)

3.2.1.3 Virus

Virus adalah entitas non-seluler yang tidak menyerap langsung dan memetabolisme nutrisi. Oleh sebab itu, virus bersifat parasit karena dapat bergantung pada sel inang yang hidup agar dapat melakukan replikasi untuk kelangsungan hidup. Kelompok virus menyebabkan beberapa penyakit tumbuhan yang paling menghancurkan. Beberapa gejala khas yang dihasilkan oleh virus antara lain perubahan warna seperti

mosaik, belang (*mottle*), bercak bercincin dan *vein clearing* (Shew dan Shew, 2017).

Penularan virus ke tanaman dapat melalui vektor seperti serangga, tungau, cendawan dan nematoda. Selain itu dapat disebarkan secara mekanis seperti penanganan tembakau yang menyebarkan mosaik, pencangkakan, stek, biji, tanah dan air, serta tanaman parasit yang merambat yang memiliki sulur sebagai penghubung satu tanaman ke tanaman lainnya. Virus diklasifikasikan dalam sistem taksonomi yaitu *family – genus – species*. Contohnya *Tomato spotted wilt tospovirus*. Pengendalian patogen virus dapat dilakukan dengan penggunaan benih, stek dan tanaman sehat (bersertifikasi), pengendalian vektor serangga, pemusnahan gulma, dan penggunaan varietas tahan (Horst, 2013).

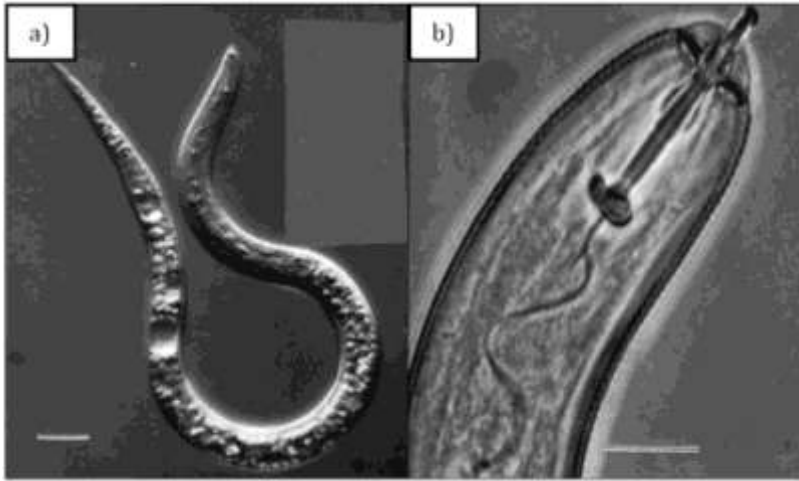


Gambar 3. 7. Tipe gejala penyakit oleh virus a) Mosaik tembakau; b) Bercak cincin krisan; c) *Vein clearing*
Sumber: Agrios (2005)

3.2.1.4 Nematoda

Nematoda patogen tumbuhan adalah cacing kecil seperti hewan yang memiliki kutikula dan bagian mulut yang menusuk disebut stylet. Bentuk tubuh nematoda ada yang memanjang, berbentuk seperti ginjal, atau bulat (Gambar 3.2.1). Nematoda bereproduksi secara seksual atau partenogenesis karena banyak spesies yang tidak memiliki spesies jantan. Persebaran nematoda pada tanaman dapat melalui air, tanah, serangga, bahan tanaman, dan alat budidaya yang terkontaminasi. Kebanyakan nematoda patogen bersifat parasit pada akar (Windham, 2008).

Nematoda memiliki 17 ordo, ordo *Tylenchida* dan *Dorylaimida* merupakan ordo nematoda yang bersifat parasit pada tumbuhan. Infeksi nematoda pada tumbuhan dapat menyebabkan kehilangan hasil yang serius. *Ditylenchus dipsaci* merupakan spesies nematoda yang menyerang sebanyak 450 spesies tanaman yang berbeda. Spesies *Meloidogyne* seperti *M. hapla* juga menyerang tanaman penting seperti kacang tanah, kentang, wortel, stroberi, dan bawang. Kehilangan hasil akibat serangan nematoda pada tumbuhan seringkali tidak terlihat di lapangan secara langsung, namun hasil panen sangat ditekan (Strange and Scott, 2005).



Gambar 3. 8. Morfologi nematoda a) Bentuk tubuh nematoda parasit; b) Bagian kepala nematoda parasit memiliki stylet
Sumber: Agrios (2005)

3.2.1.5 Tumbuhan Tingkat Tinggi

Kelompok tumbuhan tinggi sebagai patogen adalah tumbuhan yang bersifat sebagai parasit. Tumbuhan parasit menempel pada inang melalui haustorium. Genus tumbuhan parasit yang berperan sebagai patogen dan menyebabkan kerusakan yang paling tinggi adalah *Arceuthobium*, *Cuscuta*, *Orobanche* dan *Striga* (Nickrent dan Musselman, 2017). Tumbuhan parasit menginfeksi akar tanaman inang untuk memperoleh nutrisi karena tidak memiliki klorofil (Strange dan Scott, 2005).

Dodder adalah tumbuhan parasit dari genus *Cuscuta* yang memiliki ciri khas seperti jerami kuning-jingga yang dapat ditemukan di sepanjang pinggir jalan. Batang dodder tidak memiliki daun tetapi terdapat bunga keputihan yang melimpah di awal musim panas. Rentangan tanaman inang yang diinfeksi

oleh dodder sangat luas, seperti kentang, alfalfa, tanaman herba semusim, semak muda atau bibit pohon di pembibitan. Infeksi dodder dapat membunuh tanaman muda. Dodder juga dapat menjadi vektor bagi virus untuk menyebabkan penyakit (Whindam dan Whindam, 2008).



Gambar 3. 9. Ladang bunga matahari di Turki
yang diparasit oleh dodder
(*Cuscuta campestris*)

Sumber: (Nickrent dan Musselman, 2017)

3.2.2 Penyakit Abiotik

Penyakit abiotik atau non infeksius disebabkan oleh kondisi lingkungan (kebutuhan unsur hara dan air, pH, kelembaban, salinitas, dan suhu) dan praktik budidaya yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman. Kerusakan yang disebabkan oleh penyakit abiotik umumnya sulit untuk didiagnosis gejala tidak muncul sampai tanaman sembuh. Penyakit abiotik juga dapat menyebabkan tanaman terinfeksi oleh patogen, karena mendukung patogenesitas patogen untuk menyebabkan penyakit (Whindam dan Whindam, 2008).

Penyakit abiotik dapat mempengaruhi setiap tahapan pertumbuhan tanaman (dimulai dari benih, bibit, tanaman dewasa atau buah). Gangguan fisiologis yang dialami tanaman dapat menyebabkan kerusakan baik di lapangan maupun pasca panen (penyimpanan). Diagnosis penyakit abiotik terkadang mudah dikarenakan gejala khas yang ditimbulkan. Diagnosis juga dapat dilakukan dengan memeriksa dan menganalisis beberapa faktor seperti cuaca pada waktu sebelum dan selama munculnya penyakit. Gejala penyakit abiotik juga seringkali sangat mirip dengan penyakit yang disebabkan oleh virus, bakteri, dan patogen yang menyerang akar (Agrios, 2005).



Gambar 3. 10. a) Gejala penyakit akibat ketersediaan air yang rendah; b) Gejala penyakit akibat kelebihan air
Sumber: Agrios (2005)

Contoh kejadian penyakit abiotik dapat dilihat dari kebutuhan air. Kebutuhan air pada tumbuhan dapat mempengaruhi timbulnya penyakit abiotik. Kandungan air yang tinggi sama merusaknya dengan kandungan air yang rendah karena dapat menyebabkan kematian akar. Gejala yang akan muncul adalah terjadinya nekrosis (kecoklatan) pada bagian tepi daun. Hal ini dikarenakan tanaman tidak memiliki oksigen yang cukup sehingga menggugurkan daun sebagai ekspresi fisiologis. (Mduma *et al.*, 2015) .

DAFTAR PUSTAKA

- Bonnie H. Ownley, R.N.T. 2017. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.
- George N. Agrios. 2005. *Plant Pathology*. San Diego: Elsivier Academic Press.
- Heitman, J. 2011. Microbial pathogens in the fungal kingdom. *Fungal Biology Reviews*. 25(1): 48–60.
- Horst, R.K. 2013. *Westcott 's Plant Disease Handbook*. New York: Springer Dordrecht.
- Islam, W. 2018. Plant Disease Epidemiology: Disease Triangle and Forecasting Mechanisms In Highlights. *Link Researchers*. 5(1): 7-11.
- Mduma, H.S. *et al.* 2015. Licensed under creative commons attribution cc by major signs and symptoms caused by biotic and abiotic agents on plants in the tropical Africa. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 6(3): 750–759.
- Nickrent, D.L. dan Musselman, L.J. 2017. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.
- Ownley, B.H. dan Benson, D.M. 2017. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.
- Potter, C., Harwood, T., Knight, J. & Tomlinson, I. 2011. Learning from history, predicting the future: The UK Dutch elm disease outbreak in relation to contemporary tree disease

threats. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 366: 1966 - 1974.

Rigling, D. dan Prospero, S. 2018. *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: Invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology*. 19(1): 7–20.

Windham, M.T. dan Windham, A.S. 2008. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.

Windham, M.T. 2008. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.

Strange, R.N. and Scott, P.R. 2005. PLANT DISEASE : A Threat to Global Food Security. *Annu. Rev. Phytopholi*. 43: 83 116.

Shew H.D. dan Shew B.B. 2017. *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises*. Boca Raton: CRC Press.

BAB 4

SIMPTOMATOLOGI PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Titik Nur Aeny

4.1 Pendahuluan

Simptomatologi adalah bidang ilmu yang fokus pada identifikasi dan pemahaman tentang gejala-gejala penyakit. Ketika diterapkan pada dunia tumbuhan, ilmu ini membantu kita mengenali gejala-gejala yang ditunjukkan tanaman sakit. Gejala (*symptom*) penyakit tanaman merupakan semua perubahan yang tampak pada tampilan tanaman akibat terjadinya infeksi oleh patogen (Agrios, 2005). Menurut Isleib (2012) gejala penyakit tanaman merupakan efek penyakit yang tampak pada tanaman. Pemahaman tentang gejala penyakit secara umum sangat penting karena diperlukan untuk mendiagnosis atau menduga penyebab penyakit dan cara pengendaliannya. Pada awalnya, petani hanya mengandalkan pengalaman dan observasi empiris untuk mengenali penyakit tanaman. Namun, dengan ditemukannya mikroskop pada abad ke-19, para ilmuwan mulai dapat mengamati mikroorganisme penyebab penyakit secara lebih detail. Ilmu penyakit tumbuhan saat ini telah mengalami perkembangan yang signifikan sehingga pengetahuan tentang gejala penyakit juga semakin berkembang. Perkembangan teknologi semakin mempercepat kemajuan dalam studi tentang

gejala penyakit tanaman, dari metode konvensional hingga penggunaan teknologi informasi dan bioteknologi.

Secara singkat sejarah perkembangan studi tentang gejala penyakit tumbuhan dapat dikelompokkan menjadi dua tahap yaitu zaman kuno dan zaman modern. Pada zaman kuno, manusia telah mengamati penyakit pada tanaman budidaya mereka karena menyadari bahwa tanaman dapat sakit dan mati, sehingga mereka mencoba berbagai cara untuk mengatasi masalah ini. Masyarakat di zaman kuno juga memanfaatkan praktik empiris berupa pengalaman dan observasi yang dijadikan sebagai dasar dalam mengidentifikasi penyakit tanaman. Pada saat itu telah dikenal beberapa gejala umum seperti layu, busuk, dan bercak pada daun

Pada zaman modern, yaitu pada abad ke-19, ilmu penyakit tumbuhan mulai berkembang sebagai disiplin ilmu yang berdiri sendiri. Dengan munculnya Ilmu Penyakit Tumbuhan, para ilmuwan mulai melakukan penelitian secara sistematis tentang penyebab penyakit tanaman dan gejala yang ditimbulkannya. Penemuan mikroskop memungkinkan para ilmuwan untuk mengamati mikroorganisme penyebab penyakit, terutama dari kelompok jamur dan bakteri, yang sebelumnya tidak terlihat dengan mata telanjang. Pada saat yang bersamaan sistem klasifikasi penyakit tanaman mulai dikembangkan, salah satunya adalah klasifikasi yang berdasarkan gejala penyakit. Seiring berjalannya waktu, teknik diagnostik terus berkembang, dari metode konvensional seperti isolasi patogen hingga metode molekuler yang lebih canggih. Disamping penggunaan teknik bioteknologi molekuler, penggunaan teknologi informasi seperti basis data dan sistem pakar juga memungkinkan identifikasi penyakit tanaman berdasarkan gejala bahkan memungkinkan deteksi dini patogen dan pengembangan varietas tanaman tahan penyakit.

Singkatnya, memahami gejala penyakit tumbuhan adalah langkah awal yang krusial dalam upaya melindungi tanaman dari serangan penyebab penyakit. Kemampuan ini tidak hanya penting bagi para ahli penyakit tanaman, tetapi juga bagi petani dan petugas perlindungan tanaman di lapangan. Gejala yang khas dapat membantu mendiagnosis dan mengidentifikasi patogen penyebab penyakit. Misalnya, bercak-bercak cokelat pada daun dengan lingkaran konsentris khas mengindikasikan serangan jamur tertentu. Gejala juga membantu membedakan penyakit dengan gangguan patogen ataupun gangguan fisiologis atau kerusakan akibat faktor abiotik seperti kekurangan nutrisi atau kerusakan mekanis (Cooper, 2007; Hosack and Miller, 2017). Namun demikian, seringkali gejala yang ditimbulkan oleh kedua faktor tersebut sulit dibedakan (Stephens dkk., 2001). Diagnosis yang tepat juga akan membantu dalam memilih teknik pengendalian yang tepat sehingga tidak merusak lingkungan dan organisme menguntungkan lainnya. Dengan demikian, pengetahuan yang memadai tentang gejala penyakit dapat membantu petani dalam mengambil tindakan yang tepat untuk menjaga kesehatan tanaman dan menjamin keberlangsungan produksi pertanian.

4.2 Konsep Dasar Simptomatologi

Simptomatologi merupakan ilmu yang mempelajari gejala-gejala penyakit pada tanaman. Gejala ini merupakan manifestasi fisik dari gangguan fisiologis yang disebabkan oleh serangan patogen (jamur, bakteri, virus, nematoda, atau parasit lainnya), faktor abiotik (kekurangan nutrisi, kondisi lingkungan ekstrem), atau kombinasi keduanya. Gejala dapat berupa perubahan warna, bentuk, ukuran, atau fungsi organ tanaman. Pemahaman yang mendalam tentang gejala sangat penting dalam

melakukan diagnosis yang akurat dan tepat waktu, sehingga langkah-langkah pengendalian yang efektif dapat segera diterapkan.

Gejala penyakit tanaman dapat bervariasi tergantung pada jenis patogen, bagian tanaman yang diserang, dan kondisi lingkungan. Untuk mempermudah pemahaman tentang gejala, disini dibedakan antara gejala umum dan gejala spesifik. Gejala umum yang sering dijumpai antara lain klorosis (pucat daun), nekrosis (jaringan mati), layu (kehilangan turgor), dan pertumbuhan abnormal (kerdil, roset). Selain itu, gejala spesifik seperti mosaik (bercak-bercak kuning dan hijau pada daun), kerdil (pertumbuhan tanaman terhambat), hawar (pembusukan jaringan tanaman secara cepat), dan busuk (pembusukan organ tanaman) juga sering ditemukan. Penting untuk memahami jenis-jenis gejala ini agar dapat melakukan diagnosis yang tepat.

4.3 Penggolongan Gejala Penyakit Tumbuhan

Gejala umum penyakit pada tumbuhan dapat dikelompokkan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain yaitu berdasarkan luas area yang terpengaruh (lokal atau sistemik), berdasarkan penyebabnya (primer atau sekunder), berdasarkan skala pengamatan (mikroskopis atau makroskopis), berdasarkan jenis patogen (virus, bakteri, jamur), dan berdasarkan jenis gejalanya.

4.3.1 Berdasarkan Luas Area yang Terpengaruh

- a. **Lokal:** Gejala ini terbatas pada area tertentu pada tumbuhan, contohnya bercak pada daun, pembengkakan pada batang (puru), atau kerusakan jaringan (kanker).
- b. **Sistemik:** Gejala ini menyebar ke seluruh bagian tumbuhan, melibatkan reaksi sebagian besar organ atau

seluruh bagian tanaman, seperti layu, menguning, dan kerdil.

4.3.2 Berdasarkan Penyebabnya

- a. **Gejala Primer:** Gejala ini muncul sebagai akibat langsung dari aktivitas patogen pada jaringan yang terinfeksi. Contohnya adalah pembengkakan akar pada penyakit akar gada kubis atau puru yang disebabkan oleh nematoda.
- b. **Gejala Sekunder:** Gejala ini tidak langsung disebabkan oleh patogen, tetapi merupakan efek dari gangguan fisiologis yang ditimbulkan oleh penyakit pada bagian lain tumbuhan. Contohnya, daun kubis yang layu dan terkulai saat cuaca panas akibat serangan patogen pada akar.

4.3.3 Berdasarkan Skala Pengamatan

- a. **Mikroskopis:** Gejala ini hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop, berupa perubahan pada struktur atau susunan sel.
- b. **Makroskopis:** Gejala ini dapat dilihat dengan mata telanjang, tanpa bantuan alat.

4.3.5 Berdasarkan Jenis Patogen

Sekitar 85% dari penyakit tanaman disebabkan oleh jamur atau organisme mirip jamur. Akan tetapi, pada umumnya penyakit yang lebih serius pada tanaman pangan dan pakan disebabkan oleh virus dan bakteri. Ketiga kelompok patogen ini seringkali menimbulkan gejala yang mirip satu sama lain atau saling overlap sehingga diperlukan pengamatan yang lebih mendalam. Penampakan tanaman yang tidak normal dapat digunakan untuk menduga jenis patogen yang menjadi penyebabnya (*Jim Isleib, 2012*).

Virus. Gejala penyakit tumbuhan yang disebabkan oleh virus dan viroid dapat dikelompokkan menjadi empat golongan:

- 1) perubahan warna—menguning, bercak hijau dan kuning, serta pemucatan pembuluh daun;
- 2) malformasi—distorsi daun dan bunga, roset, proliferasi dan sapu penyihir (perkembangbiakan tunas yang abnormal), dan sedikit atau tidak ada perkembangan daun di antara pembuluh daun;
- 3) nekrosis—bercak daun, bercak cincin, garis-garis, layu atau terkulai, dan kematian internal, terutama pada jaringan floem (pengangkut makanan); dan
- 4) terhambatnya pertumbuhan atau kekerdilan daun, batang, atau seluruh tanaman.

Jarang sekali virus dapat membunuh inang dalam waktu singkat, yang lebih sering adalah terjadinya penurunan hasil dan kualitas produk. Beberapa tanaman mungkin membawa satu atau lebih virus tetapi tidak menunjukkan gejala; sehingga dikenal sebagai pembawa laten dan menjadi sumber infeksi bagi tanaman lain. Tanaman yang terkena virus seringkali menjadi lebih peka terhadap penyakit lain seperti busuk akar dan busuk batang.

Bakteri. Gejala penyakit karena bakteri dibagi menjadi empat jenis berdasarkan kerusakannya :

- 1) layu pembuluh - terjadi saat bakteri menyerang sistem pembuluh tanaman atau menyumbat sistem pembuluh, menghambat aliran air dan nutrisi, sehingga membuat tanaman layu. Contohnya adalah layu pada tomat dan mentimun.

- 2) nekrosis - terjadi saat bakteri mengeluarkan racun yang merusak jaringan tanaman, menyebabkan bercak daun atau kanker batang.
- 3) busuk lunak - terjadi saat bakteri menghasilkan enzim yang membuat jaringan tanaman menjadi lunak dan berair, sering terjadi pada sayuran seperti kentang dan wortel.
- 4) tumor - terjadi saat bakteri merangsang pertumbuhan sel yang tidak normal, sehingga terbentuk benjolan.

Jamur. Secara umum, infeksi jamur dapat menyebabkan gejala yang mirip dengan gejala karena bakteri, yaitu nekrosis lokal (bercak) atau nekrosis luas (hawar). Gejala yang terkait dengan nekrosis meliputi bercak daun, hawar, kudis, busuk, rebah semai, antraknosa, mati pucuk, dan kanker. Sebagian besar jamur dapat hidup baik secara saprofitik maupun sebagai endofit yaitu hidup di dalam tanaman hidup ([van der Does and Rep, 2017](#)). Di kedua lingkungan tersebut, polimer organik kompleks digunakan sebagai sumber nutrisi. Infeksi jamur juga dapat menghambat pertumbuhan normal (mengakibatkan timbulnya gejala hipotrofi atau hipoplasia) atau memicu pertumbuhan abnormal yang berlebihan (gejala berupa hipertrofi atau hiperplasia) pada sebagian atau seluruh bagian tanaman. Gejala yang terkait dengan hipoplasia antara lain berupa kerdil, klorosis, dan etiolasi, sedangkan gejala hiperplasia meliputi akar gada, puru, kutil, dan keriting.

4.3.6 Berdasarkan Jenis Perubahan pada Jaringan

Gejala berdasarkan perubahan pada jaringan tanaman dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama yaitu: hipoplastik atau hipotrofik, hiperplastik atau hipertrofik, dan nekrotik (Anonymous, 2020; Beckerman, 2007)). Kategori gejala ini menunjukkan adanya bagian-bagian tanaman yang abnormal yang dapat dilihat langsung tanpa kaca pembesar.

4.3.6.1 Gejala Hiperplasia

Kondisi di mana bagian tumbuhan bertambah besar ukurannya karena pembesaran sel abnormal disebut hipertrofi; sedangkan kondisi di mana bagian tumbuhan tumbuh berlebihan karena peningkatan pembelahan sel disebut hiperplasia (Agrios, 2005; Semangun, 2001). Hipertrofi biasanya ditunjukkan pada tumbuhan yang sakit dalam bentuk intumesensi (pertumbuhan kecil yang membengkak). Gejala hiperplasia yang paling umum adalah sebagai berikut:

- 1) **Puru/Tumor:** Puru/tumor terlihat pada daun, batang, dan akar dalam bentuk pertumbuhan kecil. Bentuknya tidak beraturan dan warnanya bervariasi. Contohnya, puru yang dihasilkan oleh nematoda puru akar pada akar murbei biasanya berwarna putih hingga coklat, sedangkan tumor bakteri yang berkembang pada akar/batang/daun pada tanaman lain bentuknya tidak beraturan dan berwarna coklat muda hingga coklat tua.
- 2) **Faskiasi:** Beberapa penyakit menyebabkan pertumbuhan bagian tumbuhan yang kohesif (saling menempel), yang lebih kuat dan lebih tebal dari yang normal dan dikenal sebagai faskiasi. Gejala ini dihasilkan oleh agen non-hayati. Struktur yang terkena biasanya menjadi pipih dan berdaging. Sebagian besar, batang, tunas, dan daun terlibat dalam jenis gejala ini. Contoh: Faskiasi batang dan tunas pada murbei.
- 3) **Keriting Daun:** Terkulainya dan menggulungnya daun ke dalam bersama dengan anak daun dan tulang daun tengah dikarakteristikan sebagai keriting daun. Akibatnya, daun menjadi kerdil dan renyah. Contoh: Penyakit keriting daun pada kentang.

- 4) **Sapu Penyihir (*witches broom*):** Gejala di mana cabang atau ranting menjadi berbentuk seperti sapu tongkat dikenal sebagai sapu penyihir. Contoh: Penyakit kerdil murbei, penyakit pada kacang tanah

4.3.6.2 Gejala Nekrosis

Gejala nekrotik merupakan akibat adanya area mati dan berubah warna pada bagian mana pun dari tumbuhan karena kematian sel dan jaringan akibat infeksi patogen atau faktor abiotik.. Gejala nekrotik yang paling umum adalah sebagai berikut:

- 1) **Bercak dan Lubang Tembak:** Bercak muncul dalam berbagai ukuran dan bentuk di bagian tumbuhan yang terkena pada tahap awal. Kemudian, mereka tumbuh dalam ukuran dan menyatu. Umumnya, bercak dapat dilihat pada daun, batang, dan buah. Dalam beberapa kasus, bagian tengah jaringan yang terinfeksi dari bercak rontok dan menimbulkan lubang yang disebut 'lubang tembak'. Jenis gejala ini disebabkan oleh *Cercospora moricola*. Ketika area nekrotik menjadi bernoda tar khas berbentuk bercak, disebut bercak tar. Contoh: Bercak daun tar murbei yang disebabkan oleh *Myrothecium roridum*.
- 2) **Karat:** Munculnya pustula berukuran kepala peniti berwarna karat (coklat, merah, dan kuning) pada daun dan batang tanaman yang terkena dikenal sebagai gejala karat. Massa pembuahan erupsi seperti jerawat disebut pustula. Pustula mungkin meletus, kecil, atau menyebar tidak beraturan pada bagian tumbuhan. Pustula ini dikelilingi oleh lingkaran klorotik pada tahap awal dan kemudian seluruh daun menjadi kuning. Contoh: disebabkan oleh *Cerotelium fici*.

- 3) **Embun Tepung dan Embun Bulu:** Dalam kasus embun tepung, gejalanya muncul di permukaan ventral daun sebagai massa tubuh jamur dalam bentuk bubuk. Gejala ini disebut sebagai embun tepung dan embun bulu. Gejala embun tepung diekspresikan oleh adanya massa bubuk putih di permukaan ventral daun dan sebagian besar disebabkan oleh jamur ascomycetous. Embun bulu ditandai dengan munculnya bercak bubuk putih hingga coklat kehitaman di permukaan ventral daun, sedangkan sisi dorsal daun menunjukkan bercak klorotik. Jamur tingkat tinggi menyebabkan gejala embun bulu. Contoh: Embun tepung murbei dan embun bulu bajra.
- 4) **Busuk:** Ketika jaringan hancur, membusuk, dan terkelupas dengan mudah dari bagian mana pun dari tumbuhan karena aksi patogen, gejala tersebut disebut busuk. Berdasarkan gejala yang diekspresikan pada jaringan yang terinfeksi, busuk dibedakan menjadi dua yaitu busuk lunak dan busuk kering. Busuk lunak menyebabkan keluarnya cairan pada jaringan/bagian tumbuhan yang terinfeksi, sedangkan pada kasus busuk kering, tidak ada keluarnya cairan. Lebih lanjut, tergantung pada organ tumbuhan yang terkena, berbagai busuk disebut sebagai busuk akar, busuk leher, busuk stek, busuk batang, dll. Jenis gejala ini sangat umum pada murbei. Dalam kasus busuk akar, akar benar-benar membusuk dan kulitnya dapat dikelupas dengan mudah. Contoh: Busuk akar (*Fusarium solani* / *Fusarium oxysporum*) murbei. Gejala busuk leher meliputi munculnya perubahan warna coklat hingga hitam pada batang dekat garis tanah (daerah leher) dalam bentuk cincin, yang memengaruhi pengangkutan nutrisi. Akibatnya, tanaman mati. Contoh: Busuk leher murbei. Namun, pada busuk stek, stek batang membusuk dan lapuk, sehingga mudah terpisah dari bagian kayu. Contoh: Busuk stek murbei. Busuk leher

dan busuk stek sebagian besar diamati selama penanaman di pembibitan murbei. Busuk batang yang disebabkan oleh *Coryneum mori* juga diamati pada murbei.

- 5) **Layu:** Pada layu, jaringan pembuluh (xilem dan floem) tanaman inang terpengaruh dan menunjukkan gejala seperti yang terlihat pada kasus kekeringan seperti terkulai dan layunya daun/tunas. Contoh: Layu bakteri murbei.
- 6) **Hawar dan Blast:** Gejala hawar sangat khas. Umumnya, mereka berkembang dalam bentuk pencoklatan/terbakar baik di ujung atau di tepi lamina daun. Gejala awal muncul dalam bentuk bercak warna coklat tidak beraturan terisolasi, mereka menyebar secara bertahap di seluruh permukaan daun, mengakibatkan kematian daun. Hawar juga mempengaruhi bagian udara lain dari tanaman. Berdasarkan bagian tumbuhan yang terkena hawar, disebut sebagai hawar daun, hawar ranting, hawar batang, hawar kuncup, dll. Contoh: Hawar daun (*Fusarium pallidoroseum* dan *Alternaria alternata*), hawar batang (*Stigmia obtecta*) dan hawar kuncup (*Fusarium lateritium*) murbei. Ketika seluruh helaian daun, kuncup, dan bagian tumbuhan lainnya terlibat dalam gejala hawar, mengakibatkan kematian cepat bagian tumbuhan, atau tumbuhan secara keseluruhan, maka dikenal sebagai blast. Contoh: Penyakit blast padi.
- 7) **Kanker:** Ini adalah lesi nekrotik terlokalisir yang cekung (pertumbuhan berkerak) pada kulit batang/ranting. Kanker sebagian besar menyebabkan kematian jaringan dan membunuh ranting. Contoh: (*Botryodiplodia theobromae*) murbei.
- 8) **Antraknosa:** Muncul sebagai bercak nekrotik melingkar atau tidak beraturan berukuran besar pada helaian daun, tangkai daun, batang, dan buah. Dalam kondisi parah, bercak menyatu dan berubah bentuk. Tepi dan bagian

tengah bercak terlihat jelas. Bercak ini terbentuk lebih dekat ke tepi daun daripada bagian lain. Contoh: Antraknosa murbei.

- 9) **Mati Pucuk:** Gejala mati pucuk dikenali dengan mengeringnya ranting dari ujung ke pangkal (ke bawah) memberikan tampilan terbakar. Gejala seperti itu sangat umum terjadi pada murbei selama penanaman di pembibitan, yang disebabkan oleh *Botryodiplodia thebromae*.
- 10) **Bercak Daun:** Lesi besar tidak beraturan dengan bercak warna berdebu batu bara hitam di permukaan ventral yang sesuai dengan bercak hitam di permukaan atas daun dikenal sebagai bercak. Contoh: Bercak daun (*Clasterosporium mori*) murbei yang umum di Cina.
- 11) **Rebah Kecambah:** Tiba-tiba roboh dan matinya kecambah muda dikenal sebagai rebah kecambah. Infeksi biasanya dimulai dari permukaan tanah. Rebah kecambah pada tahap pra-kemunculan membunuh kecambah pada saat kemunculannya. Contoh: Rebah kecambah pada kecambah murbei.

4.4.6.3 Gejala Hipoplasia

Gejala hipoplasia dapat diinduksi oleh agen hidup dan tidak hidup. Pada jenis gejala ini, tanaman menunjukkan pengurangan ukuran atau perubahan warna daun dari hijau menjadi pucat. Kondisi dimana bagian tumbuhan terhenti pertumbuhannya disebut atrofi. Berbagai gejala hipoplasia adalah sebagai berikut:

- 1) **Klorosis:** Menguningnya jaringan hijau karena kegagalan pembentukan klorofil dikenal sebagai klorosis. Gejala seperti itu umum terjadi pada kasus kekurangan nitrogen pada murbei.

- 2) **Mosaik:** Ketika bercak hijau kekuningan samar atau muncul di antara Ketika bercak hijau kekuningan samar atau muncul di antara urat lateral tetapi jaringan di dekatnya tetap berwarna hijau, itu dikenal sebagai mosaik. Berdasarkan pola warna, mosaik dapat dikenali dan diberi nama mosaik kuning dan hijau. Contoh: Penyakit mosaik kuning dan hijau pada murbei yang disebabkan oleh virus. Penyakit mosaik kuning lebih banyak ditemukan di Tiongkok.
- 3) **Kerdil:** Ini adalah gejala perkembangan di bawah normal dari berbagai bagian tumbuhan, menyebabkan pengurangan tinggi tanaman, panjang batang, ukuran daun, dan organ tumbuhan lainnya. Gejala dimulai dalam bentuk pengeritingan daun bagian atas. Kemudian, daun berukuran lebih kecil dan keriput secara nyata. Cabang tanaman menunjukkan pertumbuhan yang lemah, pemendekan panjang, dan filotaksi yang tidak teratur. Seiring perkembangan penyakit, kuncup aksila dan tambahan tumbuh lebih awal di bagian atas menghasilkan banyak kelompok cabang kecil. Contoh: Kekerdilan kuning murbei.
- 4) **Urat Jaring Kuning:** Gejala awalnya muncul dalam bentuk pembersihan urat. Kemudian, urat di tepi daun mulai menunjukkan klorosis atau menguning yang, dengan perkembangan penyakit, menyebar ke semua urat dan urat kecil di seluruh daun memberikan tampilan seperti jaring kuning. Contoh: Penyakit urat jaring kuning murbei yang disebabkan oleh virus.

4.4 Mekanisme Terjadinya Gejala

Seperti yang telah kita ketahui, timbulnya penyakit pada tanaman dipengaruhi oleh tiga faktor yang sering kita sebut sebagai segitiga penyakit, yaitu faktor patogen (jenis, virulensi, jumlah inokulum, cara infeksi), lingkungan (suhu, kelembaban,

intensitas cahaya matahari), dan faktor tanaman (jenis, varietas, umur). Virulensi patogen berkaitan dengan kemampuan patogen untuk mengatasi pertahanan tanaman dan menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan nutrisi yang tersedia dapat mempengaruhi pertumbuhan patogen dan respon tanaman. Sedangkan ketahanan inang berkaitan dengan mekanisme pertahanan tanaman yang lebih efektif sehingga dapat mengurangi keparahan gejala.

Dengan demikian, gejala penyakit tanaman merupakan hasil interaksi yang kompleks antara patogen dan inang, serta dibantu oleh kondisi lingkungan yang mendukung. Patogen menginfeksi tanaman dan menyebabkan gangguan pada proses fisiologis tanaman, sehingga menimbulkan gejala yang khas. Berikut adalah mekanisme umum terjadinya gejala:

4.4.1 Interaksi Patogen-Inang: Proses Penetrasi, Infeksi, Kolonisasi, dan Produksi Toksin.

- 1) Penetrasi: patogen menembus jaringan tanaman melalui luka, stomata, lentisel, atau secara langsung menembus dinding sel.
- 2) Infeksi: patogen yang berhasil masuk ke dalam jaringan tanaman memantapkan interaksinya dengan jaringan tanaman di sekelilingnya
- 3) Kolonisasi: patogen berkembang biak dan menyebar di dalam jaringan tanaman.
- 4) Produksi enzim dan toksin: patogen memproduksi enzim dan toksin yang dapat memecah dinding sel tanaman dan merusak sel-sel tanaman.

4.4.2. Respon Pertahanan Tanaman

- 1) Pertahanan pasif: Struktur fisik tanaman seperti kutikula, dinding sel, dan senyawa kimia alami (fitoaleksin) dapat menghambat penetrasi dan pertumbuhan patogen.
- 2) Pertahanan aktif: Tanaman dapat merespon serangan patogen dengan mengaktifkan sistem imunnya, menghasilkan senyawa anti-mikroba, dan membentuk struktur pertahanan seperti kalus atau lapisan gabus.

4.4.3. Gangguan Proses Fisiologis Tanaman

Gangguan fotosintesis: Patogen dapat merusak klorofil, mengganggu aliran elektron, atau merusak struktur kloroplas sehingga mengurangi laju fotosintesis.

- 1) Gangguan transpirasi: Patogen dapat menyumbat pembuluh xilem, mengganggu penyerapan air dan mineral, dan menyebabkan layu.
- 2) Gangguan transportasi nutrisi: Patogen dapat merusak floem, mengganggu transport hasil fotosintesis, dan menyebabkan kelainan pertumbuhan.
- 3) Produksi hormon abnormal: Patogen dapat mengganggu sintesis hormon tanaman, sehingga menyebabkan pertumbuhan abnormal seperti kerdil atau pertumbuhan yang tidak terkendali.

Dengan memahami mekanisme terjadinya gejala, maka kita dapat melakukan diagnosis yang akurat terhadap penyakit tanaman sehingga dapat mengembangkan strategi pengendalian penyakit yang lebih efektif dan berkelanjutan.

4.5 Diagnosis Penyakit Berdasarkan Gejala

Diagnosis dini sangat penting karena memungkinkan tindakan pengendalian dilakukan lebih awal, sehingga kerusakan tanaman dapat diminimalkan. Pengendalian yang tepat dapat mencegah penyebaran penyakit ke tanaman lain dan mengurangi kerugian ekonomi. Pada subbab ini dijelaskan bagaimana cara mendiagnosis dan mengidentifikasi penyakit tumbuhan berdasarkan gejala yang diamati. Dibahas juga pentingnya informasi tambahan seperti riwayat tanaman, kondisi lingkungan, dan hasil uji laboratorium jika diperlukan.

Diagnosis penyakit tanaman kadang tidaklah mudah dan membedakan antara penyakit biotik dan gangguan abiotik sangat krusial dalam mengembangkan rencana pengelolaan yang efektif (Patricia Hosack and Lee Miller, 2017). Oleh karena itu, langkah pertama yang sangat penting dalam diagnosis adalah menentukan apakah penyakit disebabkan oleh patogen ataukah faktor lingkungan (Agrios, 2005; Rahmawati dkk., 2017 Sistem pakar) karena seringkali keduanya menimbulkan gejala yang mirip satu sama lain. Dengan memahami berbagai jenis gejala dan menggunakan alat bantu diagnosis yang tepat, kita dapat mengidentifikasi penyakit tanaman secara akurat dan mengambil tindakan yang tepat untuk mengatasi masalah tersebut. Diagnosis sebagian besar penyakit didasarkan pada gejala karakteristik yang ditunjukkan oleh tanaman yang sakit. Gejala ini bisa berupa perubahan warna, bentuk, atau ukuran bagian tanaman, ataupun munculnya pertumbuhan yang abnormal.

Menurut Patricia Hosack and Lee Miller (2017), dalam melakukan diagnosis, agar diperoleh hasil yang mendekati akurat perlu dilakukan 5 langkah berikut, yaitu (1) Identifikasi tanaman inang secara akurat, (2) tentukan seperti apa tanaman yang normal, (3) pelajari permasalahan umum pada tanaman, (4)

bedakan antara faktor-faktor penyebab abiotik dan biotik, dan (5) periksa dengan teliti adanya gejala dan tanda penyakit menggunakan teknik pengamatan yang efektif dengan alat bantu seperti mikroskop, lensa pembesar, dan kunci determinasi penyakit.

Proses diagnosis dan faktor yang mempengaruhi akurasi diagnosis dapat diuraikan seperti di bawah ini.

4.5.1 Pengamatan Visual:

Periksa dengan teliti adanya gejala dan tanda penyakit, gunakan teknik pengamatan yang efektif dengan alat bantu seperti mikroskop, lensa pembesar, dan kunci determinasi penyakit.

- Gejala primer: Gejala yang langsung disebabkan oleh patogen, seperti bercak, busuk, atau layu.
- Gejala sekunder: Gejala yang merupakan respons tanaman terhadap infeksi, seperti pembentukan kalus atau perubahan warna.
- Distribusi gejala: Perhatikan bagian tanaman yang terinfeksi, apakah seluruh tanaman atau hanya bagian tertentu.
- Bedakan antara faktor-faktor penyebab abiotik dan biotik.

Pengalaman pengamat akan menentukan akurasi diagnosis. Semakin berpengalaman pengamat, semakin akurat diagnosis yang dilakukan.

4.5.2 Pengumpulan Sampel:

- Ambil sampel tanaman yang menunjukkan gejala yang khas. Tanaman harus diidentifikasi secara akurat dan harus dibedakan antara gejala penyakit dan gejala gangguan faktor abiotik

- Sampel yang diambil harus representatif dan dalam kondisi yang baik
- Simpan sampel dengan benar agar tidak terkontaminasi.

Sampel yang diambil. Ketersediaan buku panduan, artikel ilmiah, dan basis data penyakit tanaman sangat membantu dalam diagnosis.

4.5.3 Pengujian Laboratorium:

- Isolasi patogen: Memisahkan patogen dari jaringan tanaman yang terinfeksi.
- Identifikasi patogen: Menggunakan berbagai teknik seperti mikroskopi, kultur, dan uji biokimia.
- Ketersediaan fasilitas laboratorium yang lengkap memungkinkan dilakukannya pengujian yang lebih komprehensif.
- Ketersediaan buku panduan, artikel ilmiah, dan basis data penyakit tanaman sangat membantu dalam diagnosis.

4.5.4 Sistem Pakar dalam Diagnosis Penyakit Tumbuhan

Menurut Martin & Oxman (1988), sistem pakar (*Expert System*) adalah sistem yang berbasis komputer yang menggunakan pengetahuan, fakta, dan teknik penalaran dalam memecahkan masalah yang biasanya dapat diselesaikan oleh seorang pakar dalam bidang tertentu. Sedangkan menurut **Sembiring (2013)**, sistem pakar adalah sistem berbasis komputer yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Jadi dapat disimpulkan sistem pakar adalah sistem informasi yang mencoba untuk mereplikasi proses berpikir seorang ahli dalam suatu bidang tertentu, sehingga dapat memberikan solusi atau rekomendasi

yang akurat (Tobing dkk., 2019). Sistem pakar merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), yang bertujuan untuk menciptakan mesin yang dapat berpikir dan bertindak secara cerdas.

Suatu sistem pakar disusun oleh tiga modul JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan) pISSN: 2303-0577 eISSN: 2830-7062 (Fadli dkk., 2003), yaitu :

1. Modul Penerimaan Pengetahuan (*Knowledge Acquisition Mode*) Sistem berada pada modul ini, pada saat ia menerima pengetahuan dari pakar. Proses mengumpulkan pengetahuan-pengetahuan yang akan digunakan untuk pengembangan sistem, dilakukan dengan bantuan knowledge engineer. Peran knowledge engineer adalah sebagai penghubung antara suatu sistem pakar dengan pakarnya
2. Modul Konsultasi (*Consultation Mode*) Pada saat sistem berada pada posisi memberikan jawaban atas permasalahan yang diajukan oleh user, sistem pakar berada dalam modul konsultasi. Pada modul ini, user berinteraksi dengan sistem dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan yang diajukan oleh sistem.
3. Modul Penjelasan (*Explanation Mode*). Modul ini menjelaskan proses pengambilan keputusan oleh sistem (bagaimana suatu keputusan dapat diperoleh).

4.6 Aplikasi Simptomatologi dalam Pengendalian Penyakit

Pada umumnya strategi pengendalian penyakit tumbuhan salah satunya didasarkan pada gejala yang ditimbulkan (Sutarman, 2017). Misalnya, pengendalian penyakit busuk akar akan berbeda dengan penyakit bercak daun. Oleh karena itu

pengetahuan tentang gejala penyakit tanaman sangat berperan dalam usaha pengendalian penyakit tersebut. Sebagai contoh, langkah awal sebelum pengendalian harus dilakukan diagnosis untuk mengetahui penyebab atau patogennya. Hal ini tidak terlepas dari gejala yang terdapat pada tanaman sakit. Setelah diketahui penyebabnya maka ada beberapa pilihan pengendalian yang dapat dilakukan, misalnya pengendalian hayati, kimiawi, ataupun kultur teknis. Waktu pengendalian dan teknik pengendalian yang dipilih biasanya didasarkan pada hasil monitoring terhadap perkembangan penyakit yaitu menggunakan gejala sebagai indikatornya. Gejala yang ringan pada awal perkembangan penyakit mungkin akan berubah menjadi gejala yang lebih parah jika tidak dilakukan usaha pencegahan atau pengendalian. Penyakit dapat berkembang dari satu bagian tanaman ke bagian tanaman yang lain atau bahkan dari satu tanaman ke tanaman yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa penyakit dapat berkembang pada satu individu tanaman, atau dapat pula berkembang dalam populasi tanaman. Dengan demikian pengendalian penyakit tanaman sangat bergantung pada gejala penyakit yang dapat teramati.

Gejala penyakit tumbuhan berhubungan erat dengan siklus hidup patogen karena gejala merupakan manifestasi dari interaksi antara patogen dan tanaman inangnya. Setiap tahap dalam siklus hidup patogen dapat memicu munculnya gejala yang khas. Misalnya, pada penyakit karat daun kopi yang disebabkan oleh jamur *Hemileia vastatrix*, gejala berupa bercak-bercak kuning pada permukaan daun muncul saat jamur menginfeksi jaringan daun dan berkembang. Selanjutnya, terbentuknya pustula berwarna cokelat atau hitam menandai tahap produksi spora. Gejala-gejala ini tidak hanya mencerminkan perkembangan patogen dalam inang, tetapi juga memberikan petunjuk tentang tahap mana dalam siklus hidup patogen yang sedang berlangsung. Setiap tahap dalam siklus

hidup patogen (infeksi, kolonisasi, reproduksi, penyebaran) dapat memicu gejala yang berbeda. Dengan demikian, pemahaman tentang hubungan gejala dengan siklus hidup patogen sangat penting untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan pengendalian penyakit. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan cahaya juga dapat mempengaruhi perkembangan penyakit dan tampilan gejala.

Contoh lainnya misalnya pada penyakit layu, baik yang disebabkan oleh jamur maupun oleh bakteri. Gejala layu pada tanaman seringkali muncul pada tahap akhir infeksi, yaitu ketika sistem vaskular tanaman terganggu oleh patogen terutama berupa penyumbatan pada pembuluh xilem yang berfungsi untuk transportasi air dari sistem perakaran ke bagian tajuk tanaman. Pada penyakit busuk, baik gejala busuk pada bagian buah maupun umbi dapat terjadi ketika patogen merusak jaringan tanaman dan menyebabkan pembusukan. Pada penyakit mosaik yang biasanya disebabkan oleh virus, gejala mosaik pada daun disebabkan oleh gangguan patogen terhadap pembentukan klorofil. Gejala yang disebabkan oleh virus seringkali khas yaitu berupa mosaik, kerdil, atau perubahan warna baik pada daun maupun bunga.

4.6.1 Pendekatan Komprehensif

Gejala penyakit tanaman merupakan hasil interaksi kompleks antara inang, patogen, dan lingkungan. Faktor inang seperti varietas, umur tanaman, status nutrisi, dan kondisi fisiologis sangat mempengaruhi tingkat keparahan gejala. Varietas tahan, misalnya, akan menunjukkan gejala yang lebih ringan dibandingkan varietas rentan. Faktor patogen seperti virulensi, jumlah inokulum, dan cara infeksi juga berperan penting. Patogen yang sangat virulen akan menyebabkan gejala yang lebih parah dan cepat berkembang. Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, cahaya, dan jenis tanah dapat

memodifikasi ekspresi gejala. Suhu yang tinggi dan kelembaban yang tinggi, misalnya, dapat mempercepat perkembangan penyakit tertentu. Interaksi antara ketiga faktor ini seringkali bersifat sinergis, sehingga sulit untuk memisahkan pengaruh masing-masing faktor terhadap gejala yang muncul.

4.6.2 Fokus pada Interaksi Inang-Patogen

Interaksi antara inang dan patogen merupakan faktor utama yang menentukan munculnya gejala penyakit. Ketahanan inang terhadap patogen dapat mengurangi keparahan gejala atau bahkan mencegah terjadinya infeksi. Mekanisme ketahanan inang meliputi penghalang fisik, respon imun, dan produksi senyawa anti-mikroba. Virulensi patogen adalah kemampuan patogen untuk menyebabkan penyakit. Patogen yang virulen memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mengatasi mekanisme pertahanan inang dan menyebabkan kerusakan jaringan. Gen-gen resistensi pada tanaman inang dapat memberikan perlindungan terhadap serangan patogen tertentu.

4.6.3 Fokus pada Pengaruh Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan memainkan peran penting dalam perkembangan penyakit tanaman dan ekspresi gejala. Suhu yang optimal bagi pertumbuhan patogen akan mempercepat perkembangan penyakit. Kelembaban yang tinggi mendukung pertumbuhan jamur dan bakteri, sedangkan kekeringan dapat memperlambat perkembangan penyakit. Misalnya, penyakit karat daun kopi yang lebih parah pada kondisi lembap dan panas. Cahaya juga mempengaruhi perkembangan penyakit, terutama penyakit yang disebabkan oleh jamur. Jenis tanah mempengaruhi ketersediaan nutrisi dan air bagi tanaman, serta dapat menjadi sumber inokulum bagi beberapa patogen.

4.7 Penutup

Simptomatologi adalah kunci utama dalam memahami dan mengendalikan penyakit tumbuhan. Gejala yang muncul pada tanaman mencerminkan interaksi kompleks antara patogen, inang, dan lingkungan. Dengan memahami mekanisme terjadinya gejala dan mampu mendiagnosis penyakit secara akurat, kita dapat memilih metode pengendalian yang tepat dan efektif. Pemantauan gejala secara berkala sangat penting untuk mencegah wabah penyakit dan menjaga keberlanjutan produksi pertanian.

Perkembangan teknologi telah membuka peluang baru dalam bidang simptomatologi. Teknologi seperti citra satelit, drone, dan kecerdasan buatan memungkinkan deteksi penyakit tanaman secara lebih cepat dan akurat. Hal ini memberikan harapan untuk munculnya metode-metode baru dalam diagnosis dan pengendalian penyakit yang semakin canggih dan efisien.

Memahami simptomatologi bukan hanya merupakan pengetahuan teoritis, tetapi juga landasan untuk tindakan nyata. Pengetahuan tentang gejala penyakit tanaman sangat penting tidak hanya bagi petani, tetapi juga untuk para ahli penyakit tanaman, pemulia tanaman, dan pembuat kebijakan. Meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kesehatan tanaman adalah tanggung jawab bersama. Dengan memahami gejala penyakit, kita dapat melakukan diagnosis yang akurat, memilih metode pengendalian yang tepat, dan mencegah kerugian ekonomi yang lebih besar.

Kemajuan teknologi semakin memperkaya pengetahuan kita tentang penyakit tanaman. Kolaborasi antara berbagai pihak sangat penting untuk mengembangkan strategi pengendalian penyakit yang komprehensif dan berkelanjutan. Dengan bekerja sama, kita dapat menciptakan sistem pertanian yang lebih tahan

terhadap gangguan penyakit dan memastikan ketersediaan pangan bagi generasi mendatang.

Dengan memahami bahasa gejala, kita bisa mendiagnosis penyakit secara tepat, memilih metode pengendalian yang efektif, dan mencegah kerugian ekonomi yang besar. Kemampuan untuk mendeteksi dini penyakit adalah aset berharga bagi petani, terutama di tengah ancaman perubahan iklim dan munculnya penyakit baru. Oleh karena itu, pengembangan pengetahuan dan keterampilan dalam bidang simtomatologi sangat penting untuk menjaga ketahanan pangan dan kelestarian lingkungan.

Sebagai kesimpulan akhir, terdapat beberapa alasan penting untuk memahami gejala penyakit tumbuhan. Pertama, diagnosis yang akurat dapat membantu mengidentifikasi patogen, membedakan penyakit dari gangguan lain, dan mencegah kesalahan dalam pengendalian. Diagnosis yang salah dapat mengakibatkan penggunaan pestisida yang tidak tepat, yang tidak hanya sia-sia tetapi juga berpotensi merugikan. Kedua, dengan diagnosis yang tepat, waktu pengendalian dapat dioptimalkan, karena gejala penyakit mengindikasikan tahap perkembangan penyakit. Selanjutnya, kita dapat mengevaluasi keberhasilan pengendalian dengan mengamati perubahan gejala setelah tindakan pengendalian dilakukan. Ketiga, pemahaman tentang gejala juga memungkinkan tindakan pencegahan dini, seperti sanitasi pertanaman, rotasi tanaman, dan penggunaan varietas tahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, George. 2005. Plant Pathology (5th ed.). Boston: Elsevier Academic Press.
- Anonimous. 2020. Classification and Symptoms of Plant Diseases.
<https://ugcmoocs.inflibnet.ac.in/assets/uploads/1/158/5406/et/13%20Transcript%20-%20Classification%20and%20symptoms%20of%20plant%20diseases200306050503030707.pdf>
- Beckerman J. and T. Creswell. 2007. Symptoms and Signs for Plant Problem Diagnosis – An Illustrated Glossary. Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University. Purdue University Extension.
<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/BP/BP-164-W.pdf>
- Cooper J. Basic terminology and definitions in plant pathology. 2007., Master Gardener WSU Extension, SJC Copyright © January, 5, 2007. thistlehill
https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2054/2014/04/TermsandDefinitions_001.pdf
- Fadli A. Sistem Pakar Dasar, 1st Ed. Komunitas Elearning Ilmukomputer.Com, 2003. [Online]. Available: [Http://Fadli84.Wordpress.Com](http://Fadli84.Wordpress.Com)
- Hosack P. and L. Miller. 2017. Preventing and Managing Plant Diseases. Chapter 13 of the Missouri Master Gardener Core Manual . University of Illinois Extension. Home, Yard and Garden Pest Guide. Champaign.
<https://extension.missouri.edu/publications/mg13>.

Isleib J. 2012. Signs and symptoms of plant disease: Is it fungal, viral or bacterial? MSU Extension Field Crop. Michigan State University.

https://www.canr.msu.edu/news/signs_and_symptoms_of_plant_disease_is_it_fungal_viral_or_bacterial

Parry, D. 1990. *Plant Pathology in Agriculture*. Cambridge Univesity Press, Cambridge. 385 pp. Chapter 3.

Raharjo, D.P.,A. Dwi Cahyani, and B. K. Khotimah. Sistem Pakar Diagnosa Hama Dan Penyakit Padi dengan Metode Bayesian Berbasis Certainty Factor. Simantec, Vol. 8, No. 1, Dec. 2019.

Rahmawati, A. Jailanis, And N. Huda. 2017. Diagnosa Penyakit Akibat Jamur. JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan) pISSN: 2303-0577 eISSN: 2830-7062

Semangun, H. 2001. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Gadjah Mada Univ. Press, Yogyakarta. 754 hlm

Stephens C., A. Hartung, P. Hart and M. Mispagel. 2001. A Guide to Identifying Plant Disease Symptoms. Dept. of Entomology. Extension Bulletin E-1592, Rep. September 2001

Sutarman. 2017. *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman*. UMSIDA Press,Sidoarjo. 128 hlm.

[van der Does](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035551), H. C. and [M. Rep.](#) 2017. Adaptation to the Host Environment by Plant-Pathogenic Fungi. [Annual](#) Riview of Plant Pathology, Vol. 55:427-450. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035551>

BAB 5

PENYAKIT TUMBUHAN OLEH CENDAWAN

Oleh Sri Ayu Anggita

5.1 Pendahuluan

Cendawan atau dikenal juga sebagai fungi merupakan kelompok organisme yang tergabung dalam kingdom fungi, tidak berhijau daun, berinti sejati, memiliki spora dan umumnya berkembangbiak secara seksual dan aseksual. Fungi berukuran mikroskopik dan makroskopik, bersel tunggal (uniseluler) atau terdiri dari banyak sel (multiseluler) serta membentuk struktur tubuh berupa benang (filamen) yang memanjang dan bercabang. Fungi tumbuh dan bersiklus dimulai dari spora. Spora adalah bagian tubuh fungi berukuran sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan alat pembesar dan bentuknya dapat bermacam-macam. Spora dihasilkan oleh kotak spora yang disebut sporofor. Sporofor mempunyai bentuk tersendiri yang berbeda dengan bentuk vegetatifnya.

Struktur penyusun tubuh fungi tersebut dikenal dengan istilah hifa atau miselium. Hifa berupa struktur fungi berbentuk tabung atau benang halus yang tersusun dari rangkaian sel sedangkan miselium berupa kumpulan dari beberapa hifa yang membentuk suatu massa fungi. Beberapa fungi tidak memiliki miselium tetapi membentuk struktur thallus uniseluler seperti *Synchytrium sp.* dan *Saccharomyces spp.* Atau membentuk

struktur plasmodium seperti pada *Plasmodiophora brassicae* (Agrios, 2005).

Fungi juga mampu berperan sebagai patogen bagi tumbuhan. Beberapa penyakit tumbuhan umumnya disebabkan oleh cendawan. Golongan cendawan patogen sangat variatif dan memiliki anggota yang sangat beragam, oleh karena itu keberadaan patogen ini perlu selalu diwaspadai khususnya dalam bidang pertanian. Akibat infeksi, tanaman menunjukkan gejala seperti bercak daun, nekrosis, busuk akar, atau pembentukan miselium dan spora di permukaan. Beberapa cendawan juga menghasilkan mikotoksin yang memperparah efek infeksi.

5.2 Kelompok Cendawan Patogen Tumbuhan

Kelompok cendawan yang mampu menyerang tanaman dan menyebabkan penyakit pada tanaman memiliki keanekaragaman yang besar. Klasifikasi yang dimuat dalam Agrios, 1997, Sebagian cendawan yang bersifat patogenik yang sebelumnya dikelompokkan dalam cendawan tingkat rendah sekarang dimasukkan dalam kelompok kingdom *Protozoa* (Myxomycetes dan Plasmodiophoromycetes) atau kingdom Chromista (Oomycetes).

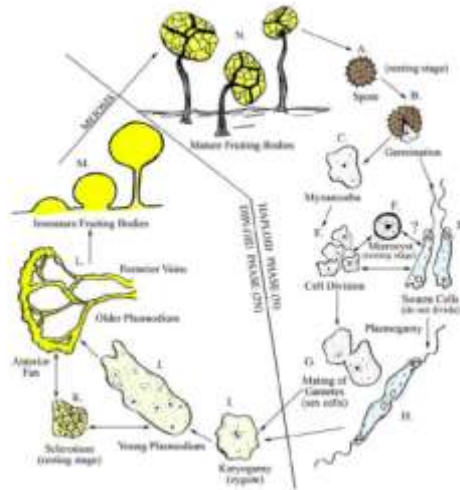
Tabel 5. 1. Contoh genus pada Phylum Deuteromycota (Sinaga, 2003)

Stadia Anamorfik	Kelompok Teleomorfik
<i>Geotrichum</i> , <i>G. candidum</i> penyebab busuk asam pada buah dan sayuran	Saacharomycetales

Stadia Anamorfik	Kelompok Teleomorfik
<i>Penicillium</i> penyebab busuk kapang biru pada buah-buahan	Talaromyces
<i>Aspergillus</i> penyebab kapang roti dan busuk benih	Eurotium
<i>Oidium</i> penyebab embun tepung	Erysiphe, dll
<i>Sporothrix</i> dan <i>graphium</i> penyebab <i>dutch elm</i>	Ophiostoma
<i>Verticillium</i> layu pembuluh pada berbagai tanaman	Hypocrea
<i>Cercospora</i> penyebab sigatoka pada pisang	Mycosphaerella
<i>Septoria</i> bercak daun pada berbagai tanaman	Mycosphaerella
<i>Phyllosticta</i> penyebab busuk hitam pada anggur	Guignardia
<i>Alternaria</i> bercak daun Alternaria dan hawar daun	Lewia
<i>Stemphyllium</i> penyebab busuk buah pada tomat	Pleospora
Bipolaris bercak daun dan busuk akar pada rerumputan	Cochliobolus
<i>Fusarium</i> layu pembuluh/ busuk akar/batang/benih	Gibberella

Phylum Myxomycota memproduksi suatu plasmodium atau struktur mirip plasmodium. Myxomycota memiliki Kelas Myxomycetes (slime molds) yang memiliki tubuh telanjang,

plasmodium amorf, memproduksi zoospora, dapat tumbuh di bawah tanaman tetapi tidak menginfeksi tanaman. Contoh genus dari Phylum ini seperti *Fuligo*, *Mucilago*, *Physarum* yang membentuk kapang berlendir di bawah tanaman.



Gambar 5. 1. Daur hidup fungi Myxomycetes (Scarborough, 2008 dalam Widnyana, 2023)

5.3 Karakteristik Cendawan Patogen

Cendawan patogen tanaman memiliki beberapa karakteristik utama yang memungkinkan mereka menginfeksi dan merusak tanaman (Alexopoulos et al., 1996).

1. Morfologi dan Struktur

- Cendawan patogen memiliki miselium yang dapat tumbuh di permukaan atau menembus jaringan tanaman.
- Spora sebagai alat reproduksi dapat berbentuk konidia, askospora, basidiospora, atau kladospora.

- Beberapa spesies menghasilkan struktur khusus seperti apresorium (untuk penetrasi), haustorium (untuk menyerap nutrisi), dan sklerotia (untuk bertahan dalam kondisi ekstrem) (Barnett & Hunter, 1998).

2. Reproduksi

- Cendawan patogen dapat berkembang biak secara aseksual (melalui konidia atau fragmentasi miselium) dan seksual (melalui peleburan gametangia atau spora khusus).
- Reproduksi cepat melalui spora memudahkan penyebaran penyakit dalam kondisi lingkungan yang mendukung (Horst, 2013).

3. Mekanisme Infeksi

- **Adherensi dan Germinasi Spora:** Spora cendawan yang mencapai permukaan tanaman akan berkecambah dalam kondisi lingkungan yang sesuai (Lucas, 1998).
- **Penetrasi:** Cendawan dapat menembus jaringan tanaman melalui stomata, luka, atau langsung dengan bantuan enzim pemecah dinding sel.
- **Kolonisasi dan Penyebaran:** Setelah masuk ke dalam jaringan tanaman, cendawan berkembang biak dengan membentuk miselium dan menyebar melalui pembuluh tanaman.

4. Siklus Hidup

- Ada cendawan yang bersifat **obligat** (hanya dapat hidup pada tanaman inang) dan **fakultatif** (dapat bertahan di luar inang, seperti pada tanah atau sisa tanaman).

- Beberapa cendawan memiliki siklus hidup kompleks dengan tahap dormansi (sklerotia) yang memungkinkan mereka bertahan dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.

5. Produksi Senyawa Toksin dan Enzim

- Beberapa cendawan patogen menghasilkan toksin yang dapat merusak sel tanaman dan menghambat pertumbuhannya, seperti **fumonisin**, **aflatoksin**, dan **deoksinivalenol**.
- Enzim pemecah dinding sel tanaman, seperti **pektinase**, **selulase**, dan **hemiselulase**, digunakan untuk memudahkan penetrasi dan kolonisasi.

6. Interaksi dengan Tanaman Inang

- **Biotrof:** Cendawan yang mempertahankan jaringan tanaman tetap hidup sambil menyerap nutrisi (contoh: *Puccinia spp.* penyebab karat daun).
- **Nekrotrof:** Cendawan yang membunuh sel tanaman terlebih dahulu sebelum menyerap nutrisi (contoh: *Botrytis cinerea* penyebab busuk abu-abu).
- **Hemibiotrof:** Cendawan yang memulai infeksi sebagai biotrof, lalu berkembang menjadi nekrotrof setelah tanaman melemah (contoh: *Magnaporthe oryzae* penyebab hawar daun padi).

Dengan memahami karakteristik ini, pengelolaan penyakit yang disebabkan oleh cendawan dapat lebih efektif melalui strategi pencegahan dan pengendalian yang sesuai.

5.4 Kolonisasi oleh Cendawan

Kolonisasi oleh cendawan merupakan proses dimana cendawan menginfeksi, berkembang, dan menyebar di dalam jaringan tanaman. Kolonisasi cendawan pada tanaman memungkinkan terjadi di dalam jaringan inang maupun di permukaan. Beberapa pathogen ada yang masuk ke dalam sel (intraseluler) dan beberapa lainnya tetap berada diantara sel (interaseluler). Pada proses ini ada beberapa interaksi yang terjadi antara pathogen dan tanaman, termasuk mekanisme penetrasi, adaptasi fisiologi, serta respon pertahanan inang. Cendawan mampu mengkolonisasi inangnya dengan spora dan atau miselium, tanpa haustorium atau dengan haustorium (Schumann & D'Arcy., 2010).

Dalam tahap kolonisasi, cendawan dapat menghasilkan enzim pemecah dinding sel, toksin, atau zat penghambat pertahanan tanaman untuk mendukung pertumbuhannya. Kolonisasi ini dapat bersifat lokal (terbatas pada satu area) atau sistemik (menyebar ke seluruh jaringan tanaman melalui pembuluh). Kolonisasi cendawan yang berhasil biasanya menghasilkan gejala penyakit seperti bercak nekrotik, klorosis, busuk jaringan, atau pertumbuhan miselium di permukaan tanaman.

Beberapa tahapan kolonisasi cendawan patogen diantaranya:

- 1) **Germinansi spora:** Spora akan berada dipermukaan inang dan menempel menggunakan zat lengket atau struktur seperti mukopolisakarida. Ketika terjadi kontak antara spora dan permukaan tanaman, maka spora akan mulai berkecambah dan membentuk tabung kecambah. Proses ini juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan nutrisi.

Aphids merupakan salah satu vector penyakit tanaman yang menyebabkan jelaga yang bersifat saprofitik, embun jelaga tersebut menyebabkan intensitas cahaya yang terserap juga sedikit, sehingga fotosintesis terganggu karena permukaan daun tertutupi.

- 2) Penetrasi ke jaringan inang:** Cendawan merpenetrasi ke dalam jaringan tanaman melalui beberapa cara, diantaranya; 1) Melalui stomata : Contohnya *Puccinia spp.* (patogen karat) yang masuk melalui stomata daun. 2) Melalui luka atau celah epidermis : Seperti *Fusarium spp.* yang masuk melalui luka akar atau batang.
- 3) Melalui Penetrasi Langsung:** Menggunakan enzim pemecah dinding sel (seperti selulase, pektinase) dan tekanan mekanis dari apresorium, contohnya *Magnaporthe oryzae* pada padi. (Mehrotra & Aggarwal, 2013)

Setelah berhasil menembus jaringan tanaman, cendawan mulai berkembang dan menyebar. Penyebaran bisa melalui interseluler, atau intra seluler. Cendawan nekrotrofik menyebabkan kematian sel untuk memperoleh nutrisi, sementara biotrofik mempertahankan inangnya agar tetap hidup.

Beberapa factor yang mempengaruhi kolonisasi cendawan pada tanaman inang, diantaranya:

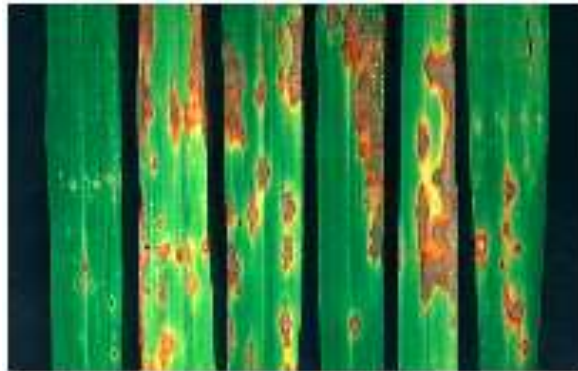
- **Faktor Lingkungan:** Kelembaban tinggi, suhu optimal, dan ketersediaan nutrisi mendukung pertumbuhan cendawan.
- **Ketahanan Inang:** Tanaman dengan sistem pertahanan kuat dapat membatasi kolonisasi cendawan.
- **Variasi Genetik Cendawan:** Beberapa strain lebih virulen dan mampu mengatasi mekanisme pertahanan tanaman.

5.5 Penyakit Tanaman yang Disebabkan oleh Cendawan Patogen

Berikut beberapa contoh penyakit tanaman yang disebabkan oleh cendawan, proses infeksi, dan gejalanya:

a. Hawar Daun Padi (Rice Blast)

- **Patogen:** *Magnaporthe oryzae*
- **Proses Infeksi:**
 1. Spora (konidia) jatuh ke permukaan daun padi dan mulai berkecambah.
 2. Patogen membentuk apresorium dan menembus daun melalui kutikula.
 3. Infeksi menyebar ke seluruh jaringan daun dan menyebabkan nekrosis.
- **Gejala:**
 - Muncul bercak berbentuk belah ketupat berwarna abu-abu dengan tepi coklat.
 - Pada infeksi berat, tanaman bisa mati sebelum berbunga.



Gambar 5. 2. Hawar daun padi
(Sumber: CABI Plantwise Plus)

b. Busuk Pangkal Batang pada Kelapa Sawit

- **Patogen:** *Ganoderma boninense*
- **Proses Infeksi:**
 1. Spora cendawan menyebar melalui tanah dan masuk ke akar tanaman.
 2. Patogen berkembang di jaringan akar dan pangkal batang, menyebabkan pembusukan jaringan.
 3. Pertumbuhan tanaman terganggu, daun menguning, dan akhirnya tanaman mati.
- **Gejala:**
 - Daun mengalami klorosis (menguning) dan nekrosis.
 - Batang membusuk dan mudah roboh.
 - Pada akar, terlihat jaringan yang membusuk dan berwarna coklat kehitaman.



Gambar 5. 3. Kanopi daun kelapa sawit pucat dan nekrotik terserang *G. boninense*; daun tombak masih belum terbuka (Sumber: CABI Plantwise Plus)



**Gambar 5. 4. Basidiomata *G. boninense* pada kelapa sawit
(Sumber: CABI Plantwise Plus)**

c. Karat Daun pada Tanaman Kedelai

- **Patogen:** *Phakopsora pachyrhizi*
- **Proses Infeksi:**
 1. Spora yang terbawa angin atau air menempel pada permukaan daun kedelai.
 2. Patogen menembus melalui stomata dan mulai berkembang di dalam jaringan daun.
 3. Produksi urediniospora mempercepat penyebaran infeksi ke tanaman lain.
- **Gejala:**
 - Bercak coklat kemerahan muncul di permukaan daun.
 - Daun mengering dan rontok lebih cepat.
 - Tanaman mengalami penurunan hasil produksi.



Gambar 5. 5. Karat daun pada tanaman kedelai
(Sumber: Forestry Images)

d. **Hawar Pelepah Jagung (*Exserohilum turcicum*)**

Patogen: *Exserohilum turcicum* (dikenal juga sebagai *Setosphaeria turcica*)

Proses infeksi:

- Jamur ini menghasilkan spora konidia yang menyebar melalui angin atau percikan air.
- Infeksi dimulai sebagai bercak kecil memanjang pada pelepah dan daun, yang kemudian meluas dan menyatu, menyebabkan nekrosis jaringan.
- Kehilangan luas daun akibat infeksi ini dapat mengurangi fotosintesis secara drastis, menurunkan hasil panen.

Gejala penyakit:

- **Bercak Nekrotik Memanjang:** Bercak berbentuk oval hingga memanjang dengan warna coklat keabu-abuan.
- **Tepi Bercak Berwarna Gelap:** Tepi bercak biasanya berwarna coklat tua atau ungu tua.

- **Penyebaran di Pelepah dan Daun:** Awalnya muncul pada daun bagian bawah, lalu menyebar ke pelepah dan bagian tanaman lain.
- **Penggabungan Bercak:** Jika infeksi parah, bercak-bercak akan bergabung, menyebabkan nekrosis luas pada pelepah dan daun.



Gambar 5. 6. Hawar Pelepah Jagung yang disebabkan oleh *Exserohilum turcicum* (Sumber: Forestry Images)

5.6 Pengelolaan Penyakit Cendawan

Pengelolaan penyakit yang disebabkan oleh cendawan harus dilakukan secara terintegrasi agar efektif dalam mengurangi tingkat infeksi dan dampak kerusakan pada tanaman. Beberapa metode yang dapat diterapkan meliputi:

1. Penggunaan Varietas Tahan

- Menggunakan tanaman yang memiliki ketahanan genetik terhadap patogen dapat mengurangi tingkat infeksi.
- Contoh: Varietas padi tahan *Magnaporthe oryzae* untuk mengurangi kejadian hawar daun.

2. Pengelolaan Budidaya

- **Rotasi Tanaman:** Mencegah akumulasi inokulum patogen di dalam tanah.

- **Pengaturan Jarak Tanam:** Meningkatkan sirkulasi udara untuk mengurangi kelembapan yang mendukung pertumbuhan cendawan.
- **Sanitasi Kebun:** Membersihkan sisa tanaman yang terinfeksi untuk mengurangi sumber inokulum.
- **Pemangkasan dan Pemupukan Seimbang:** Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap infeksi.

3. Penggunaan Fungisida

- **Fungisida Kimia:** Golongan triazol (*tebuconazole*), strobilurin (*azoxystrobin*), dan dithiocarbamate (*mancozeb*). Digunakan dengan dosis yang tepat untuk menghindari resistensi patogen.
- **Fungisida Hayati:** Memanfaatkan mikroorganisme antagonis seperti *Trichoderma spp.* untuk menekan pertumbuhan patogen.

4. Pengendalian Hayati

- **Agen Antagonis:**
 - *Trichoderma spp.* dapat menghambat perkembangan patogen melalui kompetisi ruang dan nutrisi.
 - *Bacillus subtilis* menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan cendawan patogen.
- **Penggunaan Mikoriza:** Mikoriza membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap infeksi patogen dengan meningkatkan penyerapan hara dan menginduksi mekanisme pertahanan tanaman.

5. Pengendalian Fisik dan Mekanis

- **Pengeringan Lahan:** Mengurangi kelembapan yang dibutuhkan oleh cendawan untuk berkembang biak.
- **Pemangkasan Bagian Terinfeksi:** Mengurangi penyebaran patogen ke bagian lain tanaman.

- **Penggunaan Mulsa:** Mencegah penyebaran spora patogen dari tanah ke tanaman.
6. **Pengendalian Berbasis Teknologi**
- **Induksi Ketahanan Tanaman:** Menggunakan senyawa seperti asam salisilat atau jasmonat untuk menginduksi ketahanan sistemik pada tanaman.
 - **Pemanfaatan Teknologi Genetik:** Rekayasa genetika untuk menciptakan tanaman yang lebih tahan terhadap infeksi cendawan.

Dengan menerapkan strategi pengelolaan yang tepat, infeksi penyakit yang disebabkan oleh cendawan dapat dikendalikan sehingga dampak negatifnya terhadap pertanian dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., & Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (4th ed.). APS Press.
- Horst, R. K. (2013). *Westcott's Plant Disease Handbook* (8th ed.). Springer.
- Hutabarat, S. (1989). *Penyakit-Penyakit Tanaman Pangan di Indonesia*. Gadjah Mada University Press.
- Lucas, J. A. (1998). *Plant Pathology and Plant Pathogens*. Blackwell Science.
- Mehrotra, R. S., & Aggarwal, A. (2013). *Plant Pathology*. Tata McGraw-Hill Education.
- Schumann, G. L., & D'Arcy, C. J. (2010). *Essential Plant Pathology* (2nd ed.). APS Press.
- Sinaga MS., Dasar-dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan. 2003. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Widnyana IK., 2023. Pengantar Ilmu Penyakit Tanaman. UNiversitas Mahasaraswati Press. Denpasar

BAB 6

PERKEMBANGAN PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Nurmujahidin

6.1 Pendahuluan

Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor utama yang dapat menyebabkan penurunan produksi pertanian. Penyakit pada tanaman biasanya terjadi ketika tanaman diserang oleh patogen atau dipengaruhi oleh faktor abiotik. Faktor biotik ini disebabkan oleh berbagai patogen seperti cendawan, bakteri, virus, dan nematoda yang dapat menyerang tanaman inang dan mengganggu pertumbuhannya. Agar penyakit berkembang, setidaknya ada tiga komponen yang harus saling berinteraksi, yaitu tanaman sebagai inang, patogen sebagai penyebab penyakit, dan lingkungan yang mendukung. Jika kondisi lingkungan tidak sesuai, seperti terlalu panas, terlalu dingin, atau terlalu kering, patogen mungkin tidak bisa menyerang, atau tanaman bisa bertahan, sehingga penyakit tidak muncul.

Setiap komponen ini dapat bervariasi dan memengaruhi tingkat keparahan penyakit. Misalnya, beberapa jenis tanaman lebih tahan terhadap penyakit, sedangkan yang lain lebih rentan. Usia tanaman juga berpengaruh, karena beberapa patogen lebih suka menyerang tanaman muda atau tua. Selain itu, patogen sendiri bisa lebih atau kurang berbahaya, jumlahnya bisa sedikit

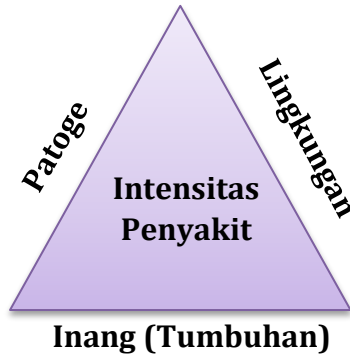
atau banyak, atau memerlukan kondisi tertentu seperti air atau vektor untuk menyebar.

Lingkungan juga berperan penting dalam perkembangan penyakit. Faktor seperti suhu, kelembaban, angin, dan keberadaan vektor dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, daya tahan terhadap penyakit, serta penyebaran patogen di suatu area.

Interaksi antara tiga faktor utama penyebab penyakit pada tanaman sering digambarkan dalam bentuk “segitiga penyakit” (Gambar 1). Segitiga ini terdiri dari tiga komponen utama: tanaman inang, patogen, dan lingkungan. Panjang setiap sisi segitiga mencerminkan sejauh mana faktor-faktor dalam komponen tersebut mendukung perkembangan penyakit.

Jika tanaman memiliki ketahanan yang baik, berada pada tahap pertumbuhan yang kurang sesuai untuk infeksi, atau ditanam dengan jarak yang cukup lebar, maka sisi tanaman inang akan lebih pendek, sehingga kemungkinan penyakit muncul menjadi kecil atau bahkan tidak ada. Sebaliknya, jika tanaman rentan terhadap patogen, berada pada fase pertumbuhan yang sesuai untuk infeksi, atau ditanam dalam kondisi yang padat, maka sisi tanaman inang akan lebih panjang, meningkatkan potensi penyakit.

Begitu pula dengan patogen, jika memiliki virulensi tinggi, jumlahnya banyak, dan dalam kondisi aktif, maka sisi patogen akan lebih panjang, menandakan potensi penyakit yang lebih besar. Faktor lingkungan juga sangat berpengaruh. Jika kondisi lingkungan mendukung perkembangan patogen—seperti suhu, kelembaban, atau angin yang sesuai—atau jika faktor lingkungan menyebabkan tanaman menjadi lebih lemah, maka sisi lingkungan akan semakin panjang, meningkatkan kemungkinan penyakit berkembang.



Gambar 6. 1. Segitiga penyakit tanaman

Jika ketiga komponen dalam segitiga penyakit ini dapat diukur, luas segitiga akan menunjukkan tingkat keparahan penyakit pada suatu tanaman atau populasi tanaman. Namun, jika salah satu komponen tidak ada, maka penyakit tidak akan muncul. Segitiga penyakit juga sering digambarkan dengan menempatkan tiga faktor utama—tanaman inang, patogen, dan lingkungan—di masing-masing puncak segitiga, bukan di sisi-sisinya.

Penyakit pada tanaman dapat dikenali dengan mengamati gejala yang muncul secara cermat. Gejala tersebut, baik yang bersifat umum maupun spesifik, memberikan petunjuk mengenai jenis penyakit yang menyerang tanaman. Gejala dapat terlihat pada berbagai bagian tanaman, seperti akar, batang, daun, atau buah. Setelah penyakit teridentifikasi, langkah-langkah pengendalian dapat diterapkan untuk mengurangi tingkat kerusakan, sehingga produksi tetap optimal. Tanaman yang terserang penyakit biasanya menunjukkan perubahan yang jelas, seperti daun menguning, layu, pertumbuhan terhambat, kerdil, menurunnya kualitas buah, atau akar yang mudah roboh akibat infeksi virus atau bakteri (Sopialena, 2017).

6.2 Patogenesis Penyakit Tanaman

Setiap penyakit menular melalui serangkaian peristiwa yang terjadi secara berurutan, mendukung perkembangan penyakit serta kelangsungan hidup patogen. Rangkaian peristiwa ini dikenal sebagai siklus penyakit.

Meskipun siklus penyakit terkadang mirip dengan siklus hidup patogen, konsep ini lebih menekankan pada proses kemunculan, perkembangan, dan penyebaran penyakit yang dipengaruhi oleh patogen, bukan hanya kehidupan patogennya sendiri. Siklus ini mencakup perubahan yang terjadi pada tanaman dan gejalanya, serta bagaimana patogen bertahan dan menyebar dari satu musim tanam ke musim berikutnya.

Tahapan utama dalam siklus penyakit meliputi (Gambar 2) inokulasi (patogen mencapai tanaman), penetrasi (patogen masuk ke dalam jaringan tanaman), infeksi (patogen mulai berkembang di dalam inang), kolonisasi atau invasi (penyebaran patogen di dalam tanaman), pertumbuhan dan reproduksi patogen, diseminasi (penyebaran patogen ke tanaman lain), serta kelangsungan hidup patogen di luar inang, baik dengan bertahan selama musim dingin (*overwintering*) maupun musim panas (*oversummering*) (Agrios, 2005).



Gambar 6. 2. Tahapan dalam perkembangan siklus penyakit
(Sumber : Agrios, 2005)

Pada beberapa penyakit, dalam satu siklus penyakit dapat terjadi beberapa kali siklus infeksi, di mana patogen terus menyebar dan menginfeksi tanaman baru dalam satu musim tanam.

6.3 Tahapan Dalam Perkembangan Penyakit: Siklus Penyakit

6.2.1 Inokulasi

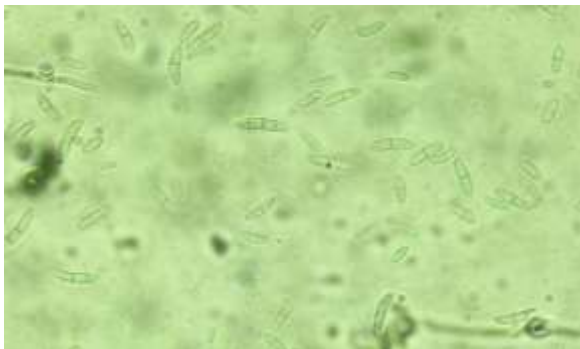
Inokulasi adalah tahap awal di mana inokulum patogen bersentuhan dengan tanaman inang. Inokulum dapat berupa spora jamur, sel bakteri, partikel virus, atau telur nematoda. Penyebaran inokulum dapat terjadi melalui berbagai media

seperti udara, air, tanah, serangga vektor, serta alat pertanian yang terkontaminasi (Patil, 2024).

Inokulasi merupakan tahap awal ketika patogen bersentuhan dengan bagian tanaman yang dapat terinfeksi. Patogen yang mencapai atau bersinggungan dengan tanaman disebut inokulum, yaitu bagian dari patogen yang mampu memulai infeksi.

Pada jamur, inokulum dapat berupa spora (Gambar 3), sklerotia (massa miselium yang padat), atau potongan miselium. Sementara itu, pada bakteri, mollicutes, protozoa, virus, dan viroid, inokulum selalu berupa individu utuh dari masing-masing mikroorganisme tersebut. Pada nematoda, inokulum dapat berbentuk nematoda dewasa, larva, atau telur, sedangkan pada tumbuhan parasit tingkat tinggi, inokulum bisa berupa potongan tanaman atau biji (Agrios, 2005).

Inokulum dapat terdiri dari satu individu patogen, seperti satu spora atau satu sklerotium multiseluler, maupun dalam jumlah besar, misalnya jutaan bakteri dalam satu tetes air. Satu unit inokulum dari suatu patogen dikenal sebagai propagul.



Gambar 6. 3. Tipe inokulum cendawan patogen (spora cendawan)

(Sumber : Koleksi Laboratorium Penyakit Tanaman, Unhas)

Tipe dan Sumber Inokulum

Inokulum yang bertahan dalam kondisi dorman selama musim dingin atau musim panas dan menyebabkan infeksi pertama pada musim semi atau musim gugur disebut inokulum primer, sedangkan infeksi yang ditimbulkannya disebut infeksi sekunder (Agrios, 2005). Inokulum primer dapat berasal dari berbagai sumber, seperti sisa tanaman yang terinfeksi, tanah, benih yang terkontaminasi, atau vektor yang membawa patogen (Schumann & D'Arcy, 2012). Bahkan inokulum juga bisa berasal dari benih, bibit, umbi, atau organ perbanyakannya yang dibawa ke dalam lahan, atau bahkan dari sumber di luar lahan pertanian (Agrios, 2005).

Inokulum yang dihasilkan dari infeksi primer disebut inokulum sekunder, yang selanjutnya dapat menyebabkan infeksi sekunder. Secara umum, semakin banyak inokulum primer dan semakin dekat lokasinya dengan tanaman budidaya, maka semakin parah tingkat keparahan penyakit serta kerugian yang ditimbulkan.

Faktor-faktor yang memengaruhi tingkat keparahan penyakit meliputi jumlah inokulum primer, jarak inokulum dari tanaman yang rentan, kondisi lingkungan yang mendukung penyebaran patogen, serta tingkat ketahanan tanaman inang. Jika inokulum primer melimpah dan berada dekat dengan tanaman budidaya, risiko infeksi meningkat, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerugian hasil panen yang signifikan (Schumann & D'Arcy, 2012). Oleh karena itu, strategi pengendalian penyakit tanaman sering kali difokuskan pada **pengurangan inokulum primer**, seperti melalui sanitasi lahan, pergiliran tanaman, penggunaan benih bebas patogen, dan penerapan varietas tahan penyakit (Strange, 2003).

Sumber inokulum dari luar dapat berasal dari tanaman atau lahan di sekitar, bahkan dari lahan yang berjarak beberapa kilometer. Pada banyak penyakit tanaman, terutama yang menyerang tanaman semusim, inokulum sering bertahan di gulma tahunan atau inang alternatif, lalu setiap musim menyebar dari tanaman inang tersebut ke tanaman semusim atau tanaman lainnya (Schumann & D'Arcy, 2012).

Penyebaran inokulum dapat terjadi melalui berbagai cara tergantung pada jenis patogennya. Jamur, bakteri, tanaman parasit tingkat tinggi, dan nematoda menghasilkan inokulum pada permukaan tanaman yang terinfeksi, atau inokulum tersebut mencapai permukaan tanaman saat jaringan yang terinfeksi mengalami kerusakan. Sedangkan virus, viroid, mollicutes, bakteri fastidious, dan protozoa menghasilkan inokulum di dalam tanaman inang. Inokulum ini hampir tidak pernah mencapai permukaan tanaman secara alami, sehingga penyebarannya dari satu tanaman ke tanaman lain hampir selalu bergantung pada vektor, seperti serangga (Strange, 2003).

Faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran inokulum meliputi kondisi lingkungan (kelembapan, suhu, dan angin), jenis dan jumlah inokulum yang tersedia, serta adanya vektor yang mendukung transmisi patogen. Dalam kasus tertentu, inokulum dapat menyebar melalui percikan air hujan, aliran air irigasi, atau bahkan aktivitas manusia seperti penggunaan alat pertanian yang terkontaminasi (Garrett et al., 2009).

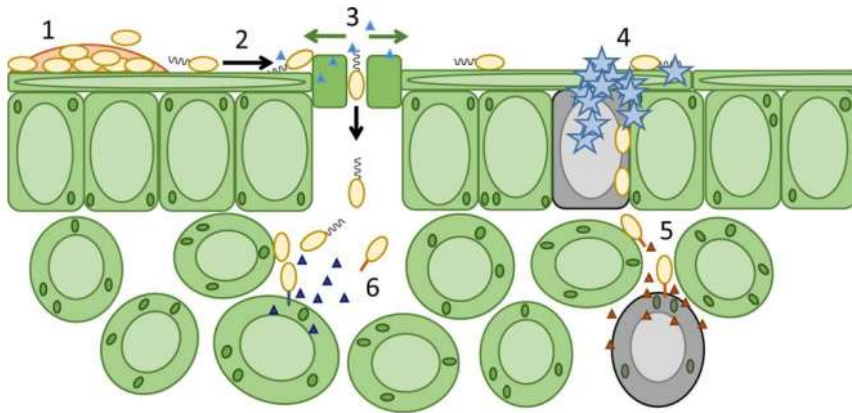
6.2.2 Penetrasi

Setelah inokulasi, patogen harus masuk ke dalam jaringan tanaman agar dapat berkembang biak. Metode penetrasi patogen meliputi:

- Penetrasi langsung: Jamur seperti *Colletotrichum* dan *Phytophthora* menggunakan enzim penghancur dinding sel untuk menembus kutikula dan epidermis tanaman (Pfeilmeier et al., 2016).
- Penetrasi melalui lubang alami: Stomata, lentisel, dan hidatoda sering menjadi jalur masuk bagi bakteri dan virus.
- Penetrasi melalui luka: Luka akibat serangga, alat pertanian, atau faktor lingkungan dapat menjadi pintu masuk bagi patogen.

Patogen seperti mollicutes, bakteri fastidious, protozoa, dan sebagian besar virus masuk langsung ke dalam sel tanaman melalui vektornya. Setelah berada di dalam sel, patogen ini biasanya segera dikelilingi oleh sitoplasma, membran sitoplasma, dan dinding sel. Sementara itu, sebagian besar jamur, bakteri, dan tumbuhan parasit tingkat tinggi pertama kali bersentuhan dengan permukaan luar organ tanaman sebelum dapat menginfeksi.

Agar dapat menembus dan menyebar dalam tanaman inang, patogen harus terlebih dahulu menempel pada permukaan tanaman (Gambar 4). Proses ini terjadi melalui adhesi spora, bakteri, atau benih dengan bantuan zat perekat yang bervariasi dalam komposisi dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Jika proses adhesi ini terganggu oleh senyawa sintetis yang tidak beracun, spora tidak akan mampu menginfeksi daun.



Gambar 6. 4. Proses infeksi bakteri patogen pada Tanaman,

1. Bertahan di permukaan tanaman dan membentuk biofilm, 2. Migrasi menggunakan flagela atau pili melintasi permukaan tanaman menuju titik masuk ke ruang apoplast, 3. Melepaskan fitotoksin untuk mengatasi penutupan stomata, 4. Induksi nukleasi es untuk merusak permukaan tanaman, 5. Sekresi enzim ekstraseluler untuk mendegradasi dinding sel dan merusak jaringan tanaman, 6. Sekresi fitotoksin untuk memodifikasi fisiologi, metabolisme, dan respons imun tanaman.

(Sumber : Pfeilmeier S, 2016)

Permukaan daun tanaman merupakan lingkungan yang kurang mendukung bagi mikroorganisme patogen. Bakteri yang hidup di area tersebut sering menghadapi kondisi ekstrem, seperti kekeringan, paparan sinar ultraviolet, fluktuasi suhu yang signifikan, serta gangguan mekanis akibat angin kencang. Meskipun demikian, bakteri epifit tetap mampu bertahan dan berkembang, bahkan dapat mencapai kepadatan populasi sekitar 10^6 hingga 10^7 sel/cm² pada permukaan daun (Andrews & Harris, 2000).

Meskipun keberadaan bakteri ini tidak secara langsung menyebabkan penyakit, kemampuan mereka untuk bertahan di permukaan tanaman dapat dianggap sebagai salah satu strategi virulensi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa gangguan terhadap mekanisme kelangsungan hidup bakteri epifit dapat secara efektif menekan gejala penyakit pada tanaman. Selain itu, mekanisme yang memungkinkan bakteri bertahan di permukaan tanaman juga berpotensi memainkan peran penting dalam tahap infeksi selanjutnya.

Pengenalan antara patogen dan inang melibatkan interaksi kompleks yang menentukan apakah penyakit akan berkembang atau tidak. Ketika patogen bersentuhan dengan inang, terjadi peristiwa awal yang memicu respons cepat dari kedua organisme. Respons ini dapat memungkinkan atau menghambat pertumbuhan patogen serta perkembangan penyakit (Agrios, 2005).

Tanaman inang mengeluarkan berbagai sinyal, seperti asam lemak, fenolik, dan molekul pektin, yang dapat mengaktifkan enzim patogen untuk memulai infeksi. Selain itu, karakteristik permukaan tanaman, seperti tekstur dan ion tertentu, juga berperan dalam pengenalan patogen. Sebaliknya, patogen menghasilkan molekul elisitor, seperti β -glukan, kitin, atau protein harpin, yang dapat memicu respons pertahanan tanaman (Dangl & Jones, 2001). Jika respons ini efektif, patogen menjadi avirulen dan gagal menyebabkan penyakit.

Perkembangan penyakit bergantung pada keseimbangan antara sinyal yang mendukung pertumbuhan patogen dan respons pertahanan inang. Jika tanaman berhasil menghambat patogen, penyakit tidak terjadi. Namun, jika patogen dapat menekan atau menghindari pertahanan tanaman, penyakit akan berkembang (Jones & Dangl, 2006).

Patogen dapat menembus permukaan tanaman melalui tiga mekanisme utama, yaitu penetrasi langsung ke dalam dinding sel, pemanfaatan celah alami seperti stomata atau lentisel, serta melalui luka yang terbentuk akibat faktor mekanis atau serangan vektor (Agrios, 2005). Beberapa jenis jamur hanya mampu menembus jaringan tanaman dengan satu metode, sementara yang lain dapat menggunakan lebih dari satu cara tergantung pada kondisi lingkungan dan inangnya.

Bakteri umumnya menginfeksi tanaman melalui luka yang terbuka, meskipun dalam beberapa kasus mereka juga dapat masuk melalui celah alami. Namun, bakteri tidak memiliki kemampuan untuk menembus dinding sel tanaman yang masih utuh (Agrios, 2005). Sementara itu, virus, viroid, mollicutes, bakteri fastidious, dan protozoa umumnya menginfeksi tanaman melalui luka yang dihasilkan oleh vektor serangga. Beberapa virus dan viroid juga dapat masuk melalui luka yang disebabkan oleh alat pertanian atau faktor fisik lainnya (Hull, 2014).

Tanaman parasit tingkat tinggi, seperti *Striga* spp. dan *Cuscuta* spp., menginfeksi inangnya dengan penetrasi langsung menggunakan haustorium. Nematoda juga dapat memasuki jaringan tanaman melalui penetrasi langsung atau memanfaatkan celah alami seperti celah akar (Perry & Moens, 2011).

Namun, tidak semua penetrasi menyebabkan infeksi. Beberapa mikroorganisme dapat masuk ke dalam sel tanaman tetapi gagal menginfeksi karena inang memiliki mekanisme pertahanan yang efektif. Organisme ini akhirnya mati tanpa menyebabkan penyakit, menunjukkan bahwa keberhasilan infeksi tidak hanya bergantung pada kemampuan patogen menembus jaringan, tetapi juga pada interaksi antara patogen dan sistem pertahanan tanaman (Schumann & D'Arcy, 2012).

6.2.3 Infeksi

Infeksi terjadi ketika patogen berhasil berinteraksi dengan sel atau jaringan tanaman inang yang rentan dan memperoleh sumber nutrisi darinya. Setelah proses infeksi, patogen akan berkembang biak dan menyebar dalam jaringan tanaman, mengkolonisasi inangnya dengan berbagai tingkat intensitas. Proses ini mencakup dua tahap utama dalam perkembangan penyakit, yaitu pertumbuhan dan reproduksi patogen di dalam atau pada jaringan yang terinfeksi (Agrios, 2005).

Infeksi yang berhasil akan memicu munculnya gejala penyakit yang terlihat, seperti perubahan warna, bentuk yang tidak normal, atau nekrosis pada jaringan tanaman. Namun, beberapa infeksi dapat bersifat laten, di mana gejala tidak langsung terlihat tetapi muncul kemudian ketika kondisi lingkungan atau tahap pertumbuhan tanaman mendukung perkembangan patogen (Schumann & D'Arcy, 2010).

Gejala penyakit mencerminkan perubahan fisiologis dan morfologis pada tanaman yang terinfeksi. Perubahan ini dapat terus berkembang hingga tanaman mengalami kematian atau tetap dalam kondisi tertentu sepanjang musim tanam. Waktu kemunculan gejala bervariasi tergantung pada jenis patogen dan tanaman inangnya. Misalnya, penyakit virus pada tanaman herba dapat menunjukkan gejala dalam 2–4 hari setelah inokulasi, sementara penyakit yang disebabkan oleh virus atau mollicute pada pohon dapat memerlukan waktu 2–3 tahun sebelum gejala terlihat. Sebagian besar penyakit tanaman menunjukkan gejala dalam beberapa hari hingga beberapa minggu setelah inokulasi (Lucas, 1998).

Interval antara inokulasi dan munculnya gejala penyakit dikenal sebagai periode inkubasi. Lama periode ini bervariasi tergantung pada interaksi antara patogen dan inang, tahap

perkembangan tanaman inang, serta faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban (Agrios, 2005).

Selama proses infeksi, beberapa patogen memperoleh nutrisi dari sel tanaman yang masih hidup tanpa segera menyebabkan kematian, sementara yang lain membunuh sel dan memanfaatkan isinya sebagai sumber makanan. Ada juga patogen yang tidak hanya membunuh sel tetapi juga menyebabkan kerusakan struktural pada jaringan sekitarnya. Dalam mekanisme ini, patogen melepaskan berbagai senyawa biologis aktif, seperti enzim, toksin, dan pengatur pertumbuhan, yang dapat mengganggu struktur dan proses fisiologis tanaman inang (Ramos A M *et al*, 2010). Sebagai reaksi terhadap infeksi, tanaman mengaktifkan berbagai mekanisme pertahanan, yang dapat bervariasi dalam efektivitasnya dalam menghambat perkembangan patogen (Glazebrook, 2005).

Keberhasilan infeksi tidak hanya ditentukan oleh kontak langsung antara patogen dan inangnya, tetapi juga oleh sejumlah faktor lain. Pertama, tanaman inang harus berada pada kondisi yang rentan terhadap patogen tertentu serta berada dalam tahap perkembangan yang sesuai untuk infeksi. Kedua, patogen harus berada dalam tahap perkembangan yang memungkinkan infeksi segera terjadi tanpa memerlukan masa dormansi, seperti pada tahap juvenil infeksiif atau dewasa dalam siklus hidup nematoda. Terakhir, kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembaban, harus mendukung pertumbuhan dan penyebaran patogen. Jika semua kondisi ini optimal, patogen dapat menginfeksi tanaman secara maksimal, bahkan ketika tanaman memiliki mekanisme pertahanan alami, sehingga penyakit tetap berkembang (Scholthof, 2007).

6.2.4 Invasi Patogen

Sebagian besar jamur dapat menyebar ke berbagai jaringan organ tanaman yang terinfeksi, seperti daun, batang, dan akar. Penyebaran ini dapat terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu penetrasi langsung ke dalam sel tanaman sebagai miselium intraseluler atau berkembang di antara sel sebagai miselium interseluler. Jamur penyebab penyakit *vascular wilt* secara khusus menyerang pembuluh xilem tanaman (Agrios, 2005).

Sementara itu, bakteri biasanya menginfeksi jaringan tanaman secara interseluler. Namun, jika dinding sel tanaman mengalami degradasi, bakteri dapat berkembang di dalam sel sebagai infeksi intraseluler. Bakteri penyebab *vascular wilt* memiliki pola invasi yang mirip dengan jamur *vascular wilt*, yaitu dengan menyerang pembuluh xilem (K Jacobs *et al.* 2004). Sebagian besar nematoda menginfeksi tanaman secara interseluler, meskipun beberapa spesies mampu masuk ke dalam sel secara intraseluler. Selain itu, beberapa jenis nematoda tidak menyerang sel atau jaringan secara langsung, melainkan memperoleh nutrisi dengan menusuk sel epidermis menggunakan *stylet*-nya (Akker S E S (2021).

Virus, viroid, mollicutes, bakteri *fastidious*, dan protozoa biasanya menyebar dalam jaringan tanaman dengan berpindah dari satu sel ke sel lainnya secara intraseluler. Virus dan viroid dapat menginfeksi hampir semua jenis sel hidup pada tanaman. Sementara itu, mollicutes dan protozoa cenderung menyerang tabung tapis floem serta beberapa sel parenkim floem yang berada di sekitarnya. Bakteri *fastidious* umumnya menginfeksi pembuluh xilem, meskipun ada juga yang menyerang tabung tapis floem (Hull, 2014).

Infeksi yang disebabkan oleh jamur, bakteri, nematoda, virus, dan tanaman parasit tingkat tinggi dapat bersifat lokal atau terbatas, yakni hanya mengenai satu sel, beberapa sel, atau area kecil pada tanaman. Infeksi jenis ini dapat tetap berada dalam area tertentu selama musim tanam atau berkembang secara perlahan. Sebaliknya, ada infeksi yang berkembang lebih cepat dan dapat menyebar ke seluruh bagian tanaman, termasuk organ tertentu seperti bunga, buah, atau daun, bagian besar tanaman seperti cabang, atau bahkan keseluruhan tanaman (Agrios, 2005).

Infeksi yang disebabkan oleh bakteri *fastidious* yang menghuni xilem atau floem, mollicutes, protozoa, serta infeksi alami oleh virus dan viroid cenderung bersifat sistemik. Dari satu titik awal infeksi, patogen dapat menyebar ke sebagian besar atau seluruh sel dan jaringan tanaman yang rentan. Jamur *vascular wilt* dan bakteri dengan pola infeksi serupa menyerang pembuluh xilem dari dalam, tetapi pada awalnya hanya terbatas pada beberapa pembuluh di akar, batang, atau bagian atas tanaman yang terinfeksi. Penyebaran ke seluruh jaringan xilem tanaman umumnya terjadi pada tahap akhir penyakit. Beberapa patogen penyebab *downy mildew*, serta jamur yang menyebabkan penyakit *smut* dan *rust*, juga dapat menginfeksi tanaman secara sistemik. Namun, dalam banyak kasus, miselium yang lebih tua akan mengalami degenerasi dan mati, sementara miselium yang lebih muda tetap bertahan pada jaringan tanaman yang aktif tumbuh (Horst, 2013).

6.2.5 Pertumbuhan dan Reproduksi Patogen

Jamur dan tanaman parasit tingkat tinggi umumnya menginfeksi jaringan tanaman dengan tumbuh di permukaan atau menembus ke dalamnya dari satu titik inokulasi awal. Sebagian besar patogen ini terus berkembang dan menyebar di dalam jaringan tanaman inang tanpa batas, baik yang

menyebabkan lesi kecil, area infeksi luas, maupun nekrosis menyeluruh (Agrios, 2005). Patogen yang sama dapat terus menyebar ke jaringan baru hingga infeksi terhenti atau tanaman mati. Namun, dalam beberapa kasus infeksi jamur, hifa yang lebih tua di area yang telah terinfeksi akan mati dan menghilang, sementara hifa muda terus berkembang ke jaringan sehat, menyebabkan beberapa titik miselium aktif di satu tanaman yang terinfeksi (Lucas, 1998). Selain itu, jamur penyebab penyakit layu vaskular menyebar dengan menghasilkan spora di dalam pembuluh tanaman. Spora ini kemudian terbawa oleh aliran getah ke pembuluh lain yang jauh dari miselium awal, tempat mereka berkecambah dan membentuk miselium baru yang menginfeksi lebih banyak jaringan (Alexopoulos et al., 1996).

Sebaliknya, patogen seperti bakteri, mollicutes, virus, viroid, nematoda, dan protozoa tidak mengalami perubahan ukuran sepanjang hidupnya. Mereka menyebar dalam jaringan tanaman dengan bereproduksi secara cepat, sehingga jumlahnya meningkat drastis (Schumann & D'Arcy, 2010). Keturunan mereka dapat berpindah secara pasif ke jaringan lain melalui plasmodesmata (virus dan viroid), floem (virus, viroid, mollicutes, beberapa bakteri fastidious, protozoa), atau xilem (beberapa bakteri) (Hull, 2014). Selain itu, patogen seperti protozoa dan nematoda—serta dalam beberapa kasus bakteri—dapat berpindah sendiri dari satu sel ke sel lain (Singh S, et al., 2015).

Setiap jenis patogen memiliki cara reproduksi yang berbeda. Jamur berkembang biak melalui spora yang dapat bersifat aseksual (mitospora) atau seksual (meiospora) (Alexopoulos et al., 1996). Tanaman parasit tingkat tinggi berkembang biak melalui biji, sementara bakteri dan mollicutes memperbanyak diri dengan pembelahan biner (Madigan et al.,

2018). Virus dan viroid direplikasi oleh sel inang, seperti proses mesin fotokopi yang terus menggandakan dokumen selama masih tersedia sumber daya (Hull, 2014). Nematoda bereproduksi dengan bertelur (Singh S, et al., 2015).

Sebagian besar jamur patogen tanaman dan oomycetes hanya membentuk miselium di dalam jaringan inangnya, sementara sebagian kecil membentuk miselium di permukaan tanaman. Contohnya, jamur penyebab powdery mildew hanya tumbuh di permukaan tanaman tanpa menembus ke dalamnya (Agrios, 2005). Sebagian besar jamur dan oomycetes menghasilkan spora di permukaan atau tepat di bawah jaringan yang terinfeksi sebelum dilepaskan ke lingkungan. Namun, beberapa patogen, seperti *Plasmodiophoromycetes* (penyebab penyakit clubroot) serta jamur penyebab penyakit layu vaskular, menghasilkan spora di dalam jaringan inang yang baru dilepaskan setelah tanaman mati dan terurai (Schumann & D'Arcy, 2010).

Tanaman parasit tingkat tinggi menghasilkan bijinya di cabang-cabang udara, sedangkan beberapa nematoda bertelur di atau dekat permukaan tanaman inang (Singh S, et al., 2015). Bakteri biasanya berkembang biak di antara atau di dalam sel tanaman, khususnya pada bakteri yang menghuni xilem atau floem. Mereka hanya mencapai permukaan tanaman melalui luka, celah alami, atau stomata (Madigan et al., 2018). Virus, viroid, mollicutes, protozoa, dan bakteri fastidious hanya bereproduksi di dalam sel tanaman dan jarang atau tidak pernah ditemukan di permukaan tanaman inang (Hull, 2014).

Tingkat reproduksi patogen sangat bervariasi, tetapi umumnya satu individu patogen dapat berkembang menjadi jumlah yang luar biasa banyak dalam satu musim tanam (Agrios, 2005). Beberapa jamur menghasilkan spora secara terus-menerus, sementara yang lain melakukannya dalam siklus

bertahap. Dalam kedua kasus, produksi spora bisa mencapai ribuan hingga ratusan ribu per sentimeter persegi jaringan yang terinfeksi. Bahkan struktur penghasil spora yang kecil mampu menghasilkan jutaan spora, sehingga jumlah total spora dalam satu tanaman yang sakit bisa mencapai miliaran hingga triliunan. Akibatnya, dalam satu hektar tanaman yang terinfeksi parah, jumlah spora yang dilepaskan bisa sangat besar, cukup untuk menginfeksi seluruh tanaman di area tersebut (Alexopoulos et al., 1996).

Bakteri berkembang biak dengan cepat di dalam jaringan yang terinfeksi. Dalam kondisi optimal, mereka dapat membelah setiap 20 hingga 30 menit, yang memungkinkan jumlahnya meningkat pesat dalam tanaman yang rentan selama nutrisi dan ruang tersedia serta suhu mendukung (Madigan et al., 2018). Satu tetes getah dari tanaman yang terinfeksi dapat mengandung jutaan bakteri, sehingga jumlah total bakteri dalam satu tanaman bisa sangat besar (Schumann & D'Arcy, 2010).

Bakteri fastidious dan mollicutes tampaknya berkembang biak lebih lambat dibandingkan bakteri umum. Walaupun mereka dapat menyebar melalui sistem vaskular tanaman, jumlahnya tetap relatif kecil dan hanya ditemukan di beberapa pembuluh xilem atau floem yang terinfeksi. Hal yang sama berlaku untuk protozoa (Hull, 2014).

Virus dan viroid berkembang biak di dalam sel hidup tanaman, dengan partikel virus pertama terdeteksi beberapa jam setelah infeksi. Setelah itu, jumlah virus dalam satu sel dapat mencapai 100.000 hingga 10.000.000 partikel. Karena virus dan viroid menyebar ke sebagian besar atau seluruh sel hidup tanaman inang, jumlah totalnya dalam satu tanaman bisa sangat tinggi (Hull, 2014).

Betina nematoda bertelur sekitar 300 hingga 500 butir, dengan sekitar setengahnya berkembang menjadi betina yang dapat bertelur lagi sebanyak 300 hingga 600 butir. Bergantung pada kondisi lingkungan, ketersediaan inang, dan siklus hidup spesies nematoda tertentu, jumlah generasi per tahun bisa berkisar antara dua hingga lebih dari selusin (Singh S, et al., 2015). Jika separuh betina bertahan hidup dan terus berkembang biak, jumlah nematoda dalam tanah dapat meningkat lebih dari seratus kali lipat per siklus generasi. Oleh karena itu, populasi nematoda sering kali meningkat tajam dalam satu musim tanam dan terus bertambah pada musim berikutnya (Agrios, 2005).

6.2.6 Diseminasi Patogen

Beberapa patogen, seperti nematoda, oomycetes, jamur berzoospora, dan bakteri, memiliki kemampuan untuk berpindah dalam jarak pendek dengan tenaga sendiri, memungkinkan mereka menyebar dari satu tanaman inang ke tanaman di sekitarnya (Singh S, et al., 2015; Agrios, 2005). Hifa jamur dapat tumbuh melalui jaringan tanaman yang bersentuhan, dan dalam beberapa kasus, bahkan dapat menjalar melalui tanah untuk mencapai akar tanaman lain dalam jarak beberapa sentimeter hingga beberapa meter (Alexopoulos et al., 1996). Meskipun demikian, penyebaran yang mengandalkan pergerakan sendiri ini memiliki keterbatasan, terutama bagi patogen seperti zoospora dan bakteri, yang lebih bergantung pada faktor eksternal untuk penyebaran lebih luas (Schumann & D'Arcy, 2010).

Sebagian besar patogen penyebab penyakit tanaman yang berkontribusi pada wabah skala besar, bahkan pada penyakit dengan dampak ekonomi yang rendah, lebih sering menyebar secara pasif melalui perantara seperti angin dan serangga (Hull, 2014; Schumann & D'Arcy, 2010). Selain itu, air, hewan, dan

aktivitas manusia juga memainkan peran penting dalam mendistribusikan inokulum patogen, baik secara lokal maupun dalam skala yang lebih luas (Agrios, 2005).

Spora sebagian besar oomycetes, jamur, dan biji tanaman parasit tersebar melalui arus udara yang membawa mereka sebagai partikel pasif ke berbagai jarak. Spora dapat terlepas dari sporofor akibat angin, pelepasan paksa, atau jatuh secara alami saat matang. Kecepatan dan turbulensi udara menentukan apakah spora akan terbawa ke atas atau menyebar secara horizontal, mirip dengan partikel asap di atmosfer.

Sebagian spora dapat menempel pada permukaan basah dan terperangkap, sementara lainnya akan terbawa hujan dan jatuh ke tanah. Namun, sebagian besar spora tidak mendarat pada inang yang sesuai. Beberapa jenis spora terlalu rapuh untuk bertahan dalam perjalanan jauh, sehingga penyebarannya melalui udara hanya mencapai beberapa ratus hingga ribuan meter. Sebaliknya, spora jamur tertentu, seperti patogen karat sereal, sangat tahan terhadap perjalanan udara dan dapat ditemukan di berbagai ketinggian, bahkan hingga beberapa ribu meter di atas lahan yang terinfeksi.

Dalam kondisi angin yang mendukung, spora ini dapat terbawa hingga ratusan kilometer, memicu epidemi di wilayah luas. Beberapa patogen udara dapat dengan cepat menyebar ke daerah baru dan menyebabkan epidemi yang meluas dalam hitungan tahun, sebagaimana terjadi pada penyakit smut tebu di Amerika dan karat garis jelai di Amerika Selatan (Agrios, 2005).

Air memiliki peran penting dalam penyebaran patogen melalui tiga mekanisme utama.

1. Bakteri, nematoda, serta spora dan fragmen miselium jamur yang terdapat di dalam tanah dapat tersebar melalui air hujan

atau irigasi yang mengalir di permukaan tanah atau meresap ke dalam tanah.

2. Semua bakteri dan spora dari banyak jenis jamur diekskresikan dalam cairan lengket dan bergantung pada hujan atau irigasi overhead untuk penyebarannya. Air ini dapat mencuci patogen ke bawah atau menyebarkan ke berbagai arah melalui percikan.
3. Tetesan hujan atau air dari irigasi overhead dapat menangkap spora jamur dan bakteri yang ada di udara, lalu membawanya ke bawah, di mana beberapa di antaranya mungkin jatuh pada tanaman yang rentan terhadap infeksi.

Meskipun air kurang berperan dalam penyebaran patogen jarak jauh dibandingkan udara, penyebaran melalui air lebih efektif untuk infeksi jarak dekat karena patogen langsung mendarat pada permukaan yang basah, memungkinkan mereka bergerak atau berkecambah segera setelah mencapai inangnya.

Serangga seperti kutu daun (aphids), wereng (leafhoppers), dan lalat putih (whiteflies) merupakan vektor utama bagi virus tanaman, sementara wereng juga bertindak sebagai vektor utama bagi mollicutes, bakteri fastidious, dan protozoa (Agrios, 2005). Setiap patogen ini hanya dapat ditularkan oleh satu atau beberapa spesies serangga tertentu saat serangga tersebut mengisap cairan tanaman dan berpindah dari satu tanaman ke tanaman lainnya. Selain itu, beberapa jenis serangga juga berperan dalam penyebaran patogen jamur, bakteri, dan nematoda tertentu, seperti jamur penyebab Dutch elm disease, bakteri penyebab layu cucurbit, serta nematoda penyebab layu pinus (Jones & Dangel, 2006).

Dalam beberapa kasus, patogen terbawa secara internal atau eksternal oleh satu atau beberapa vektor spesifik, sehingga penyebarannya sangat bergantung pada keberadaan serangga tersebut (Hull, 2014). Namun, pada penyakit seperti busuk lunak

bakteri, busuk buah jamur, antraknosa, dan ergot, serangga dapat terkontaminasi dengan bakteri atau spora jamur yang lengket saat berpindah dari satu tanaman ke tanaman lain. Patogen ini kemudian menempel pada tubuh serangga dan disebarkan ke permukaan tanaman atau luka yang dihasilkan saat serangga memakan jaringan tanaman (Purcell, 1997). Dalam kasus ini, serangga bertindak sebagai agen penyebaran yang mempercepat infeksi, tetapi patogen masih dapat menyebar tanpa kehadiran vektor ini.

Jarak penyebaran patogen oleh serangga sangat bervariasi, bergantung pada jenis serangga, hubungan antara serangga dan patogen, serta kondisi lingkungan seperti kecepatan angin dan suhu udara (Hogenhout et al., 2008).

Selain serangga, beberapa spesies tungau dan nematoda juga diketahui dapat menularkan virus secara internal dari satu tanaman ke tanaman lain. Tungau dan nematoda juga kemungkinan membawa bakteri serta spora jamur secara eksternal ketika mereka bergerak di permukaan tanaman yang terinfeksi (Nault, 1997).

Hewan lain, baik yang berukuran kecil maupun besar, juga berpotensi menjadi agen penyebaran patogen tanaman. Ketika mereka bergerak di antara tanaman dan bersentuhan dengan permukaan tanaman, mereka dapat membawa spora jamur, bakteri, benih tanaman parasit, nematoda, serta kemungkinan beberapa virus dan viroid (Morris et al., 2008). Sebagian besar patogen ini menempel pada kaki atau tubuh hewan, sementara beberapa lainnya dapat terbawa oleh bagian mulut yang terkontaminasi.

Beberapa virus dapat menyebar melalui serbuk sari dari tanaman yang telah terinfeksi. Jika serbuk sari yang mengandung virus menyerbuki tanaman sehat, virus tersebut dapat

menginfeksi baik benih yang dihasilkan yang kemudian tumbuh menjadi tanaman terinfeksi maupun tanaman yang menerima penyerbukan.

Selain itu, berbagai patogen dapat berada di permukaan atau di dalam benih, bibit, batang okulasi, dan tanaman di persemaian. Patogen ini dapat menyebar ketika bahan tanam tersebut dipindahkan ke lokasi lain atau dijual dan dikirim ke berbagai daerah. Penyebaran patogen melalui bahan tanam sangat berpengaruh karena memungkinkan patogen hadir sejak awal musim tanam, berkembang biak, dan menyebar melalui berbagai cara lain. Selain itu, penyebaran ini juga dapat memperkenalkan patogen ke wilayah baru di mana sebelumnya patogen tersebut belum pernah ditemukan (Agrios, 2005).

Manusia berperan penting dalam penyebaran berbagai jenis patogen tanaman, baik dalam skala lokal maupun global, melalui berbagai cara (Agrios, 2005). Di dalam suatu lahan pertanian, patogen seperti virus mosaik tembakau dapat menyebar melalui kontak berulang antara tanaman yang terinfeksi dan tanaman sehat akibat aktivitas manusia. Selain itu, alat pertanian seperti gunting pangkas yang terkontaminasi oleh patogen dari tanaman yang sakit, seperti bakteri *Erwinia amylovora* penyebab fire blight pada pir, dapat menjadi sarana penyebaran patogen ke tanaman lain (Schumann & D'Arcy, 2010).

Selain melalui peralatan, manusia juga menyebarkan patogen dengan membawa tanah yang terkontaminasi pada alas kaki atau peralatan pertanian, serta melalui penggunaan wadah yang tidak steril. Penggunaan benih, bibit, batang okulasi, dan tanaman dari persemaian yang telah terinfeksi juga menjadi salah satu jalur utama penyebaran penyakit tanaman (Gilbert, 2002). Lebih lanjut, introduksi varietas tanaman baru ke suatu wilayah berisiko membawa patogen yang sebelumnya tidak ada

di daerah tersebut, terutama jika patogen tersebut tidak terdeteksi dalam proses karantina.

Penyebaran patogen akibat aktivitas manusia telah terjadi dalam berbagai kasus, seperti masuknya jamur penyebab penyakit *Dutch elm disease* (*Ophiostoma novo-ulmi*) dan *white pine blister rust* (*Cronartium ribicola*) ke Amerika Serikat, serta penyebaran bakteri *Xanthomonas axonopodis* penyebab kanker jeruk (Agrios, 2005). Di Eropa, penyakit embun tepung dan embun bulu pada anggur juga diperkenalkan melalui perdagangan tanaman (McNew, 1960). Lebih baru lagi, penyebaran cepat penyakit *sorghum ergot* (*Claviceps africana*) ke berbagai belahan dunia menunjukkan bahwa pergerakan manusia dan perdagangan global memainkan peran utama dalam penyebaran patogen tanaman (Isakeit et al., 2001).

6.2.7 Periode Dorman Patogen

Patogen yang menginfeksi tanaman tahunan mampu bertahan selama musim dingin yang dingin, musim panas yang panas dan kering, atau keduanya, baik ketika tanaman inang sedang aktif tumbuh maupun dalam kondisi dorman (Agrios, 2005). Sebaliknya, tanaman semusim akan mati pada akhir musim tanam, termasuk daun dan buah dari tanaman tahunan yang bersifat gugur serta batang dari beberapa spesies tanaman tahunan (Schumann & D'Arcy, 2012).

Di wilayah dengan iklim dingin, tanaman semusim dan bagian atas tanaman tahunan tertentu akan mati akibat suhu rendah selama musim dingin, menyebabkan patogen kehilangan inangnya dalam jangka waktu beberapa bulan (Agrios, 2005). Sebaliknya, di daerah beriklim panas dan kering, tanaman semusim cenderung mati selama musim panas, sehingga patogen harus memiliki mekanisme bertahan hidup tanpa inang selama periode tersebut (Schumann & D'Arcy, 2012). Oleh karena itu,

patogen yang menginfeksi tanaman semusim dan bagian tanaman tahunan yang dapat diperbarui telah berevolusi dengan mengembangkan strategi bertahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti musim dingin yang panjang atau musim panas yang kering, yang terjadi di antara musim tanam (Agrios, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th Edition). Elsevier Academic Press.
- Akker S E S (2021). Plant-Nematode Interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 62(4), 102035.
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., & Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Dangl, J. L., & Jones, J. D. G. (2001). Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*, 411(6839), 826–833.
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2009). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 489–509.
- Gilbert, G. S. (2002). Evolutionary ecology of plant diseases in natural ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 13–43.
- Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 205–227.
- Hogenhout, S. A., Ammar, E. D., Whitfield, A. E., & Redinbaugh, M. G. (2008). "Insect vector interactions with persistently transmitted viruses." *Annual Review of Phytopathology*, 46, 327–359.
- Horst, R. K. (2013). *Westcott's Plant Disease Handbook*. Springer.
- Hull, R. (2014). *Plant Virology* (5th ed.). Academic Press.
- Isakeit, T., Prom, L. K., & Odvody, G. N. (2001). First report of *Claviceps africana* in Texas. *Plant Disease*, 85(4), 442.

- Jones, J. D. G., & Dangl, J. L. (2006). "The plant immune system." *Nature*, 444(7117), 323-329.
- K. Jacobs, M.J. Wingfield, J.N. Gibbs. 2004. PATHOLOGY | Vascular Wilt Diseases. *Encyclopedia of Forest Sciences*. Pages 766-772.
- Lucas, J. A. (1998). *Plant Pathology and Plant Pathogens* (3rd ed.). Blackwell Science.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Manesh P. Patil, Dr. Indrabhan S. Borse. 2024. Comprehensive Review on Plant Disease Detection and Identification. *J. Electrical Systems* 20-3s 732-746.
- McNew, G. L. (1960). The nature, origin, and evolution of parasitism. *Science*, 131(3406), 621-625.
- Morris, C. E., Sands, D. C., Vinatzer, B. A., Glaux, C., Guilbaud, C., Buffiere, A., Yan, S., Dominguez, H., & Thompson, B. M. (2008). "The life history of the plant pathogen *Pseudomonas syringae* is linked to the water cycle." *The ISME Journal*, 2(3), 321-334.
- Nault, L. R. (1997). "Arthropod transmission of plant viruses: A new synthesis." *Annals of the Entomological Society of America*, 90(5), 521-541.
- Perry, R. N., & Moens, M. (2011). *Plant Nematology*. CABI.
- Purcell, A. H. (1997). "Xylella fastidiosa, a regional problem or global threat?" *Journal of Plant Pathology*, 79(2), 99-105.

- Ramos A M, et al. 2010. Pectinolytic enzyme production by *Colletotrichum truncatum*, causal agent of soybean anthracnose Producción de enzimas pectinolíticas por *Colletotrichum truncatum*, agente causal de antracnosis en soja. *Micologia*. Vol 24 (4). 186-190.
- Scholthof, K. B. G. (2007). The disease triangle: Pathogens, the environment, and society. *Nature Reviews Microbiology*, 5(2), 152–156.
- Schumann, G. L., & D'Arcy, C. J. (2012). *Essential Plant Pathology* (2nd ed.). APS Press.
- Singh S, Singh B, A.P. Singh. (1999). *Nematodes: A Threat to Sustainability of Agriculture*. Plant Health Progress. *Procedia Environmental Sciences* Volume 29, Pages 215-216.
- Sopialena. 2017. *Segitiga Penyakit Tanaman*. Mulawarman University Press. Samarinda.
- Strange, R. N. (2003). *Introduction to Plant Pathology*. Wiley-Blackwell.

BAB 7

PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Musawira

7.1 Pendahuluan

Penyakit tanaman menjadi faktor utama yang memengaruhi produksi pangan dan perkembangan masyarakat manusia selama ribuan tahun. Pada era awal pertanian, epidemi penyakit pada tanaman dipandang sebagai hukuman dari para dewa dan pendekatan pengelolaan penyakit tanaman pada saat itu masih sangat terbatas. Kondisi hasil panen yang rendah dan kurangnya cadangan pangan saat epidemi penyakit tanaman terjadi, maka, kekurangan pangan mengakibatkan dampak bencana pada manusia. Seperti kelaparan yang terjadi di Irlandia akibat penyakit busuk daun kentang pada tahun 1840-an dan kelaparan Benggala tahun 1943 yang disebabkan oleh bercak coklat pada padi. Meskipun kemajuan ilmiah dan teknologi berkontribusi terhadap pengurangan signifikan dalam frekuensi dan intensitas epidemi, faktanya 20–30% dari produksi terjadi penurunan akibat penyakit tanaman per tahun (Dun-chun dkk., 2016).

Penyakit tanaman merupakan hasil interaksi antara tanaman inang yang rentan, patogen virulen, dan lingkungan. Aktivitas manusia (misalnya, praktik agronomi, perlakuan fungisida, pergerakan bahan tanaman di pasar global, dll.) dan

keberadaan mikroba antagonis terhadap patogen juga dapat berperan dalam perkembangan suatu penyakit. Perubahan kondisi lingkungan sangat terkait dengan tingkat kerugian yang disebabkan oleh suatu penyakit serta munculnya penyakit baru pada tanaman (Elad dan Pertod, 2014). Perubahan iklim dapat mempengaruhi virulensi patogen, dimana patogen dapat beradaptasi dengan iklim baru. Perubahan iklim juga dapat memungkinkan patogen untuk berkembang biak di wilayah baru karena perubahan iklim di sana kini mendukung perkembangannya.

7.2 Pengaruh Perubahan Iklim

Beberapa aspek biologi patogen dapat secara langsung dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Laju pertumbuhan patogen sangat bergantung pada suhu, kelembapan relatif (RH), pH tanah dan cahaya. Secara umum, kondisi lingkungan (suhu, curah hujan, dan kelembapan) yang berlangsung lama dan mendekati kondisi optimal bagi perkembangan patogen dapat menyebabkan epidemi yang lebih merusak.

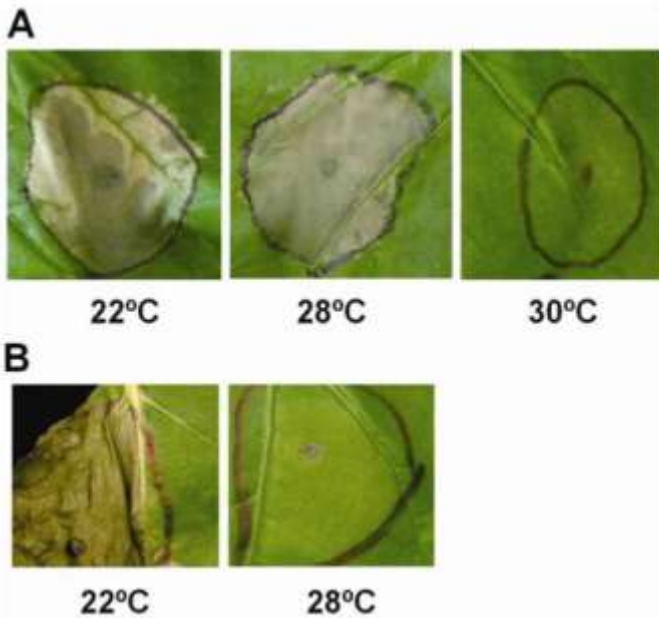
7.2.1 Temperatur

Perubahan iklim dapat berdampak langsung pada tingkat keparahan dan epidemi penyakit tanaman. Umumnya, tanaman maupun patogen dapat tumbuh diantara suhu minimum dan maksimum pada batas tertentu dan tumbuh paling baik pada suhu optimum sesuai dengan syarat tumbuhnya.

Di daerah beriklim sedang, penyakit tanaman, seperti penyakit kanker pada tanaman tahunan yang disebabkan oleh jamur seperti spesies *Nectria* atau oomycetes seperti spesies *Phytophthora*, sering kali berkembang di musim semi atau musim gugur. Beberapa patogen lainnya juga dapat berkembang

pada suhu yang lebih tinggi atau suhu yang lebih rendah. Misalnya, penyakit layu Fusarium dan antraknosa Colletotrichum berkembang pada daerah panas di daerah tropis atau subtropis, sedangkan penyakit busuk daun kentang (*Phytophthora infestans*) tersebar di daerah beriklim sedang yang lembap. Lainnya yaitu jamur salju pada sereal atau rumput (*Typhula*, *Microdochium*) yang berkembang di daerah dingin. Peningkatan suhu karena adanya perubahan iklim dapat menimbulkan penyakit karena mempengaruhi patogen, inang, atau interaksi antara inang-patogen (Agrios, 2024).

Efek peningkatan suhu pada ketahanan terhadap patogen bakteri *Pseudomonas syringae* pada *Arabidopsis thaliana* dan *Nicotiana benthamiana* mampu dihambat oleh suhu yang cukup tinggi, dan respons hipersensitif yang diinduksi oleh gen resistensi juga berkurang dengan adanya peningkatan suhu. Hal ini menunjukkan bahwa respon terhadap peningkatan suhu terhadap pertahanan patogen biotropik dan hemibiotropik dapat berkurang. Respon daun tanaman *N. Benthamiana* terhadap peningkatan suhu menunjukkan pengurangan infeksi virus pada suhu 30°C (Gambar 1) (Wang dkk. 2009).



Gambar 7. 1. Respon daun *N. Benthamiana* terhadap gejala serangan *Pseudomonas syringae* pada suhu yang berbeda
(Sumber: Wang dkk. 2009).

Tanaman tropis dapat mengalami cekaman ketika berada pada suhu rendah. Pada kondisi tertentu dapat terjadi pembekuan yang menyebabkan pembentukan kristal es di dalam dan di ruang antar sel sehingga dapat terjadi kerusakan pada membran plasma dan bahkan menyebabkan kematian sel. Bagian sukulen muda tanaman (daun muda, kuncup, dan bunga) sangat rentan oleh pembekuan pada suhu rendah. Jaringan yang terkena seringkali menjadi tipis dan agak tembus cahaya kemudian berubah menjadi hitam dan mengering. Jaringan seperti ini sering kali diserang oleh patogen seperti *Botrytis cinerea* yang menyebabkan penyakit busuk pada daun oleh jamur (Tarr, 1972).

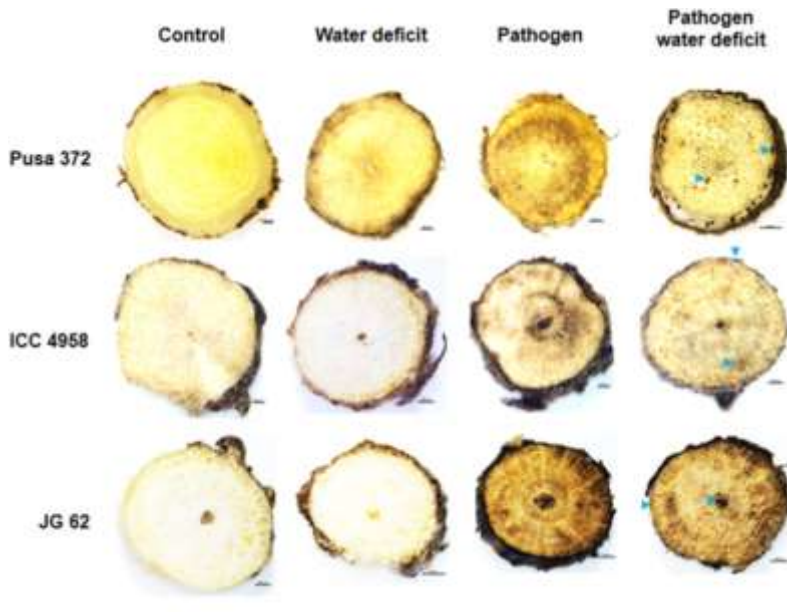
7.2.2 Kelembapan

Kelembapan dan suhu dapat memengaruhi perkembangan penyakit dengan memengaruhi kerentanan inang terhadap infeksi atau bahkan dapat meningkatkan tingkat gejala serangan. Beberapa patogen seperti penyakit keropeng atau kudis apel, penyakit busuk daun, dan beberapa patogen akar pada sayuran lebih mungkin menginfeksi tanaman ketika kadar air meningkat karena jenis penyakit tanaman ini disebabkan oleh tingkat kebasahan daun, kelembapan relatif, dan curah hujan. Patogen lain seperti spesies jamur penyebab embun tepung cenderung berkembang cepat dalam kondisi dengan kelembapan yang lebih rendah (Gautam dkk., 2015).

Kelembapan udara biasanya disebut sebagai kelembapan relatif. Ini didefinisikan sebagai rasio jumlah kelembapan aktual di udara terhadap jumlah kelembapan yang dapat ditampung udara jika udara tersebut jenuh pada suhu tersebut. Kurangnya kelembapan atmosfer dapat menyebabkan tidak adanya penyakit dedaunan di beberapa wilayah geografis, terutama pada kacang-kacangan, seperti antraknosa (*Colletotrichum lindemuthianum*), hawar bakteri (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*). Kacang-kacangan yang ditanam untuk perbenihan di wilayah dengan kelembapan rendah di AS dilakukan untuk menghindari infeksi benih oleh organisme yang membutuhkan kelembapan optimal pada tingkat serangannya (Mehrota dan Aggarwal, 2017).

Kelembapan tinggi pada beberapa tanaman dapat menghambat infeksi patogen. Misalnya penyakit bercak daun yang disebabkan *Cladosporium fulvum* pada bibit tomat Cf/Avr yang mengekspresikan gen Cf dan gen Avr pada kelembapan tinggi memiliki gejala serangan yang lebih rendah dibandingkan dengan bibit tomat yang sensitif (Wang 2005). Sebaliknya pada tanaman kacang arab dengan kondisi kelembapan tanah yang rendah menyebabkan serangan *Rhizoctonia bataticola* yang

menyebabkan busuk kering akar pada tanaman tersebut (Gambar 2). Selain itu, kondisi dan jenis tanah, serta kandungan nutrisi tanah seperti Kalium juga mempengaruhi tingkat keparahan gejala penyakit busuk kering akar (Sinha dkk. 2021).



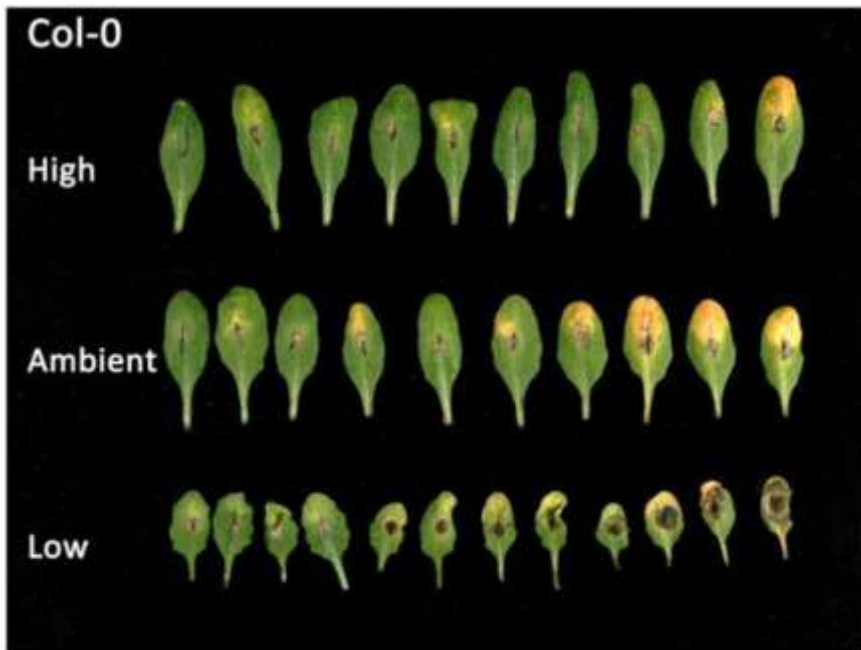
Gambar 7. 2. Respon akar kacang arab terhadap serangan *Rhizoctonia bataticola* di beberapa kultivar pada kondisi kelembapan tanah rendah
(Sumber: Sinha dkk. 2021).

7.2.3 Konsentrasi CO₂

Sejak adanya revolusi industri, konsentrasi CO₂ dan ozon meningkat. Kadar CO₂ diperkirakan akan menjadi dua kali lipat dari kadar praindustri pada tahun 2050. Secara umum, fotosintesis, luas daun, tinggi tanaman, total biomassa dan hasil panen, kandungan gula dan pati, efisiensi penggunaan air, pertumbuhan, dan hasil panen meningkat dengan adanya kadar CO₂ yang lebih tinggi, sebaliknya kadar ozon yang lebih tinggi

akan mempengaruhi tanaman secara negatif. Namun, peningkatan CO₂ bisa saja memberikan dampak negatif terhadap serangan patogen. Hal ini karena peningkatan CO₂ dapat meningkatkan biomassa tanaman sehingga kelembapan daun lebih tinggi yang lebih memudahkan infeksi patogen (Elad, 2014).

Dalam kondisi kadar CO₂ dan suhu yang tinggi, terjadi peningkatan penyakit embun tepung pada zucchini, bercak daun *Alternaria* pada selada, bercak hitam dan bulai pada kemangi, serangan *Allophoma tropica* pada selada dan bercak daun phoma pada tanaman bit. Selain itu, terjadi peningkatan mikotoksin pada berbagai tanaman (Gullino dkk, 2018). Peningkatan kadar CO₂ menyebabkan munculnya gejala embun tepung pada daun dan menurunkan pertumbuhan tanaman serta produksi biomassa labu-labuan (pare, labu air, mentimun, labu kuning, oyong) yang diuji kecuali pare. Paparan intermiten dengan kadar CO₂ yang tinggi menyebabkan penyakit bulai parah pada kelima tanaman labu. Selain itu terjadi peningkatan kepadatan stomata dan trikoma serta lebar pori stomata pada daun tanaman yang terpapar CO₂. Paparan CO₂ juga mempercepat laju fotosintesis, namun terjadi penurunan laju transpirasi, konduktansi stomata, asam salisilat, dan total fenol (Khan dan Rizvi, 2020). Pada tanaman *Arabidopsis*, terjadi peningkatan asam salisilat dan asam jasmonat sebagai respon terhadap serangan patogen ketika kadar CO₂ yang meningkat. Dalam kondisi CO₂ yang lebih rendah, infeksi *Botrytis cinerea* menyebabkan kerusakan jaringan daun pada *Arabidopsis* (Gambar 3) (Zhou dkk, 2019).



Gambar 7. 3. Kondisi daun tanaman Arabidopsis pada tiga konsentrasi CO₂ yang berbeda setelah diinfeksi *Botrytis cinerea* setelah 4 hari perlakuan
(Sumber: Zhou dkk, 2019).

Masalah lainnya yaitu perubahan kadar CO₂ atmosfer juga dapat memengaruhi kekayaan, komposisi, dan struktur komunitas mikroba tanah melalui perubahan alokasi karbon dan eksudasi akar, yang memungkinkan dapat memengaruhi mikrobioma akar tanaman. Efek tersebut juga dapat memengaruhi pertumbuhan dan virulensi patogen tanaman yang ditularkan melalui tanah.

7.2.4 Cahaya

Intensitas dan lamanya durasi cahaya dapat meningkatkan atau menurunkan kerentanan tanaman terhadap infeksi patogen. Intensitas cahaya yang rendah dapat membuat tanaman

mengalami etiolasi sehingga lebih rentan terhadap jamur patogen (misalnya, Botrytis pada tanaman selada atau tomat) dan juga virus; dalam kondisi laboratorium, tanaman dapat disimpan dalam gelap sebelum inokulasi dengan virus. Sebaliknya, peningkatan intensitas cahaya dapat memperburuk gejala beberapa penyakit, seperti bercak daun ramularia pada barley (Agrios, 2024).

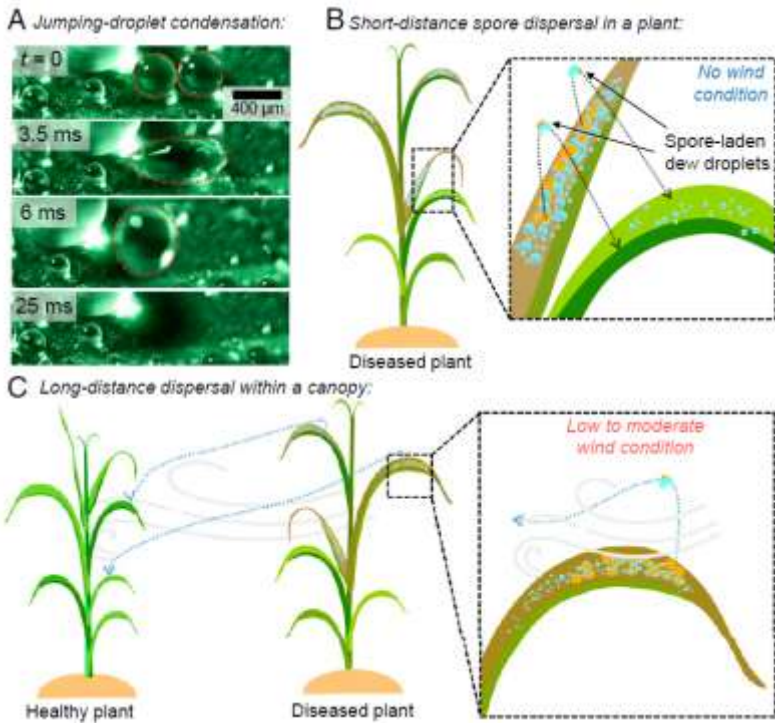
Selain itu, intensitas cahaya yang rendah umumnya meningkatkan kerentanan tanaman terhadap infeksi virus. Misalnya pada tanaman tomat akan terinfeksi oleh virus keriting daun ketika ditanam dalam kondisi intensitas cahaya rendah, yaitu, area yang teduh tidak terkena cahaya matahari, sedangkan di bawah sinar matahari penuh virusnya akan mati (Mehrota dan Aggarwal, 2017). Beberapa penyakit juga disebabkan oleh jamur yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Interaksi antara *Arabidopsis thaliana* dan patogen *Hyaloperonospora arabidopsidis* (Hpa) menunjukkan pembentukan sporulasi Hpa pada *Arabidopsis* pada panjang hari yang berkisar antara 10 hingga 14 jam. Sebaliknya, paparan cahaya yang konstan atau gelap konstan menekan sporulasi. Pada perlakuan dengan paparan terhadap kondisi gelap yang konstan mampu menekan perkecambahan spora, perkembangan miselium, dan pembentukan oospora (Telli dkk, 2020).

7.2.5 Angin dan Hujan

Perubahan iklim dapat memengaruhi tingkat keparahan danjangkauan epidemi penyakit tanaman yaitu disebabkan oleh dua agen alami utama yang terlibat dalam penyebaran patogen, yaitu angin dan hujan. Intensitas frekuensi badai dengan hujan lebat dan angin kencang sebagai akibat dari perubahan iklim dapat sangat meningkatkan penyebaran patogen ke daerah yang baru. Banyak penyakit daun tanaman yang disebarkan patogen oleh inokulum yang terbawa udara atau terbawa percikan air.

Penyakit bercak daun ringan (*Pyrenopeziza brassicae*) pada tanaman lobak yang terjadi di Eropa pada musim gugur kemudian menyebar sampai musim dingin. Penyakit karat daun pada gandum (*P. striiformis*) yang disebabkan oleh spora yang terbawa udara yang awalnya hanya satu spora dapat menghasilkan karat kemudian menyebar ke seluruh tanaman (Agrios, 2024).

Tetesan embun yang terbawa oleh aliran angin yang rendah dapat mendorong spora patogen jamur yang menyebabkan karat daun dari satu daun dan disebarkan ke daun tetangga pada tanaman yang sama atau ke tanaman lainnya (Gambar 7.4) (Mukherjee dkk, 2021). Pengendapan spora pada daun disebabkan oleh tetesan atau percikan yang terus menerus. Penyebaran penyakit oleh angin dan air dapat tergantung pada karakteristik tutupan tanah dan kanopi tanaman. Kekasaran permukaan dan indeks luas daun tajuk mampu mengurangi penyebaran percikan. Durasi hujan yang sangat pendek (misalnya < 2 menit) dapat mengakibatkan penyebaran yang substansial (Madden 1997).



Gambar 7. 4. Penyebaran spora oleh tetesan daun oleh angin
(Sumber: Mukherjee dkk, 2021).

7.3 Pengaruh Praktik Pertanian

7.2.1 Herbisida

Pengaplikasian herbisida merupakan praktik pengelolaan yang dapat mempengaruhi perkembangan patogen dan penyakit dalam berbagai sistem pertanaman. Herbisida mampu mengubah proses fisiologis tanaman sehingga tanaman menjadi rentan terhadap penyakit. Misalnya, herbisida trifluralin menyebabkan pembengkakan dan pecahnya hipokotil pada kedelai, sehingga dapat terjadi penyakit busuk pada pangkal batang yang disebabkan *Fusarium oxysporum*. Beberapa jenis herbisida

lainnya juga dapat menyebabkan penyakit busuk akar pada kedelai oleh patogen *R. solani* (Sanyal dan Shrestha, 2008). Herbisida bekerja pada penyakit tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, stimulasi dan penghambatan terhadap pertumbuhan patogen dan peningkatan atau penurunan kerentanan tanaman inang. Secara tidak langsung, yaitu penurunan atau peningkatan aktivitas mikroba tanah, eliminasi patogen, dan perubahan iklim mikro bagi patogen pada tajuk tanaman (Agrios, 2024).

7.2.2 pH dan Struktur Tanah

Struktur tanah tidak hanya mempengaruhi kapasitas retensi air tanah dan aerasi tanah, namun kondisi tanah yang keras dan padat dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Tanah tipe ini pada kondisi musim hujan, lebih mudah tergenang dan tanaman berpotensi mendapat serangan patogen terutama pada akar (Tarr, 1972).

Beberapa tanaman dapat bertahan pada kondisi tanah dengan alkalinitas atau keasaman yang cukup tinggi, tetapi sebagian besar tumbuh paling baik pada kondisi pH netral. Pada kondisi pH tanah yang tidak sesuai, tanaman dapat terserang oleh penyakit. Misalnya penyakit kudis pada kentang oleh *Streptomyces scabies* yang biasanya berkembang antara pH 5,2 dan 8,0 namun dapat menurun drastis ketika pH tanah di bawah 5,2. Hal ini dapat dilakukan dengan menambahkan sulfur atau asam sulfat pada tanah untuk menurunkan pH. Penyakit akar gada pada tanaman oleh *P. brassicae* cenderung berkembang pada tanah masam. Penyakit ini berkembang paling banyak pada pH sekitar 5,7 dan menurun drastis jika pH dinaikkan bahkan sama sekali tidak dapat berkembang pada pH 7,8 (Mehrotra dan Aggarwal, 2017).

7.2.3 Nutrisi Tanaman

Nutrisi tanaman dapat memengaruhi laju pertumbuhan dan kesiapan tanaman untuk mempertahankan diri terhadap serangan patogen. Kandungan nutrisi yang tidak sesuai dapat berdampak terhadap serangan patogen pada tanaman inang.

Nitrogen. Nitrogen memiliki peran penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Aplikasi pupuk nitrogen melebihi dosis dapat menyebabkan penyakit untuk patogen biotropik seperti embun tepung dan karat serta patogen nekrotropik seperti blas pada padi, bahkan bercak daun pada gandum.

Fosfor. Fosfor (P) sangat penting bagi semua sel karena merupakan molekul penting bagi asam nukleat, fosfoprotein, fosfolipid, dan molekul energi seperti ATP. Fosfor berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Misalnya pada gandum, tingkat keparahan serangan hama yang disebabkan oleh *Gaeumannomyces graminis* menurun seiring dengan peningkatan aplikasi fosfor, selain itu juga mampu menekan gejala penyakit karat daun pada gandum. Pemberian garam fosfat dibasic dan tribasic dapat menginduksi perlindungan sistemik terhadap Antraknosa pada mentimun yang disebabkan oleh *Colletotrichum lagenarium* (Mehrota dan Aggarwal, 2017).

Kalium. Kalium berperan dalam aktivitas metabolisme tanaman. Kalium mampu mengurangi kerentanan tanaman terhadap patogen. Pemberian kalium mampu mengurangi keparahan berbagai penyakit, termasuk karat pada gandum, penyakit busuk pada daun tomat, dan bercak daun serta busuk batang jagung. Meskipun dalam beberapa kondisi, jumlah kalium dengan dosis tertentu meningkatkan keparahan penyakit blas pada padi atau bercak daun pada jagung.

Kalsium. Sebagian besar kalsium terdapat pada dinding sel tanaman dan terkait dengan senyawa pektin. Dengan ini, pengaplikasian kalsium mampu mengurangi keparahan beberapa penyakit yang disebabkan oleh patogen akar atau batang, seperti jamur *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, atau *Botrytis*, dan layu *Fusarium oxysporum* (Agrios, 2024).

Silikon. Silikon merupakan salah satu unsur yang paling melimpah di litosfer dan sebagian besar tanah mengandung unsur tersebut dalam jumlah yang cukup banyak. Pemberian silikon dapat menekan penyakit pada tanaman labu yang disebabkan oleh patogen yang berasal dari daun dan tanah, serta mengurangi kerentanan tanaman padi terhadap sejumlah besar patogen. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa silikon dapat mengaktifkan mekanisme pertahanan tanaman. Misalnya Resistensi tanaman padi terhadap *Magnaporthe grisea* yang menunjukkan akumulasi senyawa antimikroba di lokasi infeksi yaitu berupa fitoaleksin (Mehrota dan Aggarwal, 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios G. 2024. *Plant Pathology* 6th Edition. Amsterdam: Academic Press
- Elad Y, Pertot I. 2014. Climate Change Impacts on Plant Pathogens and Plant Diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28:99–139. DOI: 10.1080/15427528.2014.865412
- Gautam HR, Bhardwaj ML Kumar R. 2013. Climate change and its impact on plant diseases. *Current Science*, 105 (12), 1685–1691. <http://www.jstor.org/stable/24099750>
- Gullino ML, Pugliese M, Gilardi G, Garibaldi A. 2018. Effect of increased CO₂ and temperature on plant diseases: a critical appraisal of results obtained in studies carried out under controlled environment facilities. *Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0125-8>
- Khan MR, Rizvi TF. 2020. Effect of elevated levels of CO₂ on powdery mildew development in five cucurbit species. *Sci Rep* 10, 4986. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61790-w>
- Madden LV. 1997. Effects of rain on splash dispersal of fungal pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19:2, 225–230. DOI: 10.1080/07060669709500557
- Mehrota RS, Aggarwal A. 2017. *Plant Pathology Second Edition*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Mukherjee R, Gruszcwski HA, Bilyeu LT, Schmale DG, Boreyko JB. 2021. Synergistic dispersal of plant pathogen spores by jumping-droplet condensation and wind, *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 118 (34) e2106938118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2106938118>

- Sanyal D, Shrestha A. 2008. Direct Effect of Herbicides on Plant Pathogens and Disease Development in Various Cropping Systems. *Weed Science*, 56(1), 155–160. doi:10.1614/ws-07-081.1
- Sinha R, Irulappan V, Patil BS. dkk. 2021. Low soil moisture predisposes field-grown chickpea plants to dry root rot disease: evidence from simulation modeling and correlation analysis. *Sci Rep* 11, 6568. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85928-6>
- Tarr SAJ. 1972. *Principles of Plant Pathology* . London: Red Globe Press London.
- Telli O, Jimenez-Quiros C, McDowell JM, Tör M. 2020. Effect of light and darkness on the growth and development of downy mildew pathogen *Hyaloperonospora arabidopsidis*. *Plant Pathology*. doi:10.1111/ppa.13207
- Zhou Y, Van Leeuwen SK, Pieterse CMJ, dkk. 2019. Effect of atmospheric CO₂ on plant defense against leaf and root pathogens of *Arabidopsis*. *Eur J Plant Pathol*, 154, 31–42. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01706-1>

BAB 8

GENETIKA PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Niken Nur Kasim

8.1 Pendahuluan

Genetika penyakit tumbuhan adalah cabang ilmu yang mempelajari peran dan pengaruh faktor genetik dalam interaksi antara tanaman dan patogen penyebab penyakit. Pemahaman mengenai genetika penyakit tumbuhan mencakup studi tentang gen, keragaman genetik, dan pewarisan sifat pada tumbuhan, yang sangat penting dalam mengelola kesehatan tanaman dan meningkatkan ketahanan terhadap patogen (Hartl & Jones, 2012).

Peran genetika dalam interaksi antara tanaman dan patogen sangat signifikan. Genetika menentukan bagaimana tanaman bereaksi terhadap serangan patogen, termasuk kemampuan tanaman untuk mengenali dan melawan infeksi. Misalnya, tanaman dengan keragaman genetik yang tinggi cenderung memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap penyakit dibandingkan dengan tanaman yang memiliki gen seragam, yang lebih rentan terhadap epidemi penyakit (Agrios, 2005).

Implikasi genetika dalam pengelolaan penyakit tanaman juga sangat penting. Melalui seleksi genetik dan rekayasa genetika, varietas tanaman baru yang lebih tahan terhadap penyakit dapat dikembangkan, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan meningkatkan

produktivitas pertanian. Sebagai contoh, teknologi genetika telah digunakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit melalui manipulasi genetik, menghasilkan tanaman yang lebih tahan terhadap organisme pengganggu tanaman (Subandiyah, 2015).

8.2 Variabilitas Genetik pada Patogen

Variabilitas genetik pada patogen merupakan faktor utama dalam dinamika penyakit tumbuhan. Patogen dapat mengalami perubahan genetik yang memungkinkan mereka beradaptasi terhadap lingkungan, mengatasi mekanisme pertahanan tanaman, dan mengembangkan resistensi terhadap fungisida atau agen pengendali lainnya.

8.2.1 Sumber Variabilitas Genetik pada Patogen

Variabilitas ini dapat berasal dari beberapa mekanisme, termasuk mutasi, rekombinasi genetik, dan transfer gen horizontal. Mutasi adalah perubahan pada materi genetik yang dapat terjadi secara spontan atau akibat tekanan seleksi, seperti penggunaan fungisida secara berulang. Mutasi dapat menghasilkan strain patogen yang lebih virulen atau resisten terhadap pengendalian kimia dan biologis (Anderson et al., 2010).

Rekombinasi terjadi ketika materi genetik dari dua individu patogen berbeda bercampur, menghasilkan keturunan dengan kombinasi gen baru. Proses ini umum terjadi pada patogen yang bereproduksi secara seksual, seperti *Phytophthora infestans*, agens penyebab penyakit busuk daun pada kentang (Judelson, 1997).

Transfer gen horizontal adalah perpindahan materi genetik antar organisme tanpa hubungan keturunan langsung. Proses ini sering terjadi pada bakteri dan jamur patogen serta berperan dalam penyebaran gen virulensi dan resistensi terhadap fungisida (Friesen et al., 2006).

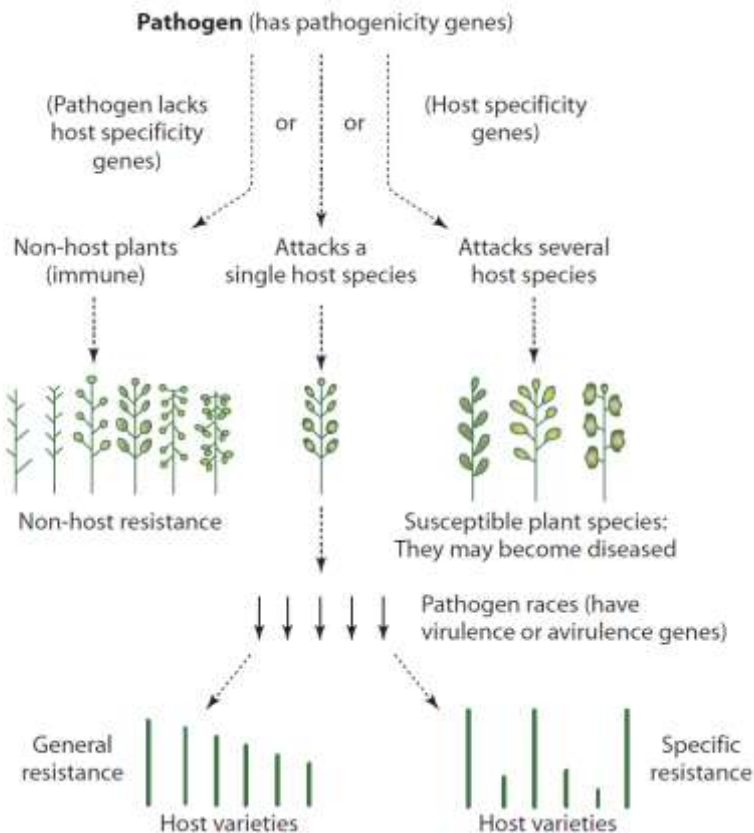
8.2.2 Strain, Ras, dan Biotipe Patogen

Variabilitas genetik pada patogen sering kali diklasifikasikan dalam bentuk strain, ras, atau biotipe, yang menggambarkan perbedaan dalam virulensi dan patogenisitas:

1. *Strain* : Varian genetik dalam spesies patogen yang memiliki perbedaan dalam karakteristik fisiologis dan virulensi.
2. *Ras* : Kelompok patogen yang dapat menginfeksi tanaman dengan genotipe tertentu tetapi tidak pada yang lain, seperti ras *Puccinia graminis* pada gandum.
3. *Biotipe*: Perbedaan fisiologis dalam populasi patogen yang mungkin berkaitan dengan resistensi terhadap pestisida atau perubahan metabolisme.

8.3 Genetika Resistensi Tanaman terhadap Penyakit

Resistensi tanaman terhadap penyakit adalah kemampuan tanaman untuk bertahan dari serangan patogen, yang dikendalikan oleh faktor genetik. Pemahaman tentang genetika resistensi sangat penting dalam pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas yang lebih tahan terhadap penyakit, mengurangi penggunaan pestisida, serta meningkatkan hasil pertanian yang berkelanjutan (Dangl et al., 2013).



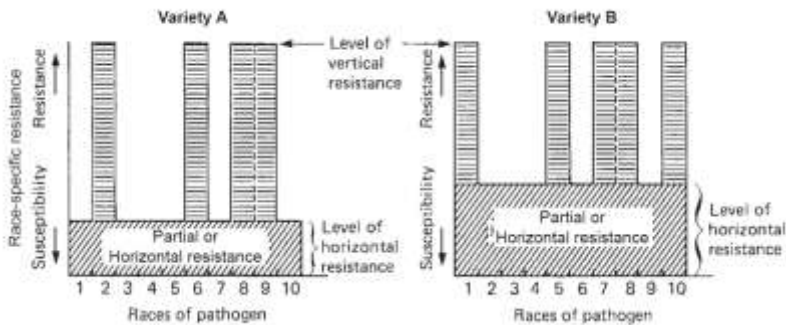
Gambar 8. 1. Interaksi Umum antara patogen penyebab penyakit dengan tanaman inang dan tanaman bukan inang (Agrios, 2005).

8.3.1 Tipe Resistensi: Vertikal vs Horizontal

Resistensi tanaman terhadap penyakit dapat dikategorikan menjadi dua tipe utama: resistensi vertikal (monogenik) dan resistensi horizontal (poligenik). Perbedaan antara kedua tipe ini memiliki implikasi besar dalam strategi pemuliaan dan pengelolaan penyakit tanaman (Poland et al., 2009).

1. Resistensi Vertikal (Monogenik)

- a. Dikendalikan oleh satu atau beberapa gen utama yang disebut gen R (*resistance*).
 - b. Spesifik terhadap ras patogen tertentu (*gene-for-gene interaction*). Rentan terhadap perubahan patogen akibat tekanan seleksi, sehingga sering mengalami "*breakdown*" dalam waktu singkat. Contoh: Gen Rps1 pada kedelai yang memberikan resistensi terhadap *Phytophthora sojae* (Tyler, 2002).
2. Resistensi Horizontal (Poligenik)
- a. Dikendalikan oleh banyak gen dengan efek kecil *Quantitative Resistance Loci* (QRL).
 - b. Tidak spesifik terhadap ras patogen tertentu dan cenderung lebih stabil dalam jangka panjang.
 - c. Lebih sulit dipetakan dan dikembangkan melalui pemuliaan dibandingkan dengan resistensi monogenik. Contoh: Ketahanan gandum terhadap penyakit karat yang dikendalikan oleh beberapa QRL (Singh et al., 2011).

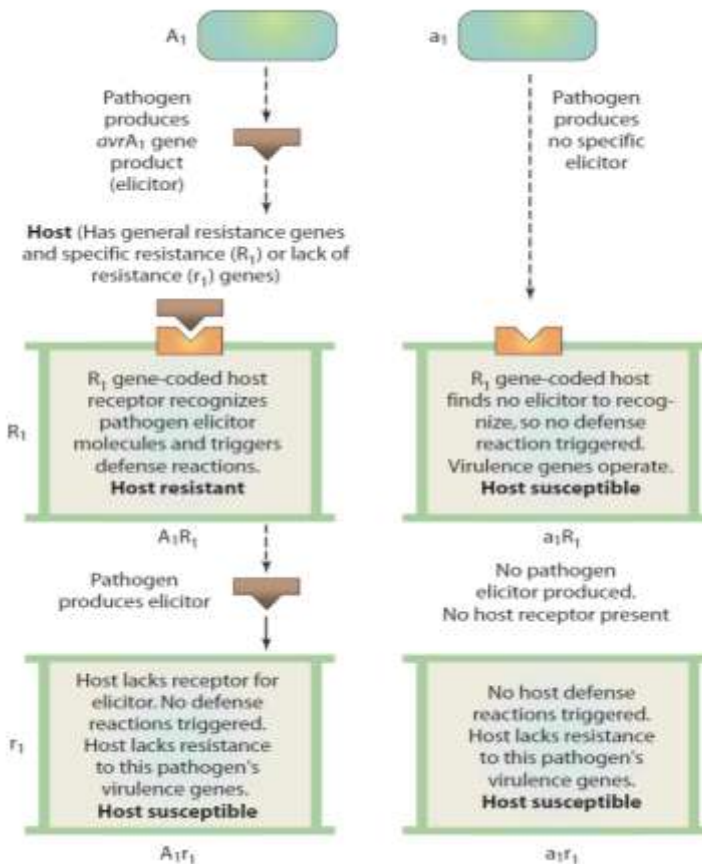


Gambar 8. 2. Model tingkat ketahanan horizontal dan vertikal terhadap dua varietas tanaman terhadap 10 ras patogen tanaman (Agrios, 2005).

8.3.2 Gen R dan Gen Avr dalam Interaksi Tanaman-Patogen

Dalam sistem pertahanan tanaman, gen R (*resistance*) pada tanaman dan gen Avr (*avirulence*) pada patogen memainkan peran penting dalam menentukan apakah suatu tanaman dapat mengenali dan melawan serangan patogen. Konsep ini pertama

kali dijelaskan dalam model gene-for-gene yang dikemukakan oleh Flor (1971) berdasarkan interaksi antara tanaman rami (*Linum usitatissimum*) dan jamur *Melampsora lini*.



Gambar 8. 3. Interaksi dasar antara patogen yang memiliki gen avirulen (A)/virulen (a) dengan tanaman inang yang memiliki gen tahan (R) / rentan (r) terhadap hubungan konsep *a gene for gene* dan bentuk akhir dari suatu interaksi (Agrios, 2005).

Gen R pada Tanaman adalah gen yang bertanggung jawab atas pengenalan patogen dan aktivasi respons pertahanan tanaman. Gen ini biasanya mengkodekan protein reseptor yang mampu mengenali molekul yang dihasilkan oleh patogen, terutama produk dari gen Avr.

Klasifikasi Gen R berdasarkan Mekanisme Kerjanya:

- a. Reseptor Sitoplasmik (NBS-LRR, Nucleotide-Binding Site-Leucine-Rich Repeat). Contoh: Gen RPS2 pada Arabidopsis yang mengenali *Pseudomonas syringae* (Bent et al., 1994). Mekanisme: Protein ini terletak di sitoplasma dan berperan dalam mendeteksi efektor patogen yang telah masuk ke dalam sel tanaman.
- b. Reseptor Membran (*Pattern Recognition Receptors*, PRRs). Contoh: FLS2 yang mengenali flagellin bakteri (Gómez-Gómez & Boller, 2000). Mekanisme: Berada pada membran plasma dan mendeteksi pola molekuler patogen (PAMPs, Pathogen-Associated Molecular Patterns).
- c. Protein Kinase yang Berperan dalam Jalur Sinyal. Contoh: Xa21 pada padi yang memberikan ketahanan terhadap *Xanthomonas oryzae* (Song et al., 1995). Mekanisme: Mengaktifkan jalur sinyal resistensi setelah mendeteksi keberadaan patogen.

Mekanisme Aktivasi Gen R, Ketika gen R mengenali produk dari gen Avr patogen, tanaman akan mengaktifkan respon hipersensitivitas (*Hypersensitive Response*, HR) yang menyebabkan kematian sel di sekitar titik infeksi. Hal ini bertujuan untuk membatasi penyebaran patogen (Jones & Dangl, 2006).

Gen Avr pada Patogen adalah gen pada patogen yang menghasilkan efektor, yaitu molekul yang berinteraksi dengan tanaman dan dapat mempengaruhi mekanisme pertahanan

tanaman. Jika efektor ini dikenali oleh produk gen R tanaman, maka terjadi aktivasi pertahanan tanaman.

Fungsi dan Peran Gen Avr:

- a. Memfasilitasi Infeksi Patogen. Beberapa gen Avr mengkodekan protein yang membantu patogen menekan sistem imun tanaman, memungkinkan mereka berkembang di dalam jaringan tanaman.
- b. Dapat Dikenali oleh Gen R Tanaman. Jika produk gen Avr dikenali oleh protein R tanaman, tanaman akan memicu respons pertahanan, menyebabkan kegagalan infeksi.
- c. Dapat Bermutasi untuk Menghindari Deteksi. Patogen dapat kehilangan atau memodifikasi gen Avr untuk menghindari pengenalan oleh tanaman, menyebabkan ketahanan tanaman menjadi tidak efektif.

Contoh Gen Avr pada Berbagai Patogen:

- a. Bakteri: AvrPto pada *Pseudomonas syringae*, yang dikenali oleh Pto pada tomat (Tang et al., 1996).
- b. Jamur: Avr2 pada *Cladosporium fulvum*, yang dikenali oleh Cf-2 pada tomat (Joosten et al., 1994).
- c. Oomycetes: Avr3a pada *Phytophthora infestans*, yang dikenali oleh R3a pada kentang (Armstrong et al., 2005).

8.4 Mekanisme Resistensi Tanaman terhadap Patogen

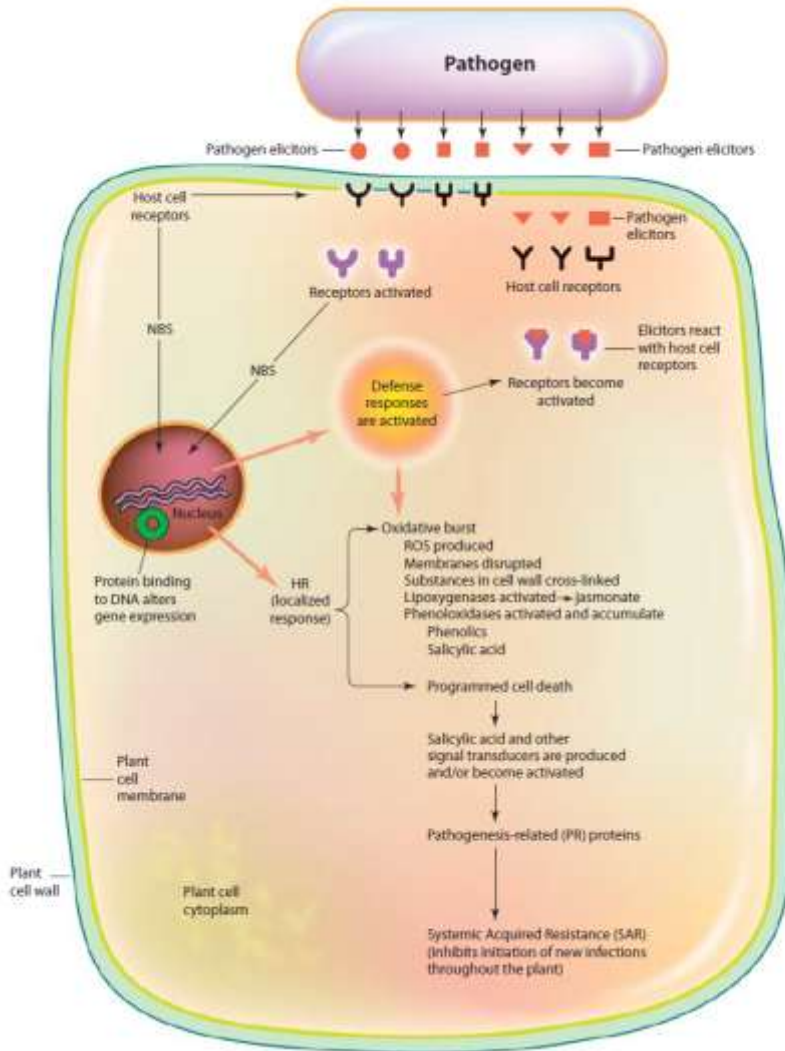
Tanaman telah mengembangkan berbagai mekanisme pertahanan untuk melawan patogen, baik melalui respons cepat terhadap infeksi maupun penguatan struktural terhadap serangan. Beberapa mekanisme utama yang digunakan tanaman dalam resistensi terhadap patogen mencakup respons hipersensitivitas (*Hypersensitive Response*, HR), RNA silencing, dan lignifikasi.

8.4.1 Respons Hipersensitivitas (Hypersensitive Response, HR)

Respons hipersensitivitas adalah salah satu mekanisme pertahanan utama yang digunakan oleh tanaman untuk membatasi penyebaran patogen. Mekanisme ini terutama terjadi pada resistensi yang bergantung pada gen R, di mana tanaman mendeteksi keberadaan patogen yang memiliki gen Avr yang sesuai.

Mekanisme Hipersensitivitas

- a. Pengenalan patogen. Tanaman mendeteksi patogen melalui interaksi antara protein R (Resistance) dan protein Avr (Avirulence) dari patogen.
- b. Produksi spesies oksigen reaktif (ROS, Reactive Oxygen Species). Sel tanaman yang terinfeksi menghasilkan H_2O_2 dan superoksida (O_2^-) yang merusak sel patogen dan memicu sinyal pertahanan (Torres et al., 2006).



Gambar 8. 4. Interaksi inang-patogen yang tidak kompatibel: Elisitor dari patogen berinteraksi dengan reseptor sel tumbuhan. Transduksi sinyal mengaktifkan respons hipersensitif (pertahanan inang) yang mengarah pada kematian sel terprogram dan ketahanan sistemik (SAR).

- c. Kematian sel terprogram (Programmed Cell Death, PCD). Sel tanaman yang terinfeksi akan mengalami kematian sel terprogram untuk mencegah penyebaran patogen ke jaringan yang lebih luas (Coll et al., 2011).
- d. Induksi sinyal sistemik. HR juga mengaktifkan resistensi sistemik terinduksi (Systemic Acquired Resistance, SAR), yang meningkatkan ketahanan terhadap infeksi berikutnya di seluruh tanaman melalui jalur Salicylic Acid (SA) (Durrant & Dong, 2004).

Contoh HR dalam Resistensi Tanaman, yaitu Gen RPS2 pada *Arabidopsis* yang mengenali *Pseudomonas syringae* dan mengaktifkan HR (Axtell & Staskawicz, 2003). Gen N pada tembakau yang memberikan ketahanan terhadap *Tobacco mosaic virus* (TMV) melalui mekanisme HR (Whitham et al., 1994).

8.4.2 RNA Silencing sebagai Mekanisme Resistensi terhadap Virus

RNA silencing adalah mekanisme pertahanan tanaman terhadap patogen berbasis RNA, terutama virus. Proses ini berfungsi sebagai sistem kekebalan molekuler yang menargetkan dan menghancurkan RNA virus untuk mencegah replikasi dan penyebarannya (Baulcombe, 2004).

Mekanisme RNA *Silencing* dalam Resistensi Tanaman:

- a. Deteksi RNA virus. Ketika virus menginfeksi tanaman, ia memperkenalkan RNA untai ganda (dsRNA) sebagai bagian dari siklus replikasinya.
- b. Pemrosesan oleh Dicer-like enzymes (DCLs). Enzim Dicer-like (DCL) tanaman memotong dsRNA virus menjadi potongan kecil yang disebut small interfering RNA (siRNA) (Hamilton & Baulcombe, 1999).
- c. Pembentukan kompleks RISC (RNA-Induced Silencing Complex). siRNA akan bergabung dengan Argonaute proteins (AGO) untuk membentuk kompleks RISC, yang berfungsi

untuk mengenali dan menghancurkan RNA virus yang homolog.

- d. Penyebaran sinyal RNA silencing. RNA silencing dapat menyebar ke jaringan lain melalui siRNA mobile, memberikan perlindungan sistemik terhadap infeksi virus lebih lanjut (Voinnet, 2005).

Contoh RNA Silencing dalam Resistensi Tanaman seperti Resistensi alami pada tanaman *Nicotiana benthamiana* terhadap Potato virus X melalui RNA silencing (Brigneti et al., 1998). Penerapan RNA silencing dalam rekayasa genetika tanaman, seperti pembuatan pisang transgenik yang resisten terhadap Banana Streak Virus (BSV) (Shepherd et al., 2007).

8.4.3 Lignifikasi sebagai Mekanisme Pertahanan Struktural

Lignifikasi adalah proses deposisi lignin di dinding sel tanaman sebagai respons terhadap infeksi patogen. Lignin adalah polimer fenolik yang memberikan kekakuan dan ketahanan terhadap degradasi oleh enzim patogen, sehingga membatasi infeksi dan penyebaran patogen.

Mekanisme Lignifikasi dalam Resistensi Tanaman:

- a. Peningkatan ekspresi enzim pembentuk lignin. Setelah deteksi patogen, tanaman meningkatkan produksi enzim fenilalanin amonia-liase (PAL), peroksidase (POX), dan laccase yang berperan dalam biosintesis lignin (Miedes et al., 2014).
- b. Penguatan dinding sel. Lignin menghambat penetrasi hifa patogen dan memperkuat jaringan vaskular tanaman, terutama terhadap patogen nekrotrof seperti *Fusarium* dan *Botrytis* (Bhuiyan et al., 2009).
- c. Pembentukan penghalang fisik untuk patogen. Tanaman menghasilkan papillae yang mengandung lignin di lokasi infeksi untuk membatasi penyebaran patogen (Underwood, 2012).

Contoh Lignifikasi dalam Resistensi Tanaman seperti Peningkatan lignifikasi pada gandum yang resisten terhadap *Fusarium graminearum* (Ma et al., 2020). Tanaman padi dengan resistensi tinggi terhadap *Xanthomonas oryzae* memiliki ekspresi lignifikasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas yang rentan (Chen et al., 2018). Resistensi tanaman terhadap penyakit adalah kemampuan tanaman untuk bertahan dari serangan patogen, yang dikendalikan oleh faktor genetik. Pemahaman tentang genetika.

8.5 Implikasi dalam Manajemen Penyakit Tanaman

Pemahaman tentang genetika patogen dan evolusinya memiliki implikasi yang signifikan dalam pengelolaan penyakit tanaman. Perubahan genetik pada patogen dapat menyebabkan resistensi terhadap fungisida, mengatasi mekanisme pertahanan tanaman, dan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berubah. Oleh karena itu, strategi pengelolaan penyakit harus dirancang dengan mempertimbangkan faktor genetik dan dinamika evolusi patogen.

8.5.1 Prinsip Pengelolaan Penyakit Berbasis Genetika

Integrasi Pendekatan Genetik dan Kultur Teknik. Pendekatan genetika dalam pengelolaan penyakit bertujuan untuk mengurangi keberhasilan infeksi patogen dengan. Sebagai contoh seperti

- a. Pemanfaatan varietas tahan: Menggunakan tanaman dengan gen resistensi (R) untuk mengurangi infeksi.
- b. Diversifikasi genetik: Menanam berbagai varietas dalam suatu lahan untuk menghambat seleksi patogen yang lebih virulen.

- c. Rotasi tanaman: Mengurangi inokulum patogen yang bertahan di lahan melalui pergantian tanaman inang.

Monitoring Variabilitas Genetik Patogen. Pemantauan perubahan genetik dalam populasi patogen penting untuk mencegah munculnya strain virulen baru. Teknologi seperti PCR, sekuensing genom, dan marker molekuler digunakan untuk mendeteksi perubahan genetik yang dapat mempengaruhi virulensi patogen atau resistensi terhadap fungisida.

8.5.2 Strategi Pengelolaan Resistensi Patogen terhadap Fungisida

Patogen dapat mengembangkan resistensi terhadap fungisida melalui mutasi genetik, peningkatan ekspresi enzim degradasi, atau perubahan target enzim fungisida. Oleh karena itu, strategi berikut dapat digunakan untuk mengelola resistensi patogen terhadap fungisida:

- a. Rotasi Fungisida dengan Mode Aksi Berbeda. Menggunakan fungisida dengan mekanisme kerja berbeda untuk mengurangi tekanan seleksi terhadap patogen. Contoh: Rotasi fungisida berbasis strobilurin (QoI inhibitors) dengan fungisida berbasis triazole (DMI inhibitors) dalam pengelolaan *Blumeria graminis* (Lucas et al., 2015).
- b. Aplikasi Fungisida Berdasarkan Monitoring Epidemiologi. Pemantauan populasi patogen sebelum aplikasi fungisida dapat mengurangi risiko berkembangnya resistensi. Contoh: Pendekatan berbasis DSS (Decision Support System) dalam pengelolaan *Phytophthora infestans* pada kentang untuk mengoptimalkan waktu aplikasi fungisida (Skelsey et al., 2010).
- c. Penggunaan Kombinasi Fungisida. Aplikasi fungisida dengan lebih dari satu mekanisme kerja secara bersamaan dapat menekan munculnya strain patogen yang resisten. Contoh: Penggunaan campuran azoxystrobin dan difenoconazole

dalam pengendalian *Alternaria solani* pada tomat (Pasche et al., 2005)

8.5.3. Penggunaan Agen Hayati dan Pendekatan Berbasis Ekologi

Pendekatan ekologis dalam pengelolaan penyakit tanaman dapat mengurangi ketergantungan terhadap fungisida dan meningkatkan ketahanan tanaman melalui metode berikut.

Penggunaan Mikroorganisme Antagonis. Mikroorganisme seperti *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., dan *Pseudomonas* spp. dapat menghambat pertumbuhan patogen dengan berbagai mekanisme kompetisi nutrisi, produksi enzim litik dan induksi resistensi sistemik (ISR) pada tanaman. Contoh: *Trichoderma harzianum* menghasilkan enzim chitinase yang mendegradasi dinding sel jamur patogen seperti *Rhizoctonia solani* (Harman et al., 2004).

Pengelolaan Tanaman dan Lingkungan. Praktik budidaya yang mengurangi tekanan penyakit meliputi: Peningkatan kesehatan tanah melalui pupuk organik dan mikroba bermanfaat, Pengurangan kelembaban daun dengan sistem irigasi tetes untuk mencegah penyebaran patogen foliar dan Penggunaan mulsa organik untuk menghambat patogen tanah seperti *Fusarium* spp.

8.6 Studi Kasus dalam Fitopatologi

Dalam memahami genetika penyakit tanaman dan strategi manajemen yang efektif, studi kasus dari berbagai penyakit tanaman utama dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam. Berikut adalah beberapa studi kasus yang menggambarkan bagaimana interaksi genetik antara tanaman

dan patogen memengaruhi epidemiologi penyakit serta strategi pengelolaannya.

1. Studi Kasus: Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Padi (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*)
Hawar daun bakteri padi (BLB) yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* adalah salah satu penyakit utama pada padi di Asia dan Afrika. Penyakit ini dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 50% dalam kondisi yang parah. BLB menunjukkan interaksi gen-for-gene antara gen Xa pada padi dan gen Avr pada bakteri. Mekanisme Resistensi: Gen resistensi Xa21 telah diidentifikasi sebagai gen R yang mengenali efektor AvrXa21 dari patogen dan menginduksi respons hipersensitivitas (HR) untuk menghentikan infeksi (Song et al., 1995). Strategi Pengelolaan: Penggunaan varietas tahan seperti IRBB21, rotasi tanaman, serta aplikasi bakteri endofit sebagai agen biokontrol telah digunakan untuk mengurangi dampak BLB (Mew et al., 1993).
2. Studi Kasus: Penyakit Karat Batang Gandum (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)
Penyakit karat batang pada gandum, yang disebabkan oleh *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, merupakan ancaman utama bagi produksi gandum global. Strain virulen baru seperti Ug99 telah mengatasi sebagian besar gen resistensi yang sebelumnya efektif. Mekanisme Resistensi: Gen Sr31 yang berasal dari *Secale cereale* awalnya memberikan ketahanan terhadap karat batang, tetapi Ug99 mampu mengatasi resistensi ini (Singh et al., 2011). Strategi Pengelolaan: Pyramiding beberapa gen resistensi (Sr24, Sr26, Sr50), pemantauan strain patogen, serta penerapan sistem peringatan dini berbasis data genomik telah membantu mengelola penyakit ini (Pretorius et al., 2000).
3. Studi Kasus: Penyakit Busuk Pangkal Batang Kakao (*Phytophthora palmivora*)

Busuk pangkal batang pada kakao yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora* merupakan penyakit utama di banyak negara produsen kakao. Infeksi dapat menyebabkan kematian tanaman dan kehilangan hasil yang signifikan. Mekanisme Resistensi: Penelitian menunjukkan bahwa varietas tahan memiliki ekspresi tinggi dari gen yang terlibat dalam jalur jasmonat dan lignifikasi (Nyadanu et al., 2013). Strategi Pengelolaan: Penggunaan fungisida berbasis tembaga, aplikasi agen hayati seperti *Trichoderma*, dan pemuliaan varietas dengan ketahanan berbasis quantitative trait loci (QTL) menjadi strategi utama dalam pengendalian penyakit ini (Guest, 2007).

4. Studi Kasus: Penyakit Layu *Fusarium* pada Pisang (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*)

Penyakit layu *Fusarium* atau penyakit Panama yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) TR4 telah menjadi ancaman besar bagi produksi pisang global, terutama pada kultivar Cavendish yang rentan. Mekanisme Resistensi: Resistensi alami ditemukan pada beberapa kultivar pisang liar yang memiliki mekanisme berbasis lignifikasi dan ekspresi gen PR (pathogenesis-related) (Ploetz, 2015). Strategi Pengelolaan: Rotasi tanaman tidak efektif karena spora *Fusarium* dapat bertahan di tanah selama bertahun-tahun. Pendekatan utama adalah pemuliaan tanaman untuk ketahanan serta aplikasi biofungisida berbasis mikroba antagonis (Dita et al., 2018).

8.7 Kesimpulan

Genetika penyakit tumbuhan merupakan bidang yang sangat penting dalam memahami interaksi antara tanaman dan patogen. Dengan memahami mekanisme genetik yang mendasari

resistensi tanaman serta evolusi patogen, strategi pengelolaan penyakit tanaman dapat dikembangkan secara lebih efektif.

Variabilitas genetik dalam populasi patogen menjadi tantangan utama dalam pengendalian penyakit, karena dapat menyebabkan munculnya strain patogen baru yang lebih virulen. Namun, dengan pendekatan genetika, seperti pemuliaan tanaman untuk ketahanan, pemanfaatan gen resistensi (R genes), serta pengelolaan berbasis ekologi, risiko kerugian akibat penyakit tanaman dapat diminimalkan.

Interaksi genetik antara tanaman dan patogen berperan dalam menentukan hasil akhir infeksi. Konsep *gen-for-gene* menunjukkan bagaimana tanaman mengenali dan merespons serangan patogen melalui sistem kekebalan yang kompleks, termasuk mekanisme hipersensitivitas, RNA silencing, dan lignifikasi. Selain itu, evolusi dan adaptasi patogen, seperti mutasi dan rekombinasi genetik, menuntut pengembangan strategi pengelolaan yang dinamis dan berkelanjutan.

Penerapan prinsip-prinsip genetika dalam manajemen penyakit tanaman memiliki implikasi besar dalam pertanian modern. Melalui studi kasus berbagai penyakit utama seperti hawar daun bakteri pada padi, karat batang gandum, dan layu *Fusarium* pada pisang, dapat dilihat bahwa pendekatan berbasis genetika sangat berperan dalam strategi pengendalian penyakit. Ke depan, integrasi antara genetika, bioteknologi, dan praktik pertanian berkelanjutan akan semakin penting dalam menjawab tantangan perubahan iklim dan peningkatan ketahanan pangan global.

DAFTAR PUSTAKA

Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.

- Anderson, J. B., Wickens, C., Khan, M. A., Cowen, L. E., Federspiel, N., & Jones, T. (2010). Intra- and interspecific diversity in fungi: Implications for species recognition and virulence. *Molecular Ecology*, 19(1), 23-35.
- Armstrong, M. R., Whisson, S. C., Pritchard, L., Bos, J. I., Venter, E., Avrova, A. O., ... & Birch, P. R. (2005). An Avr3a effector of *Phytophthora infestans* inhibits host cell death induced by pathogen recognition. *The EMBO Journal*, 24(19), 3933-3945.
- Axtell, M. J., & Staskawicz, B. J. (2003). Initiation of RPS2-specified disease resistance in *Arabidopsis* is coupled to the AvrRpt2-directed elimination of RIN4. *Cell*, 112(3), 369-377.
- Barrett, L. G., Kniskern, J. M., Bodenhausen, N., Zhang, W., & Bergelson, J. (2009). Continued host-pathogen coevolution in a plant resistance gene system. *Nature*, 460(7251), 976-979.
- Baulcombe, D. (2004). RNA silencing in plants. *Nature*, 431(7006), 356-363.
- Bent, A. F., Kunkel, B. N., Dahlbeck, D., Brown, K. L., Schmidt, R., Giraudat, J., ... & Staskawicz, B. J. (1994). RPS2 of *Arabidopsis thaliana*: A leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes. *Science*, 265(5180), 1856-1860.
- Bhuiyan, N. H., Selvaraj, G., Wei, Y., & King, J. (2009). Role of lignification in plant defense. *Plant Signaling & Behavior*, 4(2), 158-159.
- Borges, F., Martienssen, R. A., & Martienssen, R. A. (2017). The expanding world of small RNAs in plants. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 18(3), 245-256.

- Brown, J. K. M. (2015). Durable resistance of crops to disease: A Darwinian perspective. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 513-539.
- Brown, J. K. M., & Rant, J. C. (2015). Fitness costs and trade-offs of disease resistance and their consequences for breeding arable crops. *Plant Pathology*, 64(1), 36-44.
- Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2-14.
- Chisholm, S. T., Coaker, G., Day, B., & Staskawicz, B. J. (2006). Host-microbe interactions: Shaping the evolution of the plant immune response. *Cell*, 124(4), 803-814.
- Coll, N. S., Epple, P., & Dangl, J. L. (2011). Programmed cell death in the plant immune system. *Cell Death & Differentiation*, 18(8), 1247-1256.
- Cools, H. J., & Fraaije, B. A. (2013). Update on mechanisms of azole resistance in *Zymoseptoria tritici*. *Pest Management Science*, 69(2), 150-155.
- Dangl, J. L., Horvath, D. M., & Staskawicz, B. J. (2013). Pivoting the plant immune system from dissection to deployment. *Science*, 341(6147), 746-751.
- Dangl, J. L., Horvath, D. M., & Staskawicz, B. J. (2013). Plant disease resistance genes. *Nature*, 411(6839), 826-833.
- Dita, M. A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I. W., Souza, M. T., & Kema, G. H. J. (2018). A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. *Plant Pathology*, 67(4), 661-674.
- Durrant, W. E., & Dong, X. (2004). Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 185-209.

- Flor, H. H. (1971). Current status of the gene-for-gene concept. *Annual Review of Phytopathology*, 9(1), 275-296.
- Friesen, T. L., Stukenbrock, E. H., Liu, Z., Meinhardt, S., Ling, H., & Faris, J. D. (2006). Emergence of a new disease as a result of interspecific virulence gene transfer. *Nature Genetics*, 38(8), 953-956.
- Gómez-Gómez, L., & Boller, T. (2000). FLS2: An LRR receptor-like kinase involved in the perception of bacterial flagellin in *Arabidopsis*. *Molecular Cell*, 5(6), 1003-1011.
- Guest, D. (2007). Black pod: Diverse pathogens with a global impact on cocoa yield. *Phytopathology*, 97(12), 1650-1653.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., et al. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56.
- Hartl, D. L., & Jones, E. W. (2012). *Genetics: Analysis of Genes and Genomes* (8th ed.). Jones & Bartlett Learning.
- Jones, J. D. G., & Dangl, J. L. (2006). The plant immune system. *Nature*, 444(7117), 323-329.
- Joosten, M. H., Vogelsang, R., Cozijnsen, T. J., Verberne, M. C., & De Wit, P. J. (1994). The biotrophic fungus *Cladosporium fulvum* is not active against non-host plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 7(3), 345-354.
- Judelson, H. S. (1997). The genetics and biology of *Phytophthora infestans*: Modern approaches to a historical challenge. *Fungal Genetics and Biology*, 22(2), 65-76.
- McDonald, B. A., & Linde, C. (2002). Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 349-379.

- Nyadanu, D., Akromah, R., Kolesnikova-Allen, M., & Kwoseh, C. (2013). Genetic resistance to black pod disease in *Theobroma cacao*: A review. *African Journal of Biotechnology*, 12(28), 4393-4400.
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium wilt of banana. *Phytopathology*, 105(12), 1512-1521.
- Poland, J. A., Balint-Kurti, P. J., Wisser, R. J., Pratt, R. C., & Nelson, R. J. (2009). Shades of gray: The world of quantitative disease resistance. *Trends in Plant Science*, 14(1), 21-29.
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Bhavani, S., Njau, P., ... & Ward, R. W. (2011). The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to wheat production worldwide. *Annual Review of Phytopathology*, 49, 465-481.
- Skelsey, P., et al. (2010). Climate change and plant disease risk: a global hotspot analysis. *European Journal of Plant Pathology*, 127(3), 303-313.
- Subandiyah, S. (2015). Teknik Biologi Molekuler Membantu Memahami Penyakit Tanaman. Universitas Gadjah Mada.
- Tyler, B. M. (2002). Molecular basis of recognition between *Phytophthora* pathogens and their hosts. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 137-167.
- Voinnet, O. (2005). Induction and suppression of RNA silencing: Insights from viral infections. *Nature Reviews Genetics*, 6(3), 206-220.
- Whitham, S., Dinesh-Kumar, S. P., Choi, D., Hehl, R., Corr, C., & Baker, B. (1994). The product of the tobacco mosaic virus resistance gene N: Similarity to toll and the interleukin-1 receptor. *Cell*, 78(6), 1101-1115.

BAB 9

MEKANISME SERANGAN PATOGEN

Oleh Jefri Sembiring

9.1 Pendahuluan

Penyakit tanaman memiliki arti penting yang sangat signifikan di Indonesia karena dampaknya yang luas terhadap berbagai aspek, terutama dalam sektor pertanian, ekonomi, lingkungan, dan ketahanan pangan. Dalam budidaya pertanian, penyakit merupakan masalah besar yang dapat menurunkan hasil. Untuk itu, penting untuk memberikan perhatian khusus pada penyakit tanaman. Penyakit tumbuhan telah ada sejak awal tumbuhan, seperti yang ditunjukkan oleh bercak penyakit pada daun-daun tumbuhan kuno. Penyakit tanaman dapat menyebabkan penurunan hasil panen secara drastis, yang pada gilirannya merugikan petani secara finansial. Indonesia sebagai negara agraris sangat bergantung pada sektor pertanian untuk perekonomiannya. Kehilangan hasil panen akibat penyakit, seperti hawar daun bakteri pada padi (*Xanthomonas oryzae*) atau jamur *Fusarium* pada cabai, dapat mengganggu pasar domestik dan ekspor (Sopialena, 2019).



Gambar 9. 1. (a) *Tobacco mosaic virus* (TMV) chlorosis seen in a backlit tobacco leaf (*Nicotiana tabacum*) (b) Rose black spot fungus causes black and purple spots on leaves.

Sumber: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z3tgw6f/revision/1>

Indonesia memiliki populasi besar yang bergantung pada hasil pertanian seperti padi, jagung, kedelai, dan sayuran untuk kebutuhan pangan. Penyakit tanaman dapat mengancam ketersediaan pangan, meningkatkan harga bahan pokok, dan memengaruhi stabilitas sosial (Sari & Zuber, 2020). Pengelolaan penyakit tanaman yang tidak tepat, seperti penggunaan pestisida berlebihan, dapat merusak lingkungan. Residu pestisida yang masuk ke tanah dan air dapat mencemari ekosistem dan mengancam keberlanjutan pertanian (Sinambela, 2024). Penyakit tanaman yang menyebar secara luas dapat mengurangi keanekaragaman genetik tanaman, terutama pada varietas lokal yang kurang tahan terhadap serangan patogen. Hal ini dapat memengaruhi ekosistem pertanian dalam jangka panjang. Kondisi iklim tropis di Indonesia sangat mendukung perkembangan berbagai patogen tanaman. Perubahan iklim global juga dapat memunculkan patogen baru atau memperluas

distribusi penyakit tertentu ke wilayah-wilayah baru. Penyakit tanaman mendorong pengembangan penelitian dan teknologi untuk menciptakan varietas tanaman yang tahan penyakit. Ini mencakup inovasi dalam bioteknologi, manajemen pertanian berkelanjutan, dan metode pengendalian hayati (Nurhayati, 2011).



Gambar 9. 2. Penyakit bercak bakteri disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas campestris* pv, *vesicatoria*.

Sumber: <https://www.greenlife.co.ke/capsicum-tomato-bacterial-spot/>

Penyakit tanaman disebabkan oleh berbagai faktor, baik biotik (makhluk hidup) maupun abiotik (faktor lingkungan). Pemahaman tentang penyebab penyakit tanaman sangat penting untuk pengelolaan yang efektif. Patogen penyebab penyakit pada tanaman adalah organisme atau agen yang dapat menyebabkan gangguan fisiologis, kerusakan, atau bahkan kematian pada tanaman. Patogen ini dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelompok utama berdasarkan jenisnya. Hubungan antara patogen penyebab penyakit tanaman dan lingkungan sangat erat, karena lingkungan berperan besar dalam menentukan perkembangan, penyebaran, dan tingkat keparahan penyakit

tanaman. Tiga komponen utama yang menentukan terjadinya penyakit tanaman dikenal sebagai Segitiga Penyakit (*Disease Triangle*). Tiga komponen utama berkolaborasi untuk menyebabkan penyakit tanaman : faktor tumbuhan atau inang, faktor organisme pengganggu atau *pest*, dan tentu saja faktor tumbuhan. Lingkungan yang mendukung perkembangan patogen dapat meningkatkan risiko penyakit, sehingga memahami hubungan ini sangat penting untuk pengendalian penyakit tanaman yang efektif(Puspitorini, 2015).

Tanaman yang sakit dapat diidentifikasi dengan gejalanya. Perhatikan secara cermat gejala tanaman; tanda-tanda umum dan spesifik dari gejala ini menunjukkan penyakit apa yang menyerang tanaman. Gejala dapat muncul pada bagian daun, akar, batang, atau buah. Jika tanaman terkena penyakit, pengendalian dapat dilakukan untuk mengurangi kerusakan tanaman dan meningkatkan produksi. Jenis penyakit tanaman yang sangat mengganggu bervariasi seiring dengan keanekaragaman tanaman. Untuk meningkatkan produksi tanaman, kita perlu memahami penyakit tanaman yang menyerang tanaman dan mekanismenya (Sutarman, 2017a).

Patogen menyebabkan tanaman sakit, bentuk vegetatif atau reproduktif patogen menunjukkan tanda penyakit pada tanaman tersebut. Untuk mengetahui tanda penyakit, harus mengetahui berbagai bentuk vegetatif atau reproduktif patogen. Tanda patogen kadang-kadang dapat dilihat dengan mata biasa tanpa alat pembesaran (*makroskopis*), dan kadang-kadang perlu alat pembesar (mikroskop)(Putri et al., 2021). Pengamatan gejala dan tanda penyakit tanaman menentukan tertularnya penyakit. Akibatnya, pengamatan gejala dan tanda sangat penting dalam fitopatologi. Tanda penyakit biasanya merupakan struktur tubuh atau bagian tubuh patogen yang tersebar luas di dalam sel dan/atau di sekitar jaringan tanaman melalui aktivitas

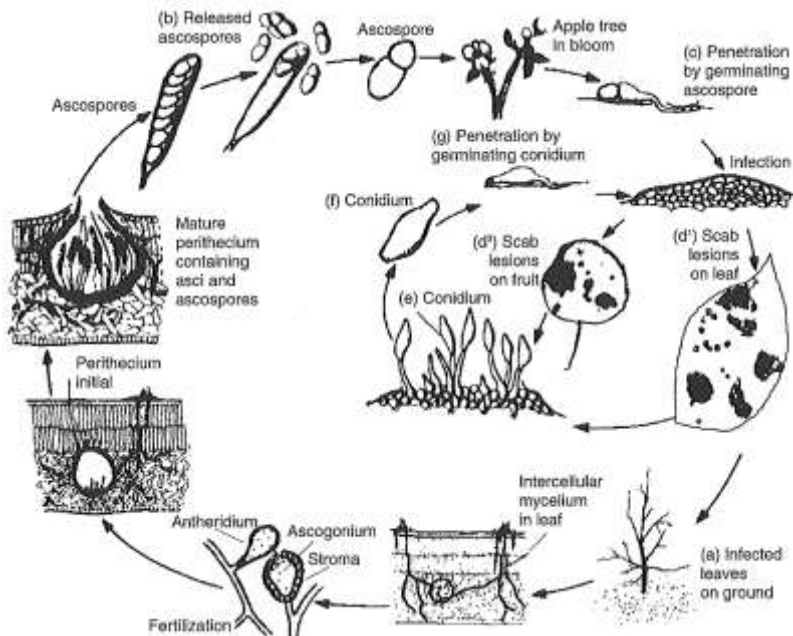
perbanyak. Patogen dapat menggunakan struktur ini untuk menyebar di seluruh tanaman atau di tanaman lain di sekitarnya atau berpindah tempat (penyebaran)(Pipit Mulyah, 2020). Tumbuhan dikatakan sehat atau normal apabila dapat menjalankan fungsi fisiologisnya sesuai dengan potensi genetiknya yang optimal. Jika patogen atau agensia abiotik menyerang tumbuhan, tanaman akan sakit. Kontak dan interaksi antara dua elemen tumbuhan dan patogen akan menyebabkan penyakit tumbuhan. Patogen virulen, tanaman yang rentan, dan lingkungan yang mendukung berinteraksi akan mendorong perkembangan penyakit(Dani et al., 2020).

9.2 Siklus penyakit tanaman

Siklus penyakit merupakan proses terjadinya penyakit dengan timbulnya perubahan pada tumbuhan, disertai gejala pada tumbuhan dan perubahan patogen dalam periode satu musim penanaman atau dari musim kemusim tanaman selanjutnya. Dalam patogenesis, daur penyakit termasuk proses seperti inokulasi, di mana inokulum dan tumbuhan inang berinteraksi secara fisik. Proses ini sangat penting untuk penyebaran penyakit dan penyebaran patogen ke area taman yang tepat. Masuknya patogen ke dalam jaringan tanaman inang disebut penetrasi. Pada umumnya, patogen masuk ke dalam jaringan inang melalui ruang interselular atau sel epidermis kutikula (Nirwanto, 2007)(Nurhayati, 2011).

Siklus penyakit tanaman mewakili biologi patogen sebagai rangkaian tahapan perkembangan yang saling berhubungan termasuk dormansi, reproduksi, penyebaran, dan patogenesis (Puspitorini, 2024). Kemajuan melalui tahap-tahap ini adalah ditentukan oleh urutan interaksi yang berkesinambungan antara inang, patogen, dan lingkungan. Tahapan siklus penyakit menjadi

dasar pada banyak tanaman sebagai model prediksi penyakit. Hubungan suhu dan kelembaban dengan perkembangan penyakit dan reproduksi patogen menjadi dasar sistem prediksi penyakit tanaman (Sastrahidayat, 2011a). Agar suatu penyakit dapat berkembang, patogen harus ada dan berhasil menyerang jaringan dan sel inang tanaman. Rangkaian peristiwa yang terjadi di dalamnya perkembangan penyakit meliputi inokulasi, penetrasi, infeksi, inkubasi, reproduksi, dan kelangsungan hidup. Penyebaran patogen yang baru diproduksi organ reproduksi ke tanaman lain yang tidak terinfeksi disebut inokulasi sekunder (Hasselbring, 1911).



Gambar 9. 3. Siklus penyakit kudis apel: Jamur yang melewati musim dingin (a) menghasilkan spora seksual (b) menembus dan menginfeksi pohon (c). Lesi segera muncul (d1), spora aseksual (e) diproduksi. Spora ini dilepaskan (f) dan Menyebarkan ke jaringan sehat (g), menyebabkan lebih banyak lesi (d1 dan

d2) dan menghasilkan lebih banyak spora (e) Siklus itu kemudian dimulai lagi (Hasselbring, 1911).

Mekanisme diagnosa penyakit tanaman adalah serangkaian langkah sistematis yang dilakukan untuk mengenali dan mengidentifikasi penyebab penyakit pada tanaman (Haryati, 2019). Proses ini mencakup observasi di lapangan, analisis gejala, hingga pengujian laboratorium untuk memastikan jenis patogen atau faktor penyebab. Berikut adalah mekanisme diagnosa penyakit tanaman secara rinci:

1. Observasi Gejala Tanaman

Langkah pertama dalam diagnosa adalah mengamati gejala penyakit pada tanaman (Armita et al., 2022). Gejala adalah respons tanaman terhadap serangan patogen atau gangguan lingkungan. Kelainan atau penyimpangan dari normal yang ditunjukkan oleh tanaman atau tumbuhan dikenal sebagai gejala. Penyakit dapat memiliki gejala yang berbeda atau sama untuk berbagai tanaman. Ketika beberapa tanaman terkena penyakit yang sama, sangat sulit untuk membedakan gejala tanaman atau menemukan penyebab utamanya karena gejalanya bercampur-campur. Ini memungkinkan identifikasi sumber penyakit tanaman dan pencegahan serta pengendalian. Tanaman sakit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis gejala yang dialami, efek langsung atau tidak langsung, ukuran, dan morfologi dan anatomi (Fifendy, 2017).

a. Contoh Gejala:

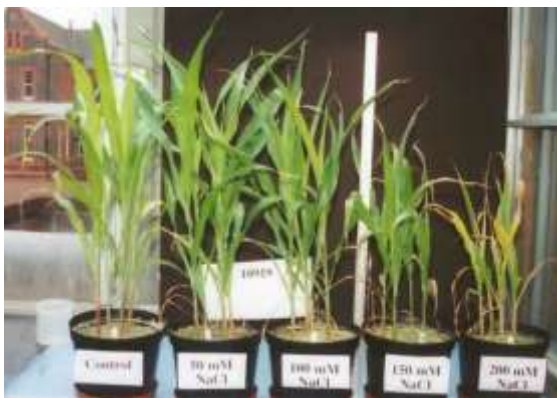
- Klorosis: Daun menguning akibat gangguan fotosintesis.

- Nekrosis: Jaringan tanaman mati, terlihat bercak coklat atau hitam.
- Layuan: Daun atau batang kehilangan kekakuan akibat gangguan sistem pengangkutan air.



Gambar 9. 4. Penyakit daun tomat.

Sumber <https://www.sustainablemarketfarming.com/tag/tomato-chlorosis-virus/>



Gambar 9. 5. Pengaruh salinitas tanah terhadap pertumbuhan tanaman sorghum.

Sumber <https://www.liverpool.ac.uk/~sd21/stress/salt.htm>

2. Identifikasi Tanda Patogen

Tanda adalah bukti fisik keberadaan patogen pada tanaman. Tanda ini biasanya mencakup struktur atau bagian dari patogen yang dapat dilihat langsung(Hakim, 2022).

a. Contoh Tanda:

- Miselium: Benang jamur pada permukaan daun.
- Spora: Struktur reproduksi jamur yang sering terlihat sebagai serbuk.
- Eksudat bakteri: Cairan lengket atau berlendir pada permukaan luka tanaman.



Gambar 9. 6. Miselium

Sumber. <https://en.wikipedia.org/wiki/Mycelium>



Gambar 9. 7. Spora Tanaman

Sumber. https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-6102744_spora-pengertian-dan-contoh-tumbuhannya



Gambar 9. 8. Penyakit darah pisang.

Sumber. <https://www.mongabay.co.id/2024/06/02/begini-penampakan-pisang-yang-diserang-penyakit-darah/>

3. Analisis Riwayat dan Kondisi Lingkungan
Mengumpulkan informasi tentang riwayat tanaman dan kondisi lingkungan membantu memahami penyebab penyakit. Faktor yang dianalisis meliputi:
 - Pola tanam, seperti rotasi atau jenis tanaman sebelumnya.
 - Penggunaan pestisida atau pupuk.

- Kondisi lingkungan seperti kelembapan, suhu, dan pH tanah.
- 4. Pengambilan Sampel Tanaman
Bagian tanaman yang menunjukkan gejala diambil untuk dianalisis lebih lanjut. Sampel harus diambil dengan teknik steril untuk mencegah kontaminasi.
 - Bagian yang diambil: Daun, batang, akar, atau buah.
 - Penyimpanan: Sampel disimpan dalam wadah steril atau media khusus untuk melindungi patogen.
- 5. Analisis Laboratorium
Analisis laboratorium dilakukan untuk mengidentifikasi patogen dengan lebih akurat. Metode yang sering digunakan:
 - Kultur Mikroba
Patogen seperti jamur atau bakteri diisolasi pada media agar untuk mengamati karakteristik koloni.
Tujuan: Mengidentifikasi jenis patogen berdasarkan pertumbuhan koloni.

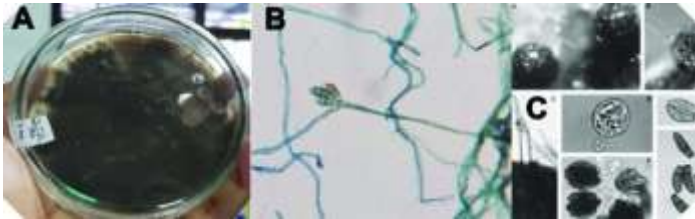


Gambar 9. Kultur tunggal bakteri. Sumber
<https://www.kompasiana.com>

/diannita44458/641102de4addee6a493a0565/pusat-
koleksi-kultur-bagaimana-mikroba -

➤ **Mikroskopi**

Pengamatan patogen menggunakan mikroskop untuk melihat spora, hifa, atau bentuk bakteri. Tujuan: Menentukan morfologi patogen.



Gambar 9. 9. A) makroskopis jamur C dari tanah. (B) mikroskopis (perbesaran 40×) jamur C dari tanah. (C) literatur (Watanabe 2000)(Maftuchah, 2020)

➤ **Uji Serologi**

Menggunakan teknik seperti ELISA untuk mendeteksi antigen atau antibodi spesifik dari virus. Tujuan: Mendeteksi keberadaan virus pada tanaman(Santosa, 2021).

➤ **Teknik Molekuler**

Metode seperti PCR (*Polymerase Chain Reaction*) digunakan untuk mendeteksi DNA atau RNA patogen. Tujuan: Identifikasi patogen secara spesifik dan cepat.

6. **Interpretasi dan Diagnosa Akhir**

Hasil dari pengamatan lapangan dan analisis laboratorium dibandingkan dengan informasi ilmiah atau pustaka untuk menentukan penyakit yang menyerang tanaman.

- Diagnosa Akhir: Identifikasi jenis patogen dan penyakit yang spesifik.
- Rekomendasi: Disusun strategi pengendalian berdasarkan hasil diagnosa, seperti penggunaan fungisida, rotasi tanaman, atau varietas tahan.

7. Tindakan Pengendalian dan Pencegahan

Berdasarkan hasil diagnosa, langkah pengendalian dilakukan untuk mengurangi penyebaran dan dampak penyakit:

- Pengendalian kimia: Aplikasi pestisida atau fungisida.



Gambar 9. 10. Pengendalian secara kimia

Sumber <https://environmentalsanitation.wordpress.com/2011/12/05/manfaat-senyawa-kimia-untuk-lingkungan/>

- Pengendalian hayati: Penggunaan agen hayati seperti jamur antagonis atau bakteri baik.
- Pengelolaan lingkungan: Memperbaiki pola irigasi, kelembapan, atau rotasi tanaman.

9.3 Patogenesis tanaman

Patogenesis dapat dipandang sebagai pertarungan antara tanaman dan patogen yang dipengaruhi oleh lingkungan. Perubahan lingkungan sekecil apapun dapat mempengaruhi terjadinya infeksi pada tanaman. Patogenesis tanaman adalah proses di mana patogen (seperti jamur, bakteri, virus, nematoda, atau fitoplasma) menginfeksi tanaman dan menyebabkan penyakit. Proses ini melibatkan serangkaian tahapan yang mencakup interaksi kompleks antara patogen dan inang (tanaman). Setiap tahap memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan infeksi dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan pada tanaman (Ashar & SKM, 2022). Berikut adalah tahapan umum dalam patogenesis tanaman:

1. Penempelan (*Attachment*)

Patogen menempel pada permukaan tanaman, biasanya pada daun, batang, atau akar. Faktor yang memengaruhi: Struktur patogen seperti spora, flagela, atau polisakarida ekstraseluler membantu patogen melekat pada tanaman. Inokulum atau penular adalah bagian patogen atau patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman yang dibawa oleh agen tertentu yang berinteraksi dengan tanaman. Miselium, spora, atau sklerotium dapat menjadi inokulum jamur atau cendawan. Individu bakteri, mikoplasma, dan partikel virus membentuk inokulum bakteri, mikoplasma, dan virus (Widyati, 2013).

Proses inokulasi terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, inokulum patogen masuk ke tubuh tanaman inang melalui angin, air, serangga, dan lainnya. Meskipun patogen membuat banyak inokulum, hanya sedikit yang dapat mencapai tanaman inang yang tepat. Zoospora dan

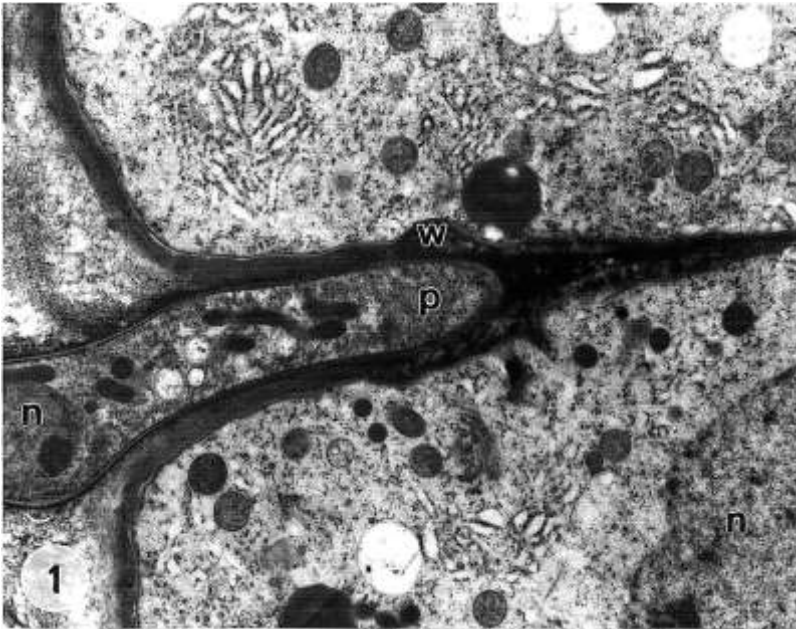
nematoda, misalnya, dapat mencapai tanaman inang melalui zat yang dikeluarkan oleh akar. Inokulum terbagi menjadi dua jenis: inokulum primer adalah inokulum yang menyebabkan infeksi, dan inokulum sekunder adalah inokulum yang berasal dari infeksi primer. Inokulum berasal dari lingkungan tahan tanam atau mungkin sudah ada di dalam tanah di tempat tanaman tumbuh(Widnyana, 2023a). Sebagai contoh adalah jamur menggunakan struktur khusus seperti appressorium untuk menempel dan menembus permukaan daun.

2. Penetrasi

Patogen atau bagian dari patogen masuk ke dalam sel, jaringan, atau tubuh tanaman inang disebut penetrasi. Penetrasi dapat terjadi melalui empat cara: **langsung melalui permukaan tanaman, melalui luka, melalui lubang alami, dan melalui perantara seperti pembawa atau vektor**. Patogen tertentu dapat memasuki melalui berbagai cara, sementara patogen lain hanya dapat melakukannya melalui satu cara. Seringkali, patogen menyerang sel-sel tanaman yang tidak rentan, menyebabkan patogen tidak dapat berlanjut atau mati tanpa menyebabkan tanaman sakit. Bakteri, virus, dan mikoplasma tidak pernah melakukan penetrasi secara langsung. Sebaliknya, virus dan mikoplasma dapat melakukan penetrasi melalui luka atau melalui perantara atau vektor(Gafur, 2003). Secara umum patogen masuk ke jaringan tanaman melalui:

- Luka: Misalnya, bakteri *Erwinia* memanfaatkan luka untuk masuk.
- Pori alami: Stomata, lentisel, atau hidatoda.
- Penetrasi langsung: Beberapa patogen jamur seperti *Colletotrichum* menghasilkan enzim yang

melarutkan dinding sel tanaman, memungkinkan penetrasi langsung.



Gambar 9. 11. Penetrasi langsung Rhizodermis gossypium barbadense oleh *Fusarium oxysporum* (n = nukleus; w = aposisi dinding yang dihasilkan oleh sel inang; p = penetrasi hifa). Potongan melintang jaringan yang disubstitusi beku $\times 11000$, E Rodriguez-Galvez, Piura, Peru (Rees-Davies, 2011)

Beberapa jamur patogen tanaman menembus inangnya tanpa **diferensiasi** appressorium yang berkembang sepenuhnya (Sastrahidayat, 2011a)(Sastrahidayat, 2011b). Patogen akar *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* menghasilkan miselium seperti jaring pada permukaan ujung akar tempat hifa berkembang. Hifa ini menembus dinding epidermis secara

langsung dan kemudian merusak jaringan melalui intra dan interseluler. Jamur pelapuk kayu *Phellinus noxis* membentuk mikrohifa yang bercabang dari hifa menuju ke dinding inang. Jamur api *Ustilago maydis* menembus kutikula dengan hifa yang hanya menunjukkan perubahan kecil selama penetrasi (Rees-Davies, 2011)(Roeswitawati & Sukorini, 2022).

3. Kolonisasi

Kolonisasi patogen pada tanaman adalah proses ketika mikroorganisme patogen (seperti bakteri, jamur, atau virus) menetap dan berkembang biak pada permukaan atau jaringan tanaman tanpa langsung menyebabkan gejala penyakit(Widnyana, 2023b). Patogen ini dapat hidup pada daun, batang, akar, atau bagian lain tanaman dan berpotensi menyebabkan infeksi jika kondisi lingkungan mendukung atau jika tanaman mengalami stres(Roeswitawati & Sukorini, 2022). Tahapan Kolonisasi Patogen pada Tanaman:

- 1) Adhesi (Perlekatan) → Patogen menempel pada permukaan tanaman, biasanya melalui kutikula daun, stomata, atau luka.
- 2) Penetrasi → Patogen masuk ke dalam jaringan tanaman melalui celah alami (stomata, lentisel) atau dengan menghasilkan enzim yang merusak dinding sel.
- 3) Multiplikasi dan Penyebaran → Patogen berkembang biak dan menyebar ke jaringan lain, baik secara lokal maupun sistemik.
- 4) Interaksi dengan Tanaman → Jika pertahanan tanaman lemah, patogen dapat menyebabkan infeksi

dan penyakit. Jika tanaman memiliki ketahanan yang baik, kolonisasi mungkin tidak berkembang menjadi infeksi.. Ini adalah infeksi mesofil dan parenkim yang dapat bersifat hibrotrophic atau hemibiotrophic. Nekrotrof tidak membuat struktur penetrasi tertentu. Sebaliknya, patogen membunuh sel inang dengan mengeluarkan racun, yang merusak dinding sel, memungkinkan hifa untuk masuk ke dalam dinding sel tanaman. Dalam infeksi hemibiotrofik, haustoria dapat dibuat oleh hifa interselular dalam sel mesofil hidup.

Inokulasi adalah hubungan awal antara propagul **infektif** parasit dan tanaman inang potensial. Patogen menemukan titik masuk yang tepat dengan berbagai rangsangan. Beberapa jamur menemukan lokasi stomata dengan menggunakan isyarat topografi di permukaan tanaman(Uge et al., 2021). Setelah hypha mencapai stoma, senyawa volatil yang keluar dari pori-pori tampaknya memberi isyarat untuk pembentukan appressorium (Suryani & Taupiqurrahman, 2021).

Setelah masuk, patogen mulai berkembang biak di dalam jaringan tanaman. Patogen menyebar ke area yang lebih luas, baik melalui ruang antar sel (apoplas) maupun melalui sistem vaskular (floem atau xilem). Sebagai contoh adalah *Fusarium oxysporum* menyerang sistem xilem, menyebabkan layu tanaman.

4. Produksi Faktor Virulensi

Produksi faktor virulensi patogen merujuk pada berbagai molekul atau mekanisme yang dihasilkan oleh mikroorganisme (seperti bakteri, virus, atau jamur) yang memungkinkan mereka untuk menyebabkan infeksi atau penyakit pada inangnya. Faktor-faktor ini memainkan peran **penting** dalam kemampuan patogen untuk menyerang, bertahan, dan merusak jaringan inang. Beberapa faktor virulensi utama meliputi:

- 1) Adhesin: Protein atau molekul lain yang memungkinkan patogen menempel pada permukaan sel inang. Tanpa adhesin, patogen sulit untuk menetap dan memulai infeksi.
- 2) Enzim proteolitik: Enzim yang memecah protein inang, membantu patogen untuk menembus jaringan atau menghindari respons imun inang.
- 3) Toksin: Senyawa berbahaya yang diproduksi oleh patogen, seperti endotoksin (yang terikat pada bagian dari dinding sel bakteri) atau eksotoksin (yang dilepaskan ke luar oleh bakteri). Toksin dapat merusak sel-sel inang, memicu peradangan, atau mengganggu fungsi normal tubuh.
- 4) Capsule: Lapisan pelindung yang mengelilingi beberapa patogen, yang membantu mereka menghindari pengenalan dan penghancuran oleh sistem kekebalan tubuh inang.
- 5) Enzim penghindaran imun: Beberapa patogen menghasilkan enzim yang mengubah atau menghancurkan molekul penting dalam sistem imun, seperti antibodi atau komponen sistem pelengkap.

- 6) Kemotaksis: Kemampuan patogen untuk bergerak menuju atau menjauhi sinyal kimia tertentu, yang memungkinkan mereka untuk menghindari pertahanan inang atau memfasilitasi kolonisasi pada lokasi yang lebih menguntungkan.
- 7) Sistem Sekresi: Beberapa bakteri memiliki sistem sekresi yang memungkinkan mereka untuk mengirimkan protein virulensi ke dalam sel inang, yang bisa merusak sel atau mengubah fungsi normalnya.
- 8) Biofilm: Banyak patogen dapat membentuk biofilm (lapisan lengket mikroorganisme) pada permukaan tubuh, seperti kateter medis atau permukaan gigi, yang melindungi mereka dari pengaruh eksternal dan membuat pengobatan lebih sulit. Semua faktor ini bekerja bersama untuk meningkatkan kemampuan patogen untuk bertahan hidup, berkembang biak, dan menyebabkan kerusakan pada inang, yang pada akhirnya menghasilkan infeksi dan penyakit. utan(Ernita & MP, 2025) (Abadi et al., 2023).

Patogen dapat masuk ke dalam tanaman melalui berbagai jalur. Selain jalur utama seperti stomata (celah udara pada daun) dan lentisel (celah kecil pada batang), ada beberapa **jalur alternatif** yang digunakan patogen untuk menginfeksi tanaman(Adiredjo & Soetopo, 2021)(Puspitorini, 2024).

- 1) Melalui Luka pada Tanaman
 - Luka akibat serangga, gesekan, atau aktivitas manusia bisa menjadi pintu masuk patogen.

Contoh: *Erwinia carotovora* masuk melalui luka dan menyebabkan busuk lunak pada umbi.

2) Melalui Hidatoda (Kelenjar Air pada Daun)

- Hidatoda adalah struktur yang mengeluarkan air dalam kondisi lembap, dan patogen bisa masuk melalui cairan tersebut. Contoh: *Xanthomonas campestris* masuk melalui hidatoda dan menyebabkan bercak daun bakteri.

3) Melalui Nektar pada Bunga

- Beberapa bakteri dan jamur dapat menginfeksi tanaman melalui kelenjar nektar di bunga. Contoh: *Erwinia amylovora* (penyebab penyakit hawar api) masuk melalui nektar pada pohon apel dan pir.

4) Melalui Rambut Akar (Root Hairs)

- Patogen tanah dapat menembus tanaman melalui rambut akar yang berfungsi dalam penyerapan air dan nutrisi. Contoh: *Agrobacterium tumefaciens* menyebabkan tumor akar (bengkak akar) dengan menginfeksi rambut akar.

5) Melalui Stigma pada Bunga

- Beberapa patogen menyerang melalui stigma bunga selama proses penyerbukan. Contoh: *Fusarium graminearum* menginfeksi stigma gandum dan menyebabkan penyakit fusarium head blight.

6) Melalui Serangga Vektor

- Serangga penghisap seperti kutu daun dan wereng dapat membawa patogen dan

menularkannya saat mengisap cairan tanaman.
Contoh: Virus gemini ditularkan oleh kutu kebul (*Bemisia tabaci*) pada tanaman cabai dan tomat.

7) Melalui Guttasi (Tetes Air di Tepi Daun)

- Beberapa patogen memanfaatkan tetesan guttasi untuk masuk ke jaringan tanaman.
Contoh: Bakteri *Pseudomonas syringae* dapat masuk melalui guttasi dan menyebabkan bercak daun bakteri.

5. Perkembangan Gejala

Perkembangan gejala patogen pada tanaman terjadi dalam beberapa tahap yang dikenal sebagai siklus penyakit tanaman. Tahapan ini mencerminkan bagaimana infeksi berkembang dari awal hingga tanaman menunjukkan gejala yang terlihat.

Tahapan perkembangan gejala penyakit pada Tanaman

1) Fase Inkubasi (Tahap Awal Infeksi)

Setelah patogen masuk ke tanaman, ada periode tanpa gejala saat patogen berkembang di dalam jaringan. Tanaman masih terlihat sehat meskipun patogen mulai menyerang sel-sel inangnya. Contoh: *Fusarium oxysporum* menyerang akar tanaman, tetapi gejala layu baru terlihat setelah beberapa hari atau minggu.

2) Fase Awal Gejala (Infeksi Primer)

Gejala mulai tampak ringan, seperti perubahan warna *daun* atau bercak kecil pada permukaan tanaman. Pada tahap ini, patogen mulai menyebar tetapi belum menyebabkan kerusakan besar. Contoh:

Bercak kuning kecil pada daun akibat infeksi *Xanthomonas* pada padi (hawar daun bakteri).

3) Fase Gejala Lanjut (Infeksi Sekunder dan Penyebaran)

Patogen berkembang lebih jauh, menyebabkan gejala lebih jelas dan menyebar ke bagian lain tanaman. Gejala *dapat* berupa nekrosis (jaringan mati), busuk, layu, atau pertumbuhan abnormal. Contoh: Infeksi *Colletotrichum* pada cabai berkembang dari bercak kecil menjadi busuk hitam menyebar.

4) Fase Akut (Kerusakan Parah dan Penyebaran Lanjutan)

Tanaman mengalami kerusakan besar, daun rontok, batang layu, atau buah membusuk. Jika patogen menular, infeksi bisa menyebar ke tanaman lain melalui angin, air, atau serangga vektor. Contoh: Penyakit busuk daun kentang (*Phytophthora infestans*) menyebar cepat dalam kondisi lembap, menyebabkan daun menguning, mengering, dan mati.

5) Fase Akhir (Kematian atau Pemulihan)

Jika tanaman tidak mampu bertahan, infeksi dapat *menyebabkan* kematian. Jika kondisi lingkungan mendukung pertumbuhan tanaman dan tanaman memiliki ketahanan alami, infeksi dapat dihentikan atau diperlambat. Contoh: Tanaman yang terinfeksi ringan oleh *Powdery mildew* bisa bertahan jika mendapatkan pengendalian yang tepat.

Infeksi dapat menyebabkan gejala penyakit pada tanaman inang, seperti menguning, berubah bentuk, atau bercak (nekrotik). Beberapa proses infeksi tidak

menunjukkan gejala apa pun. Namun, pada saat lingkungan menjadi lebih baik untuk pertumbuhan patogen atau pada tingkat pertumbuhan tanaman berikutnya, patogen akan terus berkembang, menyebabkan tanaman mengalami gejala sakit. Pra-entry, entry, dan kolonisasi adalah tiga tahap dari proses infeksi. Ini mencakup pembentukan hubungan parasit antara patogen dan inang serta perkembangan propagul infeksi di atau pada pembawa potensial. Sifat patogen, kondisi inang, dan lingkungan luar memengaruhi proses infeksi. Patogen tidak akan menyebabkan penyakit pada inangnya jika salah satu tahapan proses infeksi dihentikan oleh faktor-faktor ini (Miftakhurohmah et al., 2013)(Hadiastono, 2012) .

6. Penyebaran (Dispersal)

Proses patogen atau inokulum berpindah dari satu tempat ke tempat lain disebut diseminasi. Dengan perantaraan angin, air, hewan (terutama serangga), dan manusia, penyebaran patogen dapat terjadi secara aktif maupun pasif, yang merupakan cara yang paling penting untuk menyebabkan penyakit. Nematoda, zoospora, dan bakteri motil adalah beberapa patogen yang dapat menyebar secara aktif. Ketiga jenis inokulum ini kurang efektif dalam hal perkembangan penyakit karena mereka dapat bergerak dalam jarak yang relatif pendek, mungkin hanya beberapa milimeter atau sentimeter (Dinata et al., 2023)(Sutarman, 2017b). Patogen menghasilkan spora, propagul, atau partikel virus yang menyebar ke tanaman lain melalui:

- Air: Hujan, irigasi.
- Angin: Spora jamur.

- Vektor: Serangga (misalnya, virus penyebab tungro pada padi disebarkan oleh wereng).

7. Reproduksi Patogen

Setelah berhasil menginfeksi tanaman, patogen menghasilkan keturunan dalam bentuk spora, sel bakteri baru, atau partikel virus untuk melanjutkan siklus penyakit. Dalam kebanyakan kasus, individu jamur dan tumbuhan parasitik menyerang tanaman setelah proses infeksi dengan masuk ke dalam jaringan tanaman inang, menyebabkan kehilangan nutrisi dan kerusakan sel dan jaringan tanaman inang. Reproduksi patogen pada tanaman adalah proses di mana patogen berkembang biak dan menyebar dalam atau di sekitar tanaman inangnya. Patogen tanaman dapat berupa bakteri, jamur, virus, atau nematoda, dan masing-masing memiliki cara reproduksi yang berbeda (Malado et al., 2024)(Siahaan & Saimima, 2020)

6) Reproduksi Bakteri Patogen

Bakteri patogen pada tanaman berkembang biak melalui pembelahan biner, yaitu satu sel membelah menjadi dua sel identik. *Xanthomonas campestris* (penyebab hawar daun bakteri) menyebar melalui air, angin, serangga, atau alat pertanian. Bakteri masuk melalui stomata, lentisel, atau luka pada tanaman. Menginfeksi jaringan tanaman dan berkembang biak dengan cepat. Menghasilkan eksopolisakarida yang menyebabkan penyumbatan pembuluh tanaman (misalnya pada layu bakteri).

7) Reproduksi Jamur Patogen

Jamur patogen dapat bereproduksi secara seksual dan aseksual melalui spora. Spora jamur *Fusarium oxysporum* (penyebab layu fusarium) menyebar melalui angin atau air

dan mendarat di tanaman. Spora berkecambah dan menembus jaringan tanaman. Miselium berkembang dan menghasilkan lebih banyak spora kemudian spora baru dilepaskan dan menyebar ke tanaman lain.

8) Reproduksi Virus Patogen

Virus tidak dapat berkembang biak sendiri, tetapi memanfaatkan sel tanaman untuk memperbanyak diri melalui replikasi dalam sel inang. Penyebaran *Tobacco mosaic virus* (TMV). Melalui serangga vektor (kutu daun, wereng), kontak fisik, atau benih. Virus masuk ke dalam sel tanaman melalui luka atau serangga vektor. Virus mengambil alih sistem metabolisme sel tanaman untuk memperbanyak diri, kemudian partikel virus baru menyebar ke sel lain dalam tanaman.

9) Reproduksi Nematoda Patogen

Nematoda berkembang biak melalui telur yang menetas menjadi larva sebelum menjadi nematoda dewasa. Sebagai contoh *Meloidogyne* spp. (penyebab bengkak akar) yang menyebar melalui tanah, air, atau alat pertanian yang terkontaminasi. Telur menetas di tanah menjadi larva, kemudian masuk ke akar tanaman dan mulai menghisap nutrisi. Nematoda berkembang menjadi dewasa dan bertelur di dalam jaringan akar.

8. Mekanisme Pertahanan Tanaman

Mekanisme pertahanan tanaman sangat beragam dan melibatkan kombinasi perlindungan fisik, produksi senyawa kimia, serta respons kekebalan yang kompleks. Sistem ini membantu tanaman bertahan dari serangan patogen dan herbivora untuk memastikan kelangsungan hidupnya(Pratiwi, 2017). Mekanisme ini dapat dibagi

menjadi dua kategori utama: pertahanan fisik dan pertahanan kimia.

- 1) Pertahanan Fisik (Struktural) merupakan penghalang fisik yang mencegah patogen atau herbivora menyerang tanaman.
 - Kutikula: Lapisan lilin di permukaan daun dan batang yang mengurangi masuknya patogen dan kehilangan air.
 - Dinding sel: Mengandung selulosa dan lignin yang memperkuat sel dan menghambat penetrasi patogen.
 - Trikoma (rambut tanaman): Struktur berbulu yang melindungi tanaman dari serangga dan mengurangi akses patogen ke permukaan daun.
 - Stomata yang bisa menutup: Beberapa tanaman mampu menutup stomata untuk mencegah masuknya patogen.
 - Getah dan lateks: Beberapa tanaman mengeluarkan getah atau lateks yang lengket untuk menjebak atau mengusir serangga dan patogen.
- 2) Pertahanan Kimia merupakan tanaman menghasilkan berbagai senyawa kimia yang bersifat antimikroba atau beracun bagi herbivora.
 - Metabolit sekunder:
 - Alkaloid (nikotin, kafein, morfin) → Beracun bagi serangga dan herbivora. Fenol (tanin, lignin) → Mengganggu pencernaan herbivora dan memperkuat dinding sel.
 - Terpenoid (limonen, mentol) → Bersifat toksik bagi serangga dan patogen.

- Protein antimikroba: Beberapa tanaman menghasilkan enzim yang merusak dinding sel bakteri atau jamur, seperti chitinase dan glucanase.
 - Phytoalexin: Senyawa antimikroba yang diproduksi sebagai respons terhadap infeksi patogen.
- 3) Pertahanan Sistemik (Imunologi Tanaman) yang merupakan respons kekebalan terhadap patogen.
- Respon Hipersensitif: Tanaman membunuh sel yang terinfeksi untuk mencegah penyebaran patogen.
 - Resistensi Sistemik Terinduksi (ISR) & Resistensi Sistemik yang Diperoleh (SAR): Tanaman mengaktifkan mekanisme pertahanan di seluruh tubuh setelah terpapar patogen atau zat pemicu resistensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A. L., Syib'li, M. A., Aini, L. Q., Sektiono, A. W., Choliq, F. A., & Trianti, I. (2023). *Pengelolaan Penyakit Tumbuhan Terpadu (Integrated Plant Disease Management)*. Universitas Brawijaya Press.
- Adiredjo, A. L., & Soetopo, L. (2021). *Pemuliaan Ketahanan Genetik Tanaman*. Universitas Brawijaya Press.
- Armita, D., Wahdaniyah, W., Hafsan, H., & Al Amanah, H. (2022). Diagnosis visual masalah unsur hara esensial pada berbagai jenis tanaman. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 16(1), 139–150.
- Ashar, Y. K., & SKM, M. K. M. (2022). *Manajemen Penyakit Berbasis Lingkungan*. Cipta Media Nusantara.
- Dani, D. R., Purba, W., Solin, S. D., & Wulandari, P. (2020). Penerapan Algoritma Certainty Faktor dalam Mendiagnosa Penyakit Tanaman Kelapa Sawit Menggunakan Fordward Chaining Berbasis Web. *REMIK: Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 5(1), 60–65.
- Dinata, G. F., Mahanani, A. U., Soelistijono, R., Sada, M., Khoirotin, N., Lahati, B. K., Takdir, N., Arianti, K., & Tuhuteru, S. (2023). *Fitopatologi: Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Tohar Media.
- Ernita, M., & MP, S. S. (2025). Biologi Dan Ekologi Patogen Tanaman. *Hama Dan Penyakit Tanaman Hortikultura: Identifikasi Dan Pengendalian*, 57.
- Fifendy, M. (2017). *Mikrobiologi*. Kencana.
- Gafur, A. (2003). Aspek fisiologis dan biokimiawi infeksi jamur patogen tumbuhan. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 3(1), 21–28.
- Hadiastono, T. (2012). *Virologi Tumbuhan*. Universitas Brawijaya Press.

- Hakim, L. (2022). *Bakteri Patogen Tumbuhan*. Syiah Kuala University Press.
- Haryati, R. (2019). *Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Tanaman Jeruk Menggunakan Metode Bayesian Network Berbasis Android*.
- Hasselbring, H. (1911). Plant Diseases. *Botanical Gazette*, 51(2), 153–155. <https://doi.org/10.1086/330464>
- Maftuchah, M. (2020). *Pengembangan Microbial Fungicide Remediation Agent dari Lahan Tanaman Kentang untuk Menghambat Serangan Jamur Patogen Phytophthora infestans Dan Mengurangi Residu Fungisida Kimia*. 1, 15–16.
- Malado, M., Purnamasari, R., Nuryono, N., Monica, R. D., Lestari, S., Bahri, S., Putri, K. A., Palupi, D., Suhadi, S., & Faizah, H. (2024). *Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Pertanian*. CV. Gita Lentera.
- Miftakhurohmah, M., Suastika, G., & Damayanti, T. R. I. A. (2013). Deteksi Secara Serologi Dan Molekuler Beberapa Jenis Virus Yang Berasosiasi Dengan Penyakit Mosaik Tanaman Nilam (Pogostemon Cablin Benth). *Industrial Crops Research Journal*, 19(3), 130–138.
- Nirwanto, H. (2007). Epidemi dan manajemen penyakit tanaman. *UPN "Veteran" Press. Surabaya. H.*
- Nurhayati. (2011). Epidemiologi Penyakit Tumbuhan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_
- Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, T. (2020). *Journal GEEJ*, 7(2).

- Pratiwi, R. H. (2017). Mekanisme pertahanan bakteri patogen terhadap antibiotik. *Jurnal Pro-Life*, 4(3), 418–429.
- Puspitorini, P. (2024). *Perlindungan Tanaman*.
- Putri, A. F., Rachmawati, N., & Naemah, D. (2021). IDentifikasi Kerusakan Daun Pada Tanaman Balangeran (*Shorea balangeran*) Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (Khdtk) Tumbang Nusa. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 4(1), 28. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i1.3088>
- Rees-Davies, J. (2011). The development of the clarinet repertoire. *The Cambridge Companion to the Clarinet*, 34(1996), 75–91. <https://doi.org/10.1017/ccol9780521470667.009>
- Roeswitawati, D., & Sukorini, H. (2022). *Penyakit Tumbuhan* (Vol. 1). UMMPress.
- Santosa, B. (2021). *Teknik Elisa: Metode Elisa Untuk Pengukuran Protein Metallothionein Pada Daun Padi Ir Bagendit*. Unimus Press.
- Sari, I. P., & Zuber, A. (2020). Kearifan Lokal Dalam Membangun Ketahanan Pangan Petani. *Journal of Development and Social Change*, 3(2), 25. <https://doi.org/10.20961/jodasc.v3i2.45768>
- Sastrahidayat, I. R. (2011a). *Fitopatologi: Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Universitas Brawijaya Press.
- Sastrahidayat, I. R. (2011b). *Mikologi (ilmu jamur)*. Universitas Brawijaya Press.
- Siahaan, P., & Saimima, A. (2020). Agens-Agens Hayati Sebagai Pengganti Insektisida Sintetik. *Patra Media Grafindo, Bandung*.
- Sinambela, B. R. (2024). *The Impact of Pesticide Use in Agricultural Activities on The Environment and Health Bilker Roensis Sinambela*. 8(2), 178–187.

- Sopialena. (2019). Segitiga Penyakit Tanaman. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/30532>
- Suryani, Y., & Taupiqurrahman, O. (2021). *Mikrobiolohi dasar*. LP2M UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- Sutarman. (2017a). Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman. *Umsida Press*, 115. <http://eprints.umsida.ac.id/4208/1/B>
- Sutarman, S. (2017b). *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman*. Umsida Press.
- Uge, E., Yusnawan, E., & Baliadi, Y. (2021). Pengendalian ramah lingkungan hama ulat grayak (*Spodoptera litura* Fabricius) pada tanaman kedelai. *Buletin Palawija*, 19(1), 64–80.
- Widnyana, I. K. (2023a). *Pengantar Ilmu Penyakit Tanaman*. Universitas Mahasaraswati Press.
- Widnyana, I. K. (2023b). *Pengantar Ilmu Penyakit Tanaman*. <https://lppm.unmas.ac.id/unmas-press>
- Widyati, E. (2013). Memahami interaksi tanaman–mikroba. *Tekno Hutan Tanaman*, 6(1), 13–20.

BAB 10

SISTEM PERTAHANAN TANAMAN

Oleh Sri Sukmawati

10.1 Pendahuluan

Pemahaman mendalam mengenai sistem pertahanan tanaman memegang peranan krusial dalam konteks pertanian modern. Di era globalisasi dan perubahan iklim, sektor pertanian dituntut untuk menghasilkan pangan yang cukup bagi populasi dunia yang terus bertambah. Namun, produksi tanaman menghadapi tantangan serius akibat serangan penyakit yang disebabkan oleh patogen seperti cendawan, bakteri, virus dan nematoda. Penyakit tanaman tidak hanya menurunkan hasil panen secara signifikan, sehingga menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi petani. Oleh karena itu, pengembangan strategi pengendalian penyakit yang efektif dan penting untuk berkelanjutan. Memahami mekanisme pertahanan alami tanaman terhadap patogen adalah kunci untuk merancang pendekatan yang inovatif dan ramah lingkungan dalam melindungi tanaman dari serangan penyakit (Agrios, 2005).

Keragaman patogen tanaman merupakan masalah utama dalam produksi pertanian. Patogen ini dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok antara lain cendawan, bakteri, virus dan nematoda. cendawan merupakan patogen yang paling umum dan menyebabkan berbagai penyakit pada tanaman, seperti penyakit busuk akar, layu, dan bercak daun. Bakteri juga dapat menyebabkan penyakit serius, seperti penyakit layu bakteri dan

busuk lunak. Virus, meskipun berukuran sangat kecil, dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada tanaman, seperti penyakit mosaik dan keriting daun. Selain itu, nematoda yaitu cacing mikrokopis yang hidup di dalam tanah, dapat merusak akar tanaman dan menyebabkan penurunan hasil panen. Serangan patogen ini dapat mengakibatkan kerugian yang signifikan bagi petani, baik dalam bentuk penurunan kuantitas maupun kualitas hasil panen, bahkan hingga menyebabkan gagal panen total (Strange dan Scott, 2005).

Sistem kekebalan tanaman merupakan mekanisme pertahanan alami yang kompleks dan dinamis, memungkinkan tanaman untuk mengenali dan merespons serangan patogen. Sama seperti hewan, tanaman juga memiliki sistem kekebalan yang melibatkan berbagai komponen, mulai dari molekul pengenal patogen hingga jalur pensinyalan yang kompleks. Sistem kekebalan tanaman dapat diaktifkan oleh molekul tertentu yang dihasilkan oleh patogen, seperti molekul yang terkait dengan patogen (PAMPs) atau molekul elektor yang disekresikan oleh patogen ke dalam sel tanaman. Pengenalan molekul ini memicu serangkaian respons pertahanan, termasuk produksi senyawa antimikroba, penguatan dinding sel, dan aktivasi respons kekebalan sistemik. Respons kekebalan tanaman tidak hanya melindungi tanaman dari patogen tertentu, tetapi juga dapat memberikan perlindungan terhadap berbagai jenis patogen lainnya (Jones dan Dangl, 2006).

10.2 Mekanisme Pertahanan Tanaman

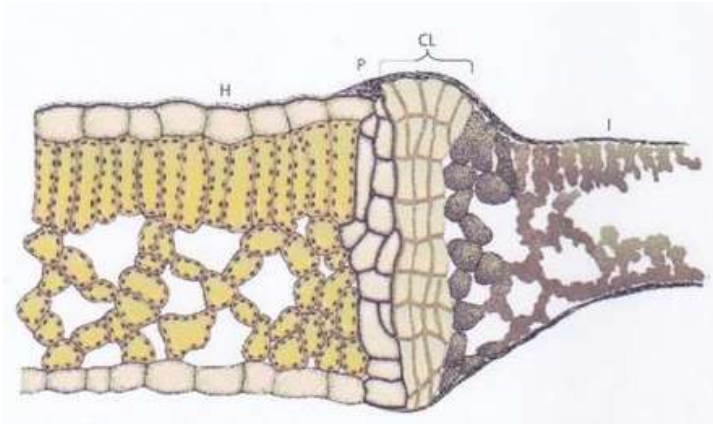
Tanaman memiliki berbagai mekanisme untuk menjadi pertahanan dalam menghadapi serangan patogen. Mekanisme pertahanan itu seperti: pertahanan struktur; pertahanan kimiawi; *Sistemik acquired resistance* atau *SAR*; *Induced system*

resistance atau *ISR*; *Hypersensitive response* atau *HR*; *Signaling pathways*.

10.2.1 Pertahanan Struktur

Tanaman memiliki berbagai mekanisme pertahanan struktur yang berperan penting dalam mencegah penetrasi patogen. Kutikula, lapisan lilin terluar pada permukaan tanaman, berfungsi sebagai penghalang fisik pertama yang menghalangi kontak langsung antara patogen dan jaringan tanaman. Dinding sel, yang terdiri dari polisakarida seperti selulosa dan lignin, memberikan perlindungan tambahan dengan memperkuat struktur tanaman dan mempersulit penetrasi patogen. Selain itu, jaringan lignifikasi, yaitu jaringan tanaman yang diperkaya dengan lignin, dapat terbentuk sebagai respon terhadap serangan patogen, memperkuat dinding sel dan menghambat penyebaran patogen lebih lanjut. Kombinasi dari berbagai elemen struktural ini memberikan perlindungan yang efektif bagi tanaman terhadap serangan patogen (Bell dan Ride, 1981).

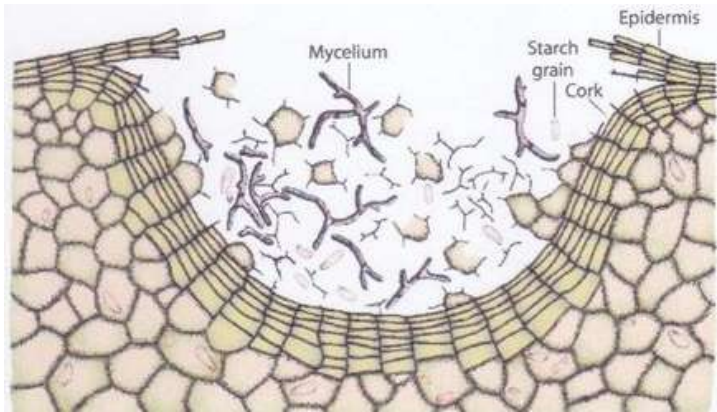
Selain itu pertahanan struktur dibagi menjadi dua yaitu pertahanan mekanis aktif dan pertahanan mekanis pasif. Pertahanan mekanis aktif akan muncul setelah tanaman diinvasi patogen, sebagai hasil reaksi interaksi antara sistem-sistem genetik tanaman dengan patogen dan bersifat histologis. Pertahanan ini membentuk lapisan sel yang membatasi bagian tanaman yang terinfeksi patogen, meliputi: (1) lapisan gabus; (2) lapisan sel-sel absisi; (3) lapisan sel-sel terisi gom atau blendok; (4) lapisan tilosis.



Gambar 10. 1. Lapisan Gabus (*cork layer*)

(Sumber : Cunningham, 1928)

Gambar 10.1 memperlihatkan Lapisan gabus atau cork layer (CL); bagian terinfeksi patogen (I); bagian tanaman bagian terbentuk sebagai lapisan penghambat serangan patogen, penghambat penyebaran toksin patogen kelapisan yang sehat, menghentikan distribusi aliran unsurhara-mineral- air dari bagian sehat ke bagian terinfeksi, dan memisahkan patogen dari bagian hidupnya. Dan pada gambar 10.2 memperlihatkan dengan jelas pembentukan lapisan gabus pada umbi kentang infeksi serangan patogen.



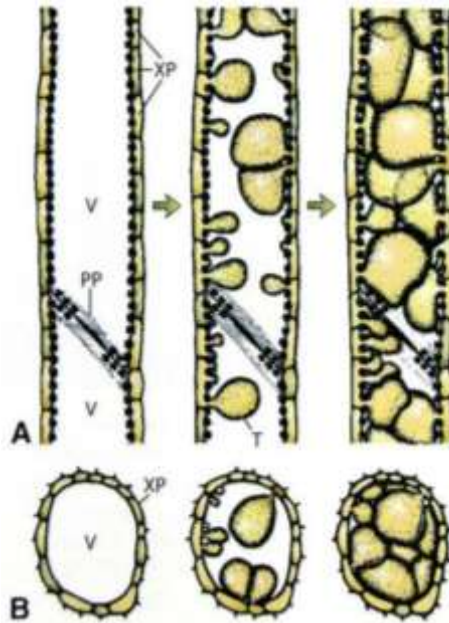
Gambar 10. 2. Pembentukan lapisan gabus.
(Sumber : Ramsey, 1917)

Pembentukan lapisan absisi atau lapisan pemisah membetuk celah antara bagian tanaman yang sehat dengan bagian tanaman yang terinfeksi patogen, dapat dilihat pada Gambar 10.3 sebagai berikut.



Gambar 10. 3. Pembentukan lapisan absisi
(Sumber : Samuel, 1927)

Lapisan tilosi terbentuk didalam jaringan pembuluh kayu mengalami cekaman (stress) akibat serangan patogen. Lapisan ini merupakan pertumbuhan luar biasa protoplas sel parenkim yang hidup disamping dan menonjol dalam ruang xylem melalui noktah. Lapisan ini juga mempunyai dinding selulosa dan menyumbat pembuluh yang terinfeksi.



Gambar 10. 4. Pembentukan lapisan tilosis
(Sumber : Samuel, 1927)

Pada pertahanan mekanik pasif merupakan pertahanan struktur morfologi tanaman miliki yang dapat menghambat serangan infeksi patogen. Pertahanan ini berupa lapisan epidermis dengan kutikula, lapisan lilin, dan jumlah stomata tanaman yang lebih sedikit.



Gambar 10. 5. Lapisan epidermis dan kutikula
(Sumber : Campbell, et al, 2009)



Gambar 10. 6. Lapisan lilin dan Stomata
(Sumber : Campbell, et al, 2009)

10.2.2 Pertahanan Kimiawi

Selain pertahanan struktural, tanaman juga menghasilkan berbagai senyawa kimia yang berperan dalam pertahanan terhadap patogen. Fitokimia, seperti alkaloid, terpenoid, dan fenolik, memiliki sifat antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan atau membunuh patogen. Enzim hidrolitik, seperti kitinase dan glukonase, dapat memecah dinding sel patogen, sehingga melemahkan atau menghancurkan patogen tersebut. Protein PR (*pathogenesis-related proteins*) adalah kelompok protein yang diproduksi oleh tanaman sebagai respons terhadap serangan patogen. Protein PR memiliki berbagai fungsi, termasuk aktivitas antimikroba, anti cendawan, dan antivirus.

Produksi senyawa-senyawa antimikroba ini merupakan bagian penting dari respons kekebalan tanaman terhadap serangan patogen (Van Loon et al., 2006).

10.2.3 Sistemik Acquired Resistance (SAR)

Sistem Acquired Resistance merupakan respons ketahanan sistemik yang diinduksi oleh infeksi lokal pada bagian tanaman tertentu. Ketika patogen menyerang suatu bagian tanaman, molekul sinyal akan dihasilkan dan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman lainnya. Molekul sinyal ini memicu aktivasi gen-gen pertahanan tanaman terhadap serangan patogen yang lebih luas. SAR memberikan perlindungan jangka panjang terhadap berbagai jenis patogen, bahkan patogen yang berbeda dari penyebab infeksi awal (Ryals et al., 1996).

10.2.4 Induced Systemic Resistance (ISR)

Sistem ketahanan ini adalah mekanisme ketahanan tanaman yang diinduksi oleh mikroba menguntungkan, terutama bakteri rizosfer. Mikroba menguntungkan ini hidup di sekitar akar tanaman dan memicu aktivasi jalur pensinyalan yang berbeda dari SAR. ISR juga menghasilkan respons ketahanan sistemik, tetapi mekanisme yang terlibat berbeda dengan SAR. ISR memberikan perlindungan terhadap berbagai jenis patogen, termasuk patogen yang menyerang akar dan bagian atas tanaman (Pieterse et al., 2000).

10.2.5 Hypersensitive Response (HR)

Reaksi ini adalah reaksi kematian sel terprogram yang terjadi di sekitar lokasi infeksi patogen. HR merupakan mekanisme pertahanan lokal yang bertujuan untuk membatasi penyebaran patogen ke bagian tanaman lainnya. Kematian sel yang cepat di sekitar lokasi infeksi menciptakan lingkungan yang tidak ramah bagi pertumbuhan patogen dan mencegahnya

menyebar lebih lanjut. HR seringkali dikaitkan dengan resistensi terhadap patogen biotrofik, yaitu patogen yang membutuhkan sel hidup untuk tumbuh (Greenberg, 1997).

10.2.6 Signaling Pathways

Aktivasi respons pertahanan tanaman melibatkan jalur pensinyalan yang kompleks dan melibatkan berbagai hormon tanaman, seperti asam salisilat dan jasmonat. Asam salisilat berperan penting dalam aktivasi SAR, sementara jasmonat lebih terlibat dalam respons terhadap patogen nekrotrofik dan serangga. Jalur pensinyalan ini mengatur ekspresi gen-gen pertahanan dan produksi senyawa-senyawa antimikroba yang berperan dalam melawan serangan patogen. Pemahaman yang mendalam mengenai jalur pensinyalan ini penting untuk mengembangkan strategi pengendalian penyakit tanaman yang efektif (Robert Seilaniantz et al., 2011).

10.3 Aplikasi Pertahanan Tanaman

10.3.1 Pemuliaan Tanaman Tahan Penyakit

Tanaman Pemuliaan tanaman tahan penyakit merupakan strategi penting dalam pengembangan varietas unggul yang memiliki ketahanan terhadap patogen tertentu. Proses ini melibatkan pemilihan dan persilangan tanaman yang memiliki sifat ketahanan terhadap penyakit yang diinginkan. Melalui pemuliaan, gen-gen ketahanan dapat digabungkan ke dalam varietas baru yang memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi. Pemuliaan tanaman tahan penyakit merupakan pendekatan yang efektif dan berkelanjutan dalam pengendalian penyakit tanaman (Collard dan Mackill, 2008).

10.3.2 Penggunaan Agens Hayati

Tanaman Penggunaan agens hayati melibatkan pemanfaatan mikroba antagonis dan musuh alami untuk mengendalikan penyakit tanaman secara hayati. Mikroba antagonis adalah mikroorganisme yang dapat menghambat pertumbuhan atau mematikan patogen. Musuh alami, seperti predator dan parasitoid, dapat memakan atau menjadi parasit patogen, sehingga mengurangi populasi patogen dan mengurangi kerusakan pada tanaman. Penggunaan agens hayati merupakan pendekatan yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia (Cook dan Baker, 1983).

10.3.3 Induksi Ketahanan

Induksi ketahanan adalah strategi untuk memicu respons kekebalan tanaman dengan menggunakan senyawa kimia atau agen hayati. Senyawa kimia tertentu, seperti asam salisilat dan jasmonat, dapat menginduksi respons ketahanan sistemik pada tanaman, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap serangan patogen. Selain itu, beberapa mikroorganisme menguntungkan juga dapat menginduksi ketahanan tanaman. Induksi ketahanan merupakan pendekatan yang menjanjikan dalam pengendalian penyakit tanaman (Walters et al., 2005).

10.3.4 Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan lingkungan yang baik dapat meningkatkan kesehatan tanaman dan mengurangi risiko serangan penyakit. Praktik pertanian yang berkelanjutan, seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan tanah yang sehat, dapat menciptakan lingkungan yang tidak ramah bagi perkembangan patogen. Selain itu, pengendalian gulma dan sanitasi yang baik juga penting untuk mengurangi sumber inokulum patogen. Pengelolaan lingkungan yang baik merupakan

pendekatan preventif yang efektif dalam pengendalian penyakit tanaman (Altieri, 1995).

10.3.5 Bioteknologi Pertanian

Bioteknologi pertanian menawarkan berbagai teknik, termasuk rekayasa genetika, untuk menciptakan tanaman transgenik yang tahan terhadap penyakit. Melalui rekayasa genetika, gen-gen ketahanan dari sumber lainnya, seperti tanaman liar atau mikroorganisme, dapat dimasukkan ke dalam tanaman budidaya. Tanaman transgenik yang tahan penyakit dapat mengurangi kerugian akibat serangan patogen dan mengurangi kebutuhan penggunaan pestisida (James, 2017).

10.3.6 Studi Kasus

Penerapan sistem pertahanan tanaman yang sukses dapat dilihat dalam berbagai studi kasus. Misalnya, penggunaan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai agens hayati telah terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit layu bakteri pada tanaman tomat. Selain itu, pengembangan varietas padi tahan penyakit blast juga telah berhasil meningkatkan produksi padi di berbagai negara. Studi kasus ini menunjukkan bahwa penerapan sistem pertahanan tanaman yang tepat dapat memberikan hasil yang signifikan dalam pengendalian penyakit tanaman.

10.3.7 Tantangan dan Prospek

Pengembangan sistem pertahanan tanaman menghadapi berbagai tantangan, seperti munculnya ras patogen baru yang resisten terhadap fungisida dan perubahan iklim yang dapat mempengaruhi penyebaran penyakit. Namun, ada juga peluang besar dalam pengembangan sistem pertahanan tanaman di masa depan. Penelitian terus dilakukan untuk mengidentifikasi gen-gen ketahanan baru, mengembangkan agens hayati yang lebih

efektif, dan memahami mekanisme interaksi antara tanaman dan patogen.

10.4 Kesimpulan

Sistem pertahanan tanaman merupakan aspek penting dalam pengelolaan penyakit tanaman. Berbagai strategi dan pendekatan, seperti pemuliaan tanaman tahan penyakit, penggunaan agens hayati, induksi ketahanan, pengelolaan lingkungan, dan bioteknologi pertanian, dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen. Pendekatan terpadu yang menggabungkan berbagai strategi ini diperlukan untuk mencapai pengendalian penyakit tanaman yang efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri, M. A. 1995. *Agroecology: The science of sustainable agriculture (2nd ed.)*. Westview Press
- Bell, A. A., & Ride, J. P. 1981. *Biochemical aspects of disease resistance*. In G. M. Tombs (Ed.), *Biochemistry of plant diseases* (pp. 1-52). Academic Press.
- Campbell, R, et all. 2009. *Biology: Eighth Edition*. Pearson: San Fransisco.
- Cunningham, G. H. 1928. *The significance of the cork layer in plant tissues*. *Phytopathology*, 18(9), 717-751.
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. 2008. *Plant breeding for abiotic stress resistance*. *Crop Science*, 48(1), 1-17
- Cook, R. J., & Baker, K. F. 1983. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. Cambridge University Press.
- Greenberg, J. T. 1997. *Programmed cell death in plant-pathogen interactions*. *Annual Review of Plant Biology*, 48, 525-545.
- James, C. 2017. *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2017*. ISAAA Brief No. 49
- Pieterse, C. M. J., Van Wees, S. C. M., Van Pelt, J. A., Knoppers, H., & Wijgerde, T. 2000. *ISR: An alternative to systemic acquired resistance*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 57(1), 1-10.
- Ramsey, G. E. 1917. *Studies on the Germination of the Spores of Rhizoctonia Solani and on the Rhizoctonia Diseases of Potatoes*. *Journal of Agricultural Research*, 9(12), 421-426.

Robert-Seilaniantz, A., Grant, M., & Jones, J. D. G. 2011. *Perception and signaling in plant immunity*. Annual Review of Plant Biology, 62, 345-375.

Ryals, J. A., Lawton, K. A., Shah, J., & Klessig, D. F. (1996). *Systemic acquired resistance*. Plant Cell, 8(10), 1809-1819.

Samuel, G. 1927. *On the shot-hole disease of stone-fruit trees caused by the fungus Cercospora circumscissa*. Annals of Botany, 41(162), 375-404.

Walters, D., Fountaine, J. M., & Weier, D. 2005. *Induced resistance for plant disease management*. Crop Protection, 24(4), 361-370.

Van Loon, L. C., Rep, M., & Pieterse, C. M. J. 2006. *Significance of inducible defense-related proteins in infected plants*. Annual Review of Phytopathology, 44, 167-191.

BAB 11

EPIDEMI PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Suskandini Ratih

11.1 Pengertian Epidemi

Epidemi penyakit tumbuhan adalah penyakit yang menyerang pada saat yang sama terhadap banyak individu di dalam populasi tumbuhan tertentu. Pada populasi tumbuhan seharusnya disebut sebagai epifitotik, dan di populasi hewan disebut epizootik. Namun demikian secara umum, disebut epidemi penyakit tumbuhan, penyakit hewan, bahkan penyakit manusia.

Kondisi yang harus dipenuhi untuk suatu penyakit yang tersebar luas, atau peledakan penyakit yang luas yaitu ada sejumlah tanaman rentan, inoculum patogen yang virulen yang banyak jumlahnya, kondisi lingkungan yang cocok untuk perkembangan penyakit dalam waktu yang relatif lama. Jadi ada peran populasi dan waktu.

Hakekat epidemiologi tumbuhan adalah ilmu yang membicarakan tentang meningkatnya penyakit dalam suatu populasi tumbuhan yang rentan. Yang utama adalah tentang pengetahuan mengenai laju peningkatan dari faktor faktor yang mempengaruhi penyakit. Van der Plank ahli epidemiologi tumbuhan menyatakan bahwa tidak diperlukan perbedaan antara meningkatnya penyakit dan meningkatnya jumlah

patogen yang berlebihan di dalam atau pada tumbuhan yang rentan.

Acapkali penyakit busuk daun kentang yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans* menjadi suatu contoh yang baik untuk menggambarkan dinamika penyakit tumbuhan. Patogen *Phytophthora infestans* istirahat sebagai miselium di dalam umbi kentang yang mungkin dibuang di sampah atau dipotong dan dijadikan bibit. Tunas kentang yang muncul dari bibit yang telah terinfeksi akan menghasilkan tanaman muda yang sakit yang nantinya akan menghasilkan spora yang dapat disebarkan oleh angin atau percikan air hujan. Spora inilah inokulum dalam siklus primer penyakit busuk daun kentang.

Jika di dalam suatu pertanaman kentang dari varietas kentang terdapat satu tunas yang sakit di antara tanaman seluas 120 hektar, patogen akan meningkat dengan sendirinya sehingga akan menghancurkan seluruh tanaman di lapang. Keadaan yang demikian ini dapat berlangsung dalam kondisi yang cocok bagi perkembangan penyakit, dalam waktu kurang dari tiga bulan. Meskipun penyakit lain berkembang lebih lambat daripada penyakit busuk daun kentang dan memerlukan kondisi yang berbeda, tetapi satu hal yang diperhatikan bahwa epidemi adalah proses dinamis dalam peningkatan patogen (bakteri, jamur, virus) yang menyebabkan penyakit.

Jika tidak dikendalikan maka epidemi seperti halnya perkembangan mikroorganisme akan berlangsung secara geometrik dan akan terjadi dalam tiga tahap. Tahap pertama atau *lag fase* (*stadia lambat*) yaitu suatu stadia dengan penyebaran berlangsung lambat karena mikroorganisme atau patogen beradaptasi dengan keadaan lingkungannya. Tahap kedua adalah tahap logaritmik (*logarithmic fase*) suatu tahap patogen memiliki laju perkembangan yang tinggi. Tahap ketiga yaitu tahap pasca logaritmik (*post logarithmic fase*). Menjelang

akhir dari epidemi, laju penyebaran patogen akan berkurang karena semakin terbatasnya jaringan yang peka.

Laju stadia lambat menandai tahap permulaan dari epidemi. Jaringan yang terinfeksi tidak membantu penyebaran lebih lanjut dari patogen sampai patogen tumbuh dalam jaringan tersebut dan menghasilkan inokulum untuk siklus selanjutnya. Waktu yang diperlukan jaringan yang terserang untuk menjadi infeksius dan menghasilkan inokulum disebut masa laten (*period of latency*).

Tahap awal epidemi ditandai dengan banyaknya tanaman yang keadaannya dalam periode laten. Laju peningkatan penyakit menjadi tinggi jika jumlah tanaman yang terserang relatif meningkat menunjukkan gejala dan tanaman infeksius namun keadaannya dalam masa laten berkurang jumlahnya. Infeksi pada awal epidemi dapat dikenali dengan munculnya gejala lesio lokal atau nekrotik. Hal lain adalah apabila dari awal infeksi sistemik maka penyakit dianggap lebih berbahaya karena tidak dapat segera dikendalikan. Epidemi penyakit yang sistemik memang lebih lambat dibandingkan dengan infeksi lokal, tetapi akhirnya infeksi sistemik akan menyebabkan kerugian yang besar. Epidemi penyakit sistemik dapat berlangsung dalam waktu yang lama pada tanaman keras, tanaman tahunan, dan perbanyakan vegetatif dengan menggunakan bagian tanaman sakit akan ikut menyebarkan keberadaan patogen.

Bercak yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans* pada kentang meningkat jumlahnya bermilyar milyar dalam satu tahun, demikian juga karat daun gandum meningkat hingga jutaan kali dalam satu tahun. Namun infeksi sistemik seperti penyakit Cucumber Mosaic Virus hanya meningkat kira-kira 30 kali dalam setiap tahunnya, kecuali memang virus dibantu disebarkan oleh serangga vektor yang sangat cepat

penyebarannya. Namun pada umumnya penyakit sistemik menyebar lambat, dan mudah dikendalikan dengan sanitasi yaitu pembuangan jaringan awal yang terinfeksi.

Pengetahuan tentang epidemiologi sering digunakan untuk menentukan pentingnya tindakan dalam pencegahan penyakit. Bila epidemi dapat diramalkan maka tindakan pencegahan dapat dianjurkan tepat waktu.

11.2 Peramalan Epidemi

Peramalan adalah pendugaan untuk kejadian yang akan datang. Suatu sistem peramalan harus didasarkan kepada faktor faktor yang mempengaruhi awal pemunculan dan penyebaran patogen selanjutnya. Faktornya bermacam macam, tetapi mungkin ditinjau yang penting misalnya 1) siklus hidup patogen meliputi cara patogen dorman atau istirahat, cara menyebar, dan cara menginfeksi, 2) tingkat kerentanan tanaman meliputi stadia pertumbuhan tanaman, 3) kondisi lingkungan di saat patogen istirahat, berkembang, dan menyebar, sehingga perlu meneliti terlebih dahulu peran masing masing komponen lingkungan seperti suhu, kelembaban, cahaya, pH media, jenis media di dalam laboratorium yang mendukung perkembangan patogen. Selanjutnya komponen tersebut diuji di lapangan dan dikaitkan dengan perkembangan gejala penyakit yang tampak pada tanaman.

Metode yang digunakan sebagai dasar peramalan penyakit tumbuhan yaitu

1. Kondisi cuaca selama bulan bulan tidak ada pertanaman terutama yang berpengaruh terhadap ketahanan hidup inokulum di tanah atau pada gulma
2. Kondisi cuaca selama ada tanaman budidaya

3. Banyaknya penyakit pada tanaman muda masih rentan
4. Banyaknya propagul atau bagian dari patogen infeksiif yang berhasil diisolasi dari udara, dari tanah, dan bahan sisa tanaman.

11.2.1 Kondisi Cuaca Selama Tidak Ada Pertanaman

Keadaan ini penting untuk mengetahui ketahanan hidup patogen atau vektor pada saat antara dua musim tanam. Iklim antara dua masa pertanaman dapat memusnahkan masa istirahat patogen atau memusnahkan serangga vektornya karena tidak ada tanaman budidaya yang diserangnya. Hal ini berarti akan menekan inokulum awal.

11.2.2 Kondisi Cuaca Selama Ada Pertanaman

Faktor meteorologi yang umum digunakan sebagai dasar peramalan penyakit tumbuhan adalah suhu dan kelembaban. Ledakan penyakit terjadi pada saat suhu dan kelembaban tinggi karena hujan terus menerus. Pengaruh iklim terhadap penyakit tanaman cukup kompleks. Iklim tidak hanya mempengaruhi siklus infeksi, tetapi juga mempengaruhi ketahanan tanaman dan juga jumlah serta aktivitas serangga vektornya. Peramalan kondisi cuaca (suhu dan kelembaban udara) telah digunakan untuk penyakit cacar daun teh di Indonesia. Peramalan tersebut mengikuti cara Huysmann, cara Homburg, cara Knapp, dan cara de Weille. Secara umum keadaan cuaca yang memicu penyakit tumbuhan adalah ada embun paling sedikit empat jam di malam hari, suhu minimum lebih dari 10°C, banyak awan dengan nilai kerapatan 0,8 serta curah hujan selama 24 jam 0,1 mm atau lebih.

11.3 Banyaknya Penyakit pada Tanaman Muda Masih Rentan

Tanaman muda tentu rentan karena energinya dipakai untuk pertumbuhan.

Banyaknya propagul atau bagian dari patogen infeksius yang berhasil diisolasi dari udara, dari tanah, dan bahan sisa tanaman.

Informasi tentang sirkulasi udara, arah angin yang mengangkut inokulum tentu berguna untuk peramalan terjadinya epidemi.

Selanjutnya sebagai contoh nyata diuraikan adanya empat komponen yang dapat dijadikan peramalan pada penyakit tungro. Tungro merupakan salah satu penyakit penting pertanian padi yang sering menggagalkan usaha peningkatan produksi padi nasional. Tungro disebabkan oleh dua jenis virus yang berbeda, yaitu virus bentuk batang Rice tungro bacilliform virus (RTBV) dan virus bentuk bulat Rice tungro spherical virus (RTSV). RTBV berdiameter 35 x 150-350 nm dengan panjang 100-300 nm dan RTSV berdiameter 30 nm (Hibino et al. 1978; Omura et al. 1983). Kedua jenis virus tersebut tidak memiliki kekerabatan serologi tetapi dapat menginfeksi satu sel tanaman secara bersama-sama tanpa mengakibatkan proteksi silang antara keduanya (Mukhopadhyay 1995).

Virus tungro hanya ditularkan oleh wereng hijau secara semipersisten, tidak terjadi multiplikasi virus di dalam tubuh vektor, dan tidak terbawa pada keturunannya (Hibino and Cabunagan 1986). Terdapat lima spesies wereng hijau yang dapat menularkan virus tungro yaitu *Nephotettix virescens*, *N. nigropictus*, *N. malayanus*, *N. parvus*, dan *Recilia dorsalis* (Rivera et al. 1968; Dahal et al. 1990). Wereng hijau menularkan virus tungro dengan efisiensi yang berbeda-beda dan *N. virescens* merupakan vektor terpenting karena efisiensi penularannya

paling tinggi (Sogawa 1976; Siwi and Suzuki 1991). Penularan virus tungro dapat terjadi apabila vektor memperoleh virus setelah menghisap tanaman yang terinfeksi virus kemudian berpindah dan menghisap tanaman sehat tanpa melalui periode laten di dalam tubuh vektor. Vektor memerlukan waktu selama 15-30 menit untuk memperoleh virus dari sumber inokulum (*aquisition feeding*) dan melakukan penularan (*inoculation feeding*) selama 10-30 menit. Masa inkubasi pada tanaman berkisar antara 1-3 minggu (Hibino and Cabunagan 1986). Masa retensi virus di dalam tubuh vektor dapat mencapai 4-5 hari (Hibino 1987), namun apabila vektor menghisap kedua jenis virus maka retensi untuk RTBV adalah 7 hari dan 3-4 hari untuk RTSV serta akan kehilangan virus saat ganti kulit (Hibino 1983). Di dalam penularan virus tungro, RTBV merupakan virus dependen, sedangkan RTSV sebagai virus pembantu (*helper virus*). Wereng hijau dapat menularkan RTSV dan RTBV secara bersama-sama dari sumber inokulum yang mengandung kedua jenis virus. Penularan RTBV hanya terjadi apabila vektor telah menghisap RTSV terlebih dahulu, sedangkan penularan RTSV dapat terjadi tanpa bantuan RTBV (Hibino et al. 1977).

Tiga penyebab utama terjadinya penularan tungro adalah ketersediaan sumber inokulum virus, adanya serangga penular, dan tanaman peka. Kompleksitas gejala tungro dipengaruhi oleh tingkat ketahanan varietas, umur tanaman saat terjadi infeksi dan jenis virus yang menginfeksi (Hibino et al. 1978). Tanaman padi yang terinfeksi kedua jenis virus tungro menunjukkan gejala yang kompleks. Apabila hanya terinfeksi RTBV maka gejala yang ditimbulkan lebih ringan, sedangkan apabila hanya terinfeksi RTSV maka tanaman tidak menunjukkan gejala (Hibino 1987). Gejala tungro mulai terlihat pada saat tanaman berumur 10-15 hari setelah inokulasi dan di pertanaman gejala muncul pada 21-30 hari setelah tanam (Ling 1976).

Tinggi rendahnya intensitas penyakit tungro ditentukan oleh beberapa faktor, di antaranya ketersediaan sumber inokulum, adanya vektor, adanya tanaman peka, dan kondisi lingkungan yang memungkinkan (Suzuki et al. 1992). Vektor yang mengandung virus (*viruliferous vector*) merupakan faktor yang paling penting (Ganapathy et al. 1999).

Intensitas penyakit tungro juga dipengaruhi oleh tingkat ketahanan varietas dan stadia tanaman. Semakin muda stadia tanaman, tersedia sumber inokulum, dan tingginya populasi vektor infektif menyebabkan tingginya intensitas penyakit tungro (Rapusas and Heinrich 1987).

Tingkat infeksi awal penyakit tungro ditentukan oleh populasi vektor infektif yang migrasi ke pertanaman, sedangkan perkembangan selanjutnya ditentukan oleh tingkat infeksi awal dan kepadatan vektor generasi pertama. Ledakan tungro umumnya terjadi dari sumber infeksi yang berkembang pada pertanaman yang tidak serempak. Persentase infektivitas vektor migran pada stadia awal pertanaman menyebabkan tingginya intensitas penyakit tungro yang akan menjadi sumber infeksi bagi pertanaman di sekitarnya (Raga et al. 2004).

Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh tanaman, virus tungro, wereng hijau sebagai vektor, kondisi lingkungan dan praktik budidaya padi. Epidemi penyakit tungro dikaitkan dengan pengendaliannya yaitu menghindarkan pertanaman dari infeksi virus yang meliputi beberapa komponen yaitu waktu tanam tepat, penggunaan varietas tahan, pergiliran varietas, kultur teknis (pemilihan waktu tanam, pemilihan varietas, eradikasi sumber inokulum pada tahap pratanam, pengelolaan persemaian, cara dan pengaturan jarak tanam, penggunaan pupuk N tidak berlebihan, pengaturan ketersediaan air, eradikasi sumber inokulum pada saat pascapanen dan pergiliran varietas, penggunaan pestisida sesuai dengan kondisi tertentu.

Padi tidak akan panen apabila infeksi terjadi sejak awal fase vegetatif atau pada tahap persemaian (Hasanuddin 2002). Epidemiologi Penyakit Tungro Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu; 1) tanaman (tingkat ketahanan varietas, keseragaman genetik varietas pada suatu wilayah, tipe dan stadia tanaman), 2) virus tungro (ketersediaan sumber inokulum, variasi dan virulensi strain virus tungro), 3) wereng hijau sebagai vektor (fluktuasi populasi wereng hijau, kepadatan populasi vektor infeksi, variasi biotipe, dan efisiensi penularan virus tungro oleh wereng hijau), 4) kondisi lingkungan (iklim, suhu dan kelembaban) dan 5) praktik budi daya.

Ketahanan varietas padi terhadap penyakit tungro merupakan kompleksitas ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro. Ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro dikendalikan oleh beberapa gen yang saling independen. Varietas tahan wereng hijau akan mencegah atau menghambat penularan virus tungro. Semakin rentan suatu varietas terhadap wereng hijau semakin tinggi kemungkinan terjadinya epidemi penyakit tungro. Varietas tahan virus tungro akan terhindar dari infeksi atau mencegah replikasi virus tungro. Keberadaan varietas yang tidak mempunyai gen ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro menyebabkan terjadinya epidemi penyakit tungro.

Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh keseragaman genetik varietas pada suatu hamparan yang sangat luas dengan kondisi lingkungan yang sama. Keberadaan varietas dengan gen ketahanan yang sama akan mempercepat tekanan seleksi wereng hijau dan terjadinya mutasi virus tungro. Epidemi penyakit tungro juga dipengaruhi oleh stadia tanaman, stadia sumber inokulum dan populasi wereng hijau infeksi. Semakin muda tanaman dan sumber inokulum semakin besar peluang

terjadinya penularan tungro. Ketersediaan tanaman muda di lapangan akan mempercepat terjadinya epidemi, misalnya di daerah dengan pola tanam yang tidak serempak akan selalu tersedia pertanaman muda sehingga penularan virus tungro akan terjadi terus-menerus.

Keragaman virulensi virus tungro dan tekanan seleksi koloni wereng hijau merupakan kompleksitas penyebab terjadinya epidemi penyakit tungro. Perbedaan geografis dan intensitas interaksi virus tungro dengan tanaman menyebabkan adanya variasi virulensi dan strain virus baru. Strain virus tungro biasanya bersifat spesifik lokasi. Virulensi strain virus tungro di Asia Tenggara (Indonesia dan Filipina) berbeda dengan di Asia Selatan (India). Berdasarkan adanya variasi virulensi virus tungro, keberadaan varietas padi berdasarkan sifat ketahanan terhadap virus tungro sangat berperan dalam perkembangan epidemi penyakit tungro. Keberadaan virus tungro (sumber inokulum), kepadatan populasi wereng hijau, dan iklim sangat mendukung terjadinya penularan tungro di lapangan. Keberadaan 30-40% sumber inokulum di pertanaman dan peningkatan populasi vektor menyebabkan tingginya intensitas penyakit tungro.

Wereng hijau memegang peranan penting dalam epidemi penyakit tungro. Tinggi rendahnya intensitas penyakit tungro berkorelasi positif dengan fluktuasi populasi wereng hijau apabila tersedia sumber inokulum (Suzuki et al. 1992). Kepadatan populasi wereng hijau yang rendah akan tetap efektif menyebarkan virus tungro (Widiarta et al. 2001). Survei di Filipina menunjukkan bahwa laju perkembangan penyakit tungro ditentukan oleh populasi wereng hijau infektif sebagai penular aktif (Azzam and Chancellor 2002). Tingkat infeksi awal penyakit tungro ditentukan oleh populasi vektor infektif yang migrasi ke pertanaman, sedangkan

perkembangan selanjutnya ditentukan oleh tingkat infeksi awal dan kepadatan vektor generasi pertama.

Faktor lingkungan, khususnya curah hujan dan kelembaban, relatif berpengaruh terhadap dinamika populasi wereng hijau (Siwi et al. 1987). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa populasi wereng hijau pada musim kemarau (MK) lebih rendah dari pada musim hujan (MH) (Carino 1980). Pola fluktuasi populasi wereng hijau dan keberadaan tungro di Kebun Percobaan Lokatungro Lanrang, Sulawesi Selatan menunjukkan adanya dua puncak populasi wereng hijau yang terjadi dalam satu tahun dan kepadatan populasi pada MK (akhir Agustus) lebih tinggi daripada MH (April). Faktor iklim terutama suhu berpengaruh terhadap daur hidup wereng hijau, perolehan virus dan penularan virus (Hasanuddin 1991). Ketersediaan air di pertanaman mempengaruhi kondisi agroekosistem pertanaman, terutama suhu dan kelembaban. Pemberian air yang cukup (agak tergenang) akan mengurangi aktivitas vektor dewasa sehingga mengurangi penyebaran tungro di pertanaman. Kondisi pertanaman yang kering (di bawah kapasitas lapang) akan merangsang pemencaran vektor yang akan memperluas penyebaran tungro (Widiarta et al. 2004).

Perkembangan penyakit tungro juga dipengaruhi oleh aktivitas praktik budidaya. Manusia sebagai pengambil keputusan menentukan jenis varietas yang akan ditanam, volume dan kepadatan tanam, keseragaman genetik pertanaman dalam suatu hamparan dan pemilihan waktu tanam. Melalui kultur teknis, aplikasi pengendalian secara biologi dan kimiawi, manusia telah mempengaruhi kualitas dan kuantitas inokulum primer dan sekunder serta kepadatan populasi vektor. Manusia juga memodifikasi lingkungan dalam menghambat perkembangan penyakit tungro melalui pengaturan waktu tanam berdasarkan kondisi iklim, pengaturan jarak tanam, dan pengaturan keter- sediaan air. Aktivitas manusia mempengaruhi

terjadinya perubahan dan kombinasi agroekosistem yang berpengaruh terhadap perkembangan penyakit tungro. Interaksi aktivitas manusia dengan elemen-elemen penyebab terjadinya penyakit menentukan penurunan atau peningkatan epidemi penyakit tungro. Pemilihan waktu tanam tepat telah memberikan dampak positif dalam pengendalian penyakit tungro di Sulawesi Selatan (Manwan et al. 1987). Waktu tanam tepat diidentifikasi berdasarkan pola fluktuasi populasi wereng hijau, keberadaan virus tungro, dan iklim terutama curah hujan pada kurun waktu tertentu. Pola fluktuasi populasi wereng hijau di suatu tempat akan berbeda dari musim ke musim, bergantung pada kondisi curah hujan sehingga akan terjadi puncak populasi pada waktu atau bulan tertentu (Sogawa 1976). Waktu atau bulan-bulan dengan keberadaan virus tungro dan populasi wereng hijau tinggi merupakan ancaman akan terjadinya epidemi. Oleh sebab itu, usaha pengendalian tungro dilakukan dengan menanam sebelum terjadi kepadatan populasi yang tinggi. Semakin tinggi populasi vektor semakin tinggi intensitas penyakit tungro (Tiongco et al. 1983). Pada saat populasi wereng hijau tinggi, pertanaman telah masuk fase generatif sehingga mengurangi tekanan infeksi virus tungro (Hasanuddin 2002), karena semakin muda tanaman terinfeksi semakin besar tingkat kehilangan hasil yang ditimbulkan (Ditjen Perlindungan Tanaman 1992).

Penggunaan varietas tahan merupakan komponen yang paling efektif dalam pengendalian tungro (Sama 1985; Loebenstein and Gera 1993), bahkan efektif pada berbagai ekosistem di Indonesia (Daradjat et al. 1999). Varietas tahan dapat mengurangi peran RTSV sehingga wereng hijau tidak dapat menularkan RTBV (Anonim 2003). Ketahanan varietas terhadap virus tungro akan menekan intensitas penyakit dan ketahanan terhadap vektor akan menekan penularan tungro. Peningkatan proporsi varietas tahan di suatu hamparan berpengaruh nyata

dalam mengurangi intensitas penyakit tungro (Holt 1996). Pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa penanaman varietas tahan wereng hijau terbukti efektif menurunkan intensitas penyakit tungro (Sama et al. 1991). Namun demikian, varietas tahan tidak boleh ditanam terus-menerus karena dapat meningkatkan tekanan seleksi vektor dan memungkinkan berkembangnya wereng hijau biotipe baru (Daradjat et al. 1999). Wereng hijau sangat mudah beradaptasi terhadap varietas tahan apabila berhasil terbentuk hingga enam generasi (Siwi dan Suzuki 1991), bahkan dapat terjadi setelah generasi ke-2 (Heinrich et al. 1982) atau setelah generasi ke-3. Pada generasi ke-6, aspek biologi wereng hijau tidak berbeda nyata apabila berada pada varietas peka (Taulu et al. 1987). Ketahanan varietas terhadap wereng hijau dapat terputihkan dan ada indikasi bahwa virulensi virus tungro terhadap varietas tahan sangat bervariasi (Widiarta dan Kusdianan 2002).

Terjadinya epidemi penyakit tungro berawal dari sumber infeksi yang berkembang pada pertanaman yang tidak serempak. Vektor infektif dari pertanaman tidak serempak akan menjadi sumber penular migran pada pertanaman di sekitarnya. Apabila populasi vektor migran infektif pada stadia awal (persemaian) tinggi, maka penyakit tungro akan berkembang pada pertanaman di sekitarnya (Raga et al. 2004). Pola tanam serempak akan memutus siklus hidup vektor dan keberadaan sumber inokulum. Penularan tungro tidak akan terjadi apabila tidak tersedia sumber inokulum walaupun ditemukan vektor. Sebaliknya, walaupun kepadatan populasi vektor sangat rendah namun apabila tersedia sumber inokulum akan terjadi penularan tungro. Vektor dewasa pada pola tanam tidak serempak lebih aktif memencar dibanding pada pola tanam serempak (Aryawan et al. 1993 dalam Widiarta et al. 2004). Penerapan pola tanam serempak tidak mudah dilakukan pada daerah yang telah lama

melakukan pola tanam tidak serempak karena kondisi lingkungan setempat dan sosio-ekonomi petani.

Ketersediaan sumber inokulum merupakan salah satu dari faktor utama penyebab terjadinya penularan tungro. Eradikasi sumber inokulum pada tahap pratanam penting dilakukan untuk menekan sumber inokulum primer sekecil mungkin dan menghindari infeksi awal virus tungro. Di beberapa daerah endemis, petani umumnya membuat persemaian sebelum pengolahan tanah, sehingga sumberinokulum senantiasaberkembang dan menjadi sumberinfeksi di persemaian. Hal ini dijumpai pada daerah dengan pola tanam yang tidak serempak pada suatu hamparan. Diketahui bahwa selain berkembang pada ratun tanaman padi yang sebelumnya tertular tungro, virus tungro juga dapat berkembang pada beberapa gulma seperti *Cyperus rotundus*, *Leptochloa chinensis*, *Jussiaea repens*, *Trianthema portulacastrum*, *Monochoria vaginakis*, dan *Phylantus niruri* (Widiarta et al. 2004). Eradikasi gulma di sekitar lahan akan mengeliminasi perkembangan virus tungro dan menghilangkan tempat bertahan hidup vektor setelah tidak tersedia pertanaman padi.

Di daerah dengan pola tanam serempak, waktu hambur benih yang tepat merupakan strategi awal untuk menghindari infeksi tungro di persemaian. Hambur benih sebelum terjadi peningkatan populasi vektor akan mengurangi terjadinya infeksi virus di persemaian. Apabila gejala tungro telah dijumpai pada saat singgang maka persemaian harus dibuat tiga hari setelah pengolahan tanah pertama dan dipadukan dengan penggunaan varietas tahan serta aplikasi insektisida butiran sehari sebelum semai (Raga et al. 2004). Peningkatan intensitas penyakit tungro terjadi sejak tiga minggu pertama yang merupakan hasil penularan dari persemaian. Satu atau dua minggu berikutnya intensitas penularan tungro tetap atau sedikit meningkat setelah

terjadi penularan sekunder dari sumber inokulum yang telah ada dan pada minggu-minggu selanjutnya akan terjadi peningkatan lagi (Sumardiyono et al. 2004).

Penanaman dengan cara jajar legowo dua baris atau empat baris dapat menekan pemencaran wereng hijau. Keberadaan tungro pada tanaman padi yang ditanam dengan sistem jajar legowo 4 lebih rendah daripada jajar legowo 2 (Widiarta et al. 2004). Pengaturan jarak tanam dengan jajar legowo adalah pengaturan jarak tanam padi dengan pola berselang-seling antara dua baris dengan satu baris kosong. Pengaturan jarak tanam ini dikembangkan berdasarkan pemanfaatan pengaruh barisan pinggir (border effect) peningkatan populasi tanaman sampai 30% yang berpeluang bagi peningkatan produksi padi. Dengan sistem jajar legowo, pemencaran vektor akan tertekan oleh adanya baris kosong dan dapat mengurangi penyebaran hama dan penyakit padi yang lain

Tanaman padi yang tertular tungro umumnya akan mengalami kekerdilan, daun berwarna oranye dan sedikit terpelintir, jumlah anakan berkurang, dan nilai kehampaan malai tinggi. Eradikasi tanaman tertular tungro harus dilakukan sejak awal sebelum terjadi penyebaran virus oleh vektor. Eradikasi dilakukan dengan cara pencabutan tanaman yang tertular tungro, kemudian ditanam kembali atau dibakar. Eradikasi dilakukan tanpa memperhatikan keberadaan vektor apabila telah ditemukan sumber inokulum, khususnya pada tanaman stadia muda di bawah umur 6 minggu setelah tanam (MST) (Raga et al. 2004). Pada umur 8 MST terjadi puncak infeksi kedua oleh vektor generasi G1 (Suzuki et al. 1992), sehingga tindakan eradikasi sumber inokulum di pertanaman umumnya dipadukan dengan pengaturan air dan aplikasi insektisida untuk mengendalikan vektor. Penggunaan insektisida dalam mengendalikan tungro bertujuan untuk eradikasi vektor pada

pertanaman yang tertular tungro agar tidak menyebar ke pertanaman lain dan mencegah terjadinya penularan virus pada pertanaman sehat.

Pemupukan N yang berlebihan menyebabkan pertanaman menjadi lemah atau mudah terserang vektor sehingga memungkinkan terjadi infeksi tungro. Penggunaan pupuk N berlebihan juga mempengaruhi kondisi pertanaman menjadi lebih rapat sehingga menyediakan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan vektor dan mempermudah penyebaran virus. Oleh karena itu, aplikasi pupuk N harus berdasarkan pengamatan dengan bagan warna daun (BWD) sehingga diketahui bahwa tanaman telah atau belum membutuhkan pupuk N. Pesatnya perkembangan teknologi pertanian organik berpengaruh terhadap berkurangnya penggunaan pupuk N (kimia). Penggunaan bahan organik dapat mencegah kahat unsur mikro pada tanah marginal atau tanah yang telah diusahakan secara intensif dengan pemberian pupuk yang kurang berimbang.

Pengaturan ketersediaan air penting bagi pertumbuhan tanaman dan berpengaruh terhadap perkembangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Ketersediaan air di pertanaman mempengaruhi kondisi agroekosistem pertanaman, terutama suhu dan kelembaban. Pengaturan ketersediaan air bertujuan untuk membuat kondisi pertanaman sedemikian rupa sehingga sesuai untuk pertumbuhan tanaman, namun dapat mengurangi atau menekan populasi vektor sehingga penularan dan penyebaran virus tungro dapat ditekan. Penerapan beberapa komponen kultur teknis dalam pengendalian penyakit tungro perlu didukung oleh pengamatan secara periodik terhadap populasi vektor dan keberadaan sumber inokulum pada setiap tahap budi daya, sehingga dapat diketahui tindakan pengendalian yang akan dilakukan. Pengamatan dapat dibagi

menjadi beberapa tahap, yaitu singgang, persemaian, tanaman umur 2-4 MST, dan 6-9 MST. Selain itu perlu diketahui data dukung lainnya seperti curah hujan, komposisi varietas, dan sebaran penularan tungro yang telah terjadi pada musim-musim sebelumnya (Raga et al. 2004). Penggunaan insektisida dalam mengendalikan tungro bertujuan untuk eradikasi vektor pada pertanaman yang telah tertular tungro agar tidak menyebar ke pertanaman lain dan mencegah terjadinya infeksi virus pada pertanaman sehat. Insektisida sistemik butiran lebih efektif mencegah infeksi tungro oleh vektor, seperti aminosulfan (Habibuddin et al. 1987). Insektisida imidacloprit atau tiametoksan dapat digunakan pada persemaian untuk menghambat penularan tungro oleh vektor. Penggunaan insektisida hayati dengan jamur entomopatogen diketahui dapat mengurangi dan menekan pemencaran vektor. Jamur *Beauveria bassiana* dan *Metharizium anisopliae* dapat menekan pemencaran dan menyebabkan mortalitas vektor dengan masa inkubasi yang berbeda (Widiarta et al. 2004). Aplikasi insektisida pada satu hari setelah tanam (HST) dan 30 HST dapat mengendalikan populasi wereng hijau sehingga mengurangi intensitas penyakit tungro (Manwan et al. 1987). Namun demikian insektisida mempunyai kemampuan terbatas dalam mengendalikan vektor infeksi. Diketahui bahwa masa inokulasi virus tungro sangat pendek, yaitu 7 menit waktu tercepat dan 30 menit waktu terlambat sehingga virus telah ditularkan sebelum wereng hijau mati karena insektisida (Ling 1968 dalam Widiarta et al. 2004). Aplikasi insektisida dengan daya bunuh cepat hanya efektif menekan keberadaan tungro pada pertanaman padi dengan pola tanam serempak karena terbatasnya wereng hijau migran yang infeksi (Widiarta et al. 1998 dalam Widiarta et al. 2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Azzam, O. and T.C.B. Chancellor. 2002. The biology, epidemiology and management of rice tungro disease in Asia. *Plant Disease* 86:88-100.
- Baehaki, S.E. dan H. Suharto. 1985. Penyakit tungro. Makalah temu lapang pengendalian penyakit tungro di Banyumas, 18-19 September 1985.
- Choi, R.I. 2004. Current status of rice tungro disease research and future program. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Chuwadhury, A.K. and A.N. Mukhopadhyay. 1975. Effect of virus on yield components. *International Rice Commission. News Letter* 42(2):74-75.
- Dahal, G., H. Hibino, and R.C. Saxena. 1990. Association of leafhopper feeding behavior with transmission of rice tungro to susceptible and resistant rice cultivar. *Phytopathology* 80:371-377.
- Daradjat, A. A., I.N. Widiarta, dan A. Hasanuddin. 1999. Breeding for rice tungro virus resistance in Indonesia. *Rice Tungro Disease Management*. IRRI.
- Daradjat, A.A., I.N. Widiarta, dan Jumanto. 2004. Prospek perbaikan varietas padi tahan virus tungro dan serangga wereng hijau. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.

- Ganapathy, T., N. Subramanian, and M. Surendran. 1999. GLH control for management of rice tungro disease. Rice Tungro Disease Management. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Habibuddin, H., T. Takita, and N.K. Ho. 1987. Research and management of tungro disease in Peninsular Malaysia. Proc. of the Workshop on Rice Tungro Virus. AARD-Maros Research Institute for Food Crops.
- Hasanuddin, A. 1991. Pengaruh faktor iklim terhadap aktivitas serangga wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant) dan serangan penyakit tungro. Prosiding Simp. Meteorologi Pertanian III. Malang, 20-22 Agustus 1991.
- Hasanuddin, A. 1999. Monitoring dan serangan penyakit tungro di Nusa Tenggara Barat. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi.
- Hasanuddin, A., I.N. Widiarta, dan M. Muhsin. 2001. Penelitian teknik eliminasi sumber inokulum RTSV: suatu strategi pengendalian tungro. Laporan Riset Unggulan Terpadu IV. Kantor Menristek dan DRN. Jakarta.
- Hasanuddin, A. 2002. Pengendalian penyakit tungro terpadu: strategi dan implementasi. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Heinrichs, E.A., F. Madrano, L. Sunio, H. Rapusas, A. Romena, C. Vega, V. Viajante, D. Centina, and T. Domingo. 1982. Resistance of IR varieties to insect. Int. Rice Res. Newsl. 7:9-10.
- Hibino, H., N. Saleh, and M. Roechan. 1977. Transmission of two kinds of rice tungro associated viruses by insect vectors. Phytopathology 69:1266-8.

- Hibino, H., M. Roechan, and S. Sudarisman. 1978. Association of two types of virus particles with penyakit habang (tungro disease) of rice in Indonesia. *Phytopathology* 68:1412-6.
- Hibino, H. 1983. Relation of rice tungro bacilliform and rice tungro spherical virus with their vector *Nephotettix virescens*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 49:545-553.
- Hibino, H. and R.C. Cabunagan. 1986. Rice tungro associated viruses and their relation to host plants and vector leafhopper. *Trop. Agr. Res. Ser.* 19:173-182.
- Hibino, H. and P.Q. Cabautan. 1986. Dependent transmission of rice tungro bacilliform virus on rice tungro spherical virus by vector leafhopper. In: Z. Hidaka and N. Zako (Eds.). *Proc. Int. Symp. on Transmission of Plant and Animal Viruses by Vectors*. Fukuoka 1986.
- Holt, J. 1996. Spatial modelling of rice tungro disease epidemics. In: Chancellor, Teng and Heong (Eds.). *Rice Tungro Disease Epidemiology and Vector Ecology*. IRRI and NRI. p. 74-86.
- Ling, K.C. 1975. Experimental epidemiology of rice tungro disease: effect of virus source on disease incidence. *Philipp. Phytopathol.* 11: 46-57.
- Ling, K.C. 1976. Recent studies on rice tungro disease. *IRRI Res. Paper.* 11p. Ling, K.C. 1979. *Rice virus disease*. IRRI, Los Banos, Philippines. 142p.
- Loebenstein, G. and A. Gera. 1993. The local lesion response to viruses possibilities for engineering resistant plants. *Biotechnology in Plant Disease Control*. Wiley-liss, Inc. p.105-113.

- Manwan, I., S. Sama, and S.A. Rizvi. 1987. Management strategy to control rice tungro in Indonesia. Proc. of the Workshop on Rice Tungro Virus. Maros Research Institute for Food Crops. p.92-97.
- Muis, A. dan A. Hasanuddin. 1985. Pengaruh waktu tanam dan tingkat ketahanan varietas padi terhadap penyakit tungro. Hasil penelitian penyakit tanaman 1983/1984. Balai Penelitian Tanaman Pangan Maros. p.40-45.
- Muis, A., M. Yasin, dan A. Hasanuddin. 1990. Epidemiologi penyakit tungro, pergiliran varietas dan waktu tanam. Hasil Penelitian Padi, Balai Penelitian Tanaman Pangan Maros.
- Raga, I.N., W. Murdita, Tri, M.P.L., Edi, S.W, dan Oman. Sistem surveillance antisipasi ledakan penyakit tungro di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Rapusas, H.R., and E.A. Heinrich. 1987. Plant age effect on the level of resistance of rice IR36 to the green leafhopper *Nephotettix virescens* (Distant) and rice tungro virus. Environ. Entomol. 16:106-110.
- Rivera, C.T., S.H. Ou, and D.M. Tantera. 1968. Tungro disease of rice in Indonesia. Plant Disease 52:122-124.
- Sama, S. 1985. Penerapan konsep pergiliran varietas dalam pengelolaan penyakit tungro. Makalah Temu Lapang Pengendalian Penyakit Tungro di Banyumas, 18-19 September 1985.
- Sama, S., A. Hasanuddin, I. Manwan, R.C. Cabunagan, and H. Hibino. 1991. Integrated rice tungro disease management in South Sulawesi. Indonesia. Crop Protection 10:34-40.

- Siwi, S.S. and Y. Zusuki. 1991. The green leafhopper (*Nephotettix* spp.): vector of rice tungro virus disease in Southeast Asia, particularly in Indonesia and its management. Indonesian Agricultural Research & Development. Journal 13(1 & 2):8-15. Siwi, S.S., I.N.
- Widiarta, dan A. Hasanuddin. 1999. Daya hidup dan kemampuan koloni *Nephotettix virescens* (Distant) sebagai penular virus tungro. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 18:6-14.
- Sumardiyono, Y.B., S. Hartono, dan I. Suswanto. 2004. Interaksi RTV dengan wereng hijau dan daur penyakit tungro pada padi. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Suzuki, Y., I.G.N. Astika, I.K.R. Widrawan, I.G.N. Gede, I.N. Raga, and Soeroto. 1992. Rice tungro disease transmitted by green leafhoppers: its epidemiology and forecasting. JARQ 26:98-104
- Takahashi, Y., F.R. Tiongco, P.Q. Cabauatan, H. Koganezawa, H. Hibino, and T. Omura. 1993. Detection of rice tungro bacilliform virus by polymerase chain reaction for assessing mild infection of plants and viruliferous vector leafhoppers. Phytopathology 83(6):655-659. Taulu, L.A., S.
- Sosromarsono, I.N. Oka, and E. Guhardja. 1987. Adaptation of green leafhopper *Nephotettix virescens* (Distant) to several varieties of rice. Proceeding of the Workshop on Rice Tungro Virus. Maros Research Institute for Food Crops. p:56-62.
- Tiongco, E.R., R.C. Cabunagan, and H. Hibino. 1983. Resistance of five IR varieties to tungro. Int. Rice. Res. Newsl. 8(4): 6

- Widiarta, I.N. 1997. Status penyebaran penyakit tungro pada padi di Jawa Barat. Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia 3:23-31. 204 Iptek Tanaman Pangan Vol. 3 No. 2 - 2008
- Widiarta, I.N., D. Kusdianan, dan A. Hasanuddin. 2001. Analisis dinamika populasi wereng hijau *Nephotettix virescens* pada padi sawah di musim kemarau dan musim hujan. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 20(3):11-16
- Widiarta, I.N. dan D. Kusdianan. 2002. Identifikasi strain virus tungro. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. Widiarta, I.N., Yulianto, dan A. Hasanuddin. 2003. Pengendalian terpadu penyakit tungro dengan strategi eliminasi peranan virus bulat. Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi. Balitpa. p.513-527.
- Widiarta, I.N., Burhanuddin, A.A. Daradjat, dan A. Hasanuddin. 2004. Status dan program penelitian pengendalian terpadu penyakit tungro. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September

BAB 12

PENGELOLAAN PENYAKIT TUMBUHAN

Oleh Olivia Cindowarni

12.1 Pendahuluan

Pengelolaan (*management*) penyakit tumbuhan ialah tindakan melakukan seluruh pendekatan (*approach*) dalam mengendalikan penyakit tumbuhan. Pengelolaan penyakit tumbuhan bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan suatu kondisi organisme yang tidak normal yang diakibatkan oleh adanya infeksi patogen mikroorganisme seperti jamur, bakteri, dan virus. Terkadang, tidak hanya infeksi patogen dan tanaman inang saja yang menjadi objek permasalahan, tetapi berdasarkan faktor lingkungannya yang terdiri dari biotik dan abiotik (tanah, iklim, dan kultur teknis). Seiring perkembangan waktu, mulai adanya konsep pengelolaan penyakit tanaman terpadu (PPTT) atau *integrated disease management* (IDM), konsep ini menggunakan bermacam-macam pendekatan atau metode pengendalian secara bersama-sama guna meningkatkan efisiensi dan memperkecil risiko kerusakan lingkungan hidup.

12.2 Prinsip Pengelolaan Penyakit Tumbuhan

Prinsip pengelolaan penyakit tumbuhan yang dikemukakan oleh *Food and Agriculture Organization* (FOA) atau Organisasi Pangan dan Pertanian pada tahun 1977 dalam mengaplikasikan

suatu konsep pengelolaan penyakit tanaman yaitu sebagai berikut:

12.2.1 Identifikasi penyakit tumbuhan

Identifikasi dilakukan dengan cara mengamati sifat morfologi koloni serta dilakukan pengujian sifat-sifat fisiologi dan biokimia. Dalam hal ini, termasuk juga mengenai bioekologi dari penyakit tumbuhan tersebut.

12.2.2 Pengelolaan agroekosistem

Metode ini berupaya untuk mengelola ekosistem yang telah dimodifikasi manusia untuk kepentingan produksi pangan, serat, dan bahan bakar. Agroekosistem pada sebagian besar tidak memiliki diversitas (keanekaragaman hayati) secara biotik dan genetik yang tinggi. Pengelolaan agroekosistem dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti makhluk hidup vertebrata, iklim, sistem budidaya tanaman yang terdiri dari tanaman utama dan sekunder, sistem pengairan, serta keadaan sosial ekonomi petani. Dalam pengelolaan agroekosistem memadukan nilai-nilai ekonomi, ekologi, dan sosial untuk mengatasi tantangan dan menemukan peluang. Sehingga, terciptanya keseimbangan ekosistem yang baik yang dapat menjaga keberlangsungan rantai makanan organisme tumbuhan (Hasibuan, 2003).

12.2.3 Strategi Pengelolaan Penyakit Tumbuhan

Strategi pengelolaan dilakukan dengan memilih komponen-komponen pengelolaan yang kompatibel antar satu sama lain. Komponen-komponen ini dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan tanpa merusak ekosistem. Komponen pengelolaan tumbuhan terdiri dari:

- a. Penggunaan varietas yang resisten penyakit tumbuhan.

- b. Sistem budidaya yang meliputi tanaman tumpang sari, waktu tanam, tanam bergilir, sanitasi selektif, irigasi, jarak tanam, teknik pemangkasan, tanaman refugia, tanaman penutup tanah, serta pemulsaan.
- c. Pestisida tumbuhan yang berguna untuk melindungi tumbuhan yang terserang penyakit. Pestisida harus digunakan secara efektif dan bijaksana acara terciptanya pengelolaan penyakit tumbuhan dengan tepat. Dalam konteks pengelolaan penyakit tumbuhan, pengguna harus memperhatikan keterangan, seperti efektivitas, jenis pestisida, volume penggunaan, frekuensi dan waktu aplikasi, konsentrasi dan dosis anjuran,
- d. Penerapan pengendalian secara biologis atau hayati seperti antagonisme, kompetisi, parasitisme, dan sebagainya. Pengendalian dengan agen hayati ini mampu menekan populasi penyakit tanpa meninggalkan bahan-bahan residu yang dapat merusak lingkungan.
- e. Peraturan karantina tumbuhan di wilayah internasional, nasional, dan regional. Peraturan ini berkaitan dengan konservasi dan pemanfaatan tumbuhan, serta pengelolaan hak kepemilikan dan akses sumber daya tumbuhan (Djafaruddin, 2008).

12.2.4 Ambang Kerugian Ekonomi (AKE)

Penentuan Ambang Kerugian Ekonomi (AKE) terhadap penyakit tumbuhan. Ambang Kerusakan Ekonomi adalah prinsip penting dalam Pengelolaan Terpadu yang membantu petani mengambil keputusan dalam pengelolaan penyakit tumbuhan berdasarkan pertimbangan ekonomi. Konsep Ambang Kerusakan Ekonomi merupakan tingkat kerusakan tanaman yang diindeks dengan jumlah populasi serangan penyakit. Kepadatan penyakit tumbuhan dengan tingkat kerusakan tumbuhan atau luka ekonomi yang mencapai Ambang Ekonomi (AE) dapat diperkirakan menyebabkan kerugian ekonomi jika tidak dikendalikan, sedangkan tingkat kerusakan tumbuhan dibawah

AE tidak perlu dilakukan Pengelolaan penyakit tumbuhan (Sudarsono, 2015).

12.2.5 Monitoring Penyakit Tumbuhan

Teknik monitoring penyakit tumbuhan yang di deteksi sejak dini. Monitoring bertujuan untuk mengetahui perkembangan penyakit secara kuantitatif ataupun kualitatif, seperti suhu, kelembapan udara, angin, curah hujan, cahaya matahari, dan sebagainya. Deteksi dini memungkinkan petani untuk mengambil tindakan pencegahan lebih awal, sehingga penyakit tidak berkembang menjadi wabah yang lebih besar (FAO, 1993).

12.3 Metode Pengelolaan penyakit Tumbuhan

Pengelolaan penyakit tumbuhan adalah salah satu aspek dari banyak hal yang perlu dipertimbangkan dalam budidaya tumbuhan. Pengelolaan penyakit tumbuhan bertujuan untuk mencegah terjadinya kerugian ekonomis serta menaikkan nilai hasil produksi panen tumbuhan. Oleh sebab itu, berikut ini metode Pengelolaan penyakit tumbuhan.

12.3.1 Pengendalian Kultur Teknis

Pengendalian kultur teknis bertujuan untuk mengelola agroekosistem agar terhambatnya perkembangan populasi penyakit tumbuhan. Umumnya pengendalian ini dianggap sebagai salah satu pengendalian yang murah, apabila petani telah menguasai teknik-tekniknya. Pengendalian kultur teknis ini dapat berhasil apabila petani memiliki pemahaman terhadap ekosistem buatan (agroekosistem) yang termasuk atas biologis dari organisme pengganggu tumbuhan. Pengendalian kultur teknis ini sangat aman terhadap lingkungan karena tidak menyebabkan pencemaran lingkungan akibat residu kimia

lainnya, dalam pengaplikasiannya juga dapat di kolaborasikan dengan pengendalian hayati dan kimiawi.

Pengendalian kultur teknis terdiri dari penggunaan tumbuhan perangkap, pergiliran (rotasi) tumbuhan, sanitasi tumbuhan, penggunaan varietas tahan, pengelolaan tanah, pengelolaan air, penjarangan tumbuhan, dan pemupukan. **Tumbuhan perangkap** dapat berfungsi untuk menambah keanekaragaman hayati dan dapat dimanfaatkan untuk mendukung kebutuhan budidaya tumbuhan utama. **Pergiliran (rotasi) tumbuhan** dapat dilakukan dengan cara rotasi tanam panjang-pendek, bertujuan untuk menjaga keseimbangan tanah dan lingkungan. **Sanitasi tumbuhan** dilakukan pada bagian tumbuhan yang sudah terserang penyakit dengan cara dipotong, dikumpulkan, dan dibakar ditempat khusus. Pembakaran sangat penting dilakukan untuk menghilangkan penyakit yang bersifat permanen (*soilborn*), sedangkan pada tumbuhan yang kerdil dilakukan dengan pemberian pupuk cair, dan pada tanaman tertentu dapat dilakukan penyambungan (stek) sehingga menghasilkan tumbuhan yang resisten. **Penggunaan varietas tahan** terhadap penyakit tumbuhan untuk mengurangi kehilangan hasil dari serangannya, dengan cara ini tumbuhan sama sekali tidak terserang (kebal) terhadap penyakit tumbuhan. **Pengelolaan tanah dan air** harus diperhatikan karena ketika aliran air sudah tercemar dengan limbah yang mengandung bahan kimia, maka tanaman yang ditanam juga akan terkontaminasi dengan senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam air. Pecemaran air dapat dicegah dengan dilakukan penanaman eceng gondok pada penampungan air sekitar. **Penjarangan dan Pemupukan Tumbuhan** dilakukan untuk mengurangi dampak kerusakan tumbuhan akibat posisi tumbuhan yang terlalu rapat. Selain itu, pemupukan yang tepat dan seimbang dapat meningkatkan daya tahan tanaman

terhadap penyakit dengan memperkuat jaringan tanaman dan meningkatkan sistem pertahanan alami.

12.3.2 Pengendalian Mekanik dan Fisik

Pengendalian mekanik dan fisik merupakan teknik pengendalian secara langsung untuk mengurangi patogen yang menyebabkan penyakit tumbuhan. Keunggulan pengendalian mekanik dan fisik pada tanaman yaitu tidak berbahaya bagi lingkungan hidup karena tidak menggunakan bahan kimia. Namun, kelemahan pengendalian ini ialah dalam penggunaannya biaya relatif mahal karena membutuhkan waktu dan tenaga yang besar, terutama untuk areal lahan yang luas. Oleh karena itu, penggunaan pengendalian mekanik dan fisik ini lebih efektif pada skala kecil atau untuk lahan yang sempit.

Pengendalian mekanik merupakan cara pengendalian yang paling umum digunakan dalam skala kecil di kehidupan sehari-hari untuk tanaman pekarangan, atau untuk luasan lahan yang sempit. Pengendalian mekanik dapat dilakukan dengan cara pemusnahan dengan tangan (*hand picking*), alat yang dapat menangkap atau mengeluarkan mikroorganisme, sterilisasi alat penanaman, memisahkan tanaman yang terserang patogen, mengolah lahan untuk membunuh mikroorganisme tanah. Pengendalian fisik bersangkutan dengan penggunaan cahaya dan manipulasi atau perubahan dalam suhu atau kelembaban, karena patogen memiliki batas suhu maksimum ataupun minimum untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Pengendalian fisik dapat dilakukan dengan cara pemasangan perangkap, sanitasi bagian tanaman untuk mengurangi serangan patogen, membakar sisa-sisa tanaman, pengaturan suhu tinggi atau rendah, mengatur kelembaban, pengaturan cahaya (*solarisari*), dan gelombang suara (Sembel, 2012).

12.3.3 Pengendalian Kimiawi

Pengendalian kimiawi merupakan metode atau teknik dalam pemberantasan penyakit tumbuhan, yang menggunakan zat penolak (*reppellent*), zat pemikat (*attractanst*), zat pemandul, pestisida, dan zat penghambat pertumbuhan organisme pengganggu tumbuhan. Dalam Pengelolaan penyakit tumbuhan yang sering kali dikemukakan ialah fungisida. Fungisida berasal dari kata *fungus* artinya jamur atau cendawan dan *side* artinya racun. Fungisida dapat berperan sebagai proteksi, yang merupakan usaha terhadap tumbuhan ataupun keadaan sekitar tumbuhan agar penyakit yang menyerang dapat mati sebelum masuk kedalam bagian tumbuhan. Selain itu, fungisida dapat berperan sebagai immunisasi, yang merupakan teknik dalam mencegah penyakit yang sudah masuk kedalam bagian tumbuhan, dengan harapan penyakit tersebut hilang dan tumbuhan dapat bebas dari gangguan penyakit atau patogen tumbuhan (Djojsumarto, 2020). Dengan kata lain, fungisida dapat digunakan untuk memberantas atau mengendalikan penyakit-penyakit tumbuhan, berikut secara rinci tipe-tipe fungisida:

- a. Proteksi merupakan tipe fungisida yang memberikan perlindungan terhadap infeksi pada bagian yang sudah ditularkan atau belum ditularkan (perlindungan).
- b. Eradikasi merupakan tipe fungisida yang dapat mengobati atau menyembuhkan infeksi tumbuhan, dengan memusnahkan patogen dibagian yang terinfeksi.
- c. Sistemik merupakan tipe fungisida yang dapat mencegah perkembangan penyakit tumbuhan menjalar atau menyebar ke bagian lainnya.

12.3.4 Pengendalian Hayati

Pemaduan metode pengendalian hayati kedalam pengendalian terpadu (IPC) merupakan bagian dari pengembangan konsep pengendalian terpadu dengan pengendalian kimia. Pengendalian hayati ini merupakan salah satu komponen yang penting terutama ditinjau dari segi efektivitas, ekonomi, dan keamanan lingkungan. Metode pengendalian hayati menggunakan mikrobiologis seperti jamur, bakteri, dan virus sering kali ditemukan. Patogen mikroorganisme dapat mengadakan infeksi inang serangga edngan dua cara, yaitu secara kontak pada permukaan kulit serangga dan secara menginfeksi. Cara menginfeksi dengan kontak terjadi untuk jamur-jamur serangga dan nematoda serangga. Cara lainnya, yaitu dengan memakan atau menelan patogen. Hal ini terjadi pada mikroorganisme seperti bakteri, virus, protozoa, dan beberapa nematoda (Sembel, 2020).

Pengendalian hayati dengan mikrobiologi ini memiliki keuntungan, yaitu (1) patogen tidak meninggalkan racun yang berbahaya; (2) patogen memiliki spesifitas yang tinggi, sehingga tidak mengganggu organisme lain atau musuh alami seperti parasitoid; (3) patogen bersifat kompatibilitas terhadap pestisida, sehingga dapat digunakan secara bersamaan; (4) patogen mudah dikembangbiakkan, sehingga relatif murah; dan (5) patogen dapat mengendalikan serangan organisme pengganggu tanaman secara permanen. Selain itu pengendalian hayati dengan mikrobiologi ini memiliki keuntungan, yaitu (1) adanya kesulitan untuk menjaga patogen hidup dan menghasilkan patogen dalam jumlah yang banyak secara aseptik; (2) adanya beberapa jenis patogen yang membutuhkan keadaan lingkungan (cuaca) yang sesuai untuk menginfeksi organisme pengganggu tanaman; dan (3) adanya kecendrungan patogen yang menyebabkan organisme pengganggu tanaman tertinggal

pada daun tanaman utama (tanaman budidaya) khususnya tanaman pangan.

12.3.5 Pengendalian dengan perundang-undangan (Karantina)

Karantina berasal dari kata *quarantine* yang berarti empat puluh. Dulu, kata ini digunakan pada kapal yang membawa penumpang berpenumpang penyakit menular, sehingga penumpang tersebut dianjurkan untuk menunggu di kapal selama empat puluh hari. Karantina bertujuan untuk mencegah masuknya dan menyebarkan penyakit, hama, dan gulma yang baru. Umumnya dilakukan antarnegara, antarprovinsi, antarpulau ataupun antardaerah pada tumbuhan yang dibawa atau dikirim. Tumbuhan tersebut harus melewati stasiun karantina yang diawasi dengan peraturan yang ketat sebelum diijinkan masuk ke wilayah yang berbeda, melalui proses pengujian atau pemeriksaan tumbuhan (Untung, 2007).

Pengelolaan penyakit tumbuhan ini menggunakan peraturan-peraturan pemerintah atau undang-undang tertentu. Pengendalian ini bertujuan agar tidak adanya penyakit tumbuhan yang menyebar luas ke dalam wilayah atau negara yang baru. Pemusnahan atau eradikasi terhadap tumbuhan yang terserang penyakit harus segera dilakukan oleh seluruh pembudidaya (petani). Dalam pemusnahan tumbuhan tidak hanya pada tumbuhan yang terserang penyakit, tetapi juga terhadap tumbuhan lainnya yang dapat digunakan sebagai tempat hidup atau bertahannya penyakit tumbuhan (Djafaruddin, 2008).

Pengelolaan penyakit dengan perundang-undangan bertujuan untuk melindungi hasil-hasil budidaya tumbuhan di dalam negeri terhadap penyakit, hama, dan gulma yang baru datang. Kedatangannya mungkin terjadi saat adanya tumbuhan

yang di impor atau yang sudah terdapat di suatu wilayah tetapi belum terdapat di wilayah lain. Larangan ini dilakukan berdasarkan tingkat kebahayaannya, lalu keadaan alam, dan kepentingan ekonominya.

Tugas organisasi karantina tumbuhan di Indonesia yaitu (1) mengadakan pemeriksaan yang seksama terhadap masuknya tumbuh-tumbuhan serta hasil-hasilnya dari satu negara atau tempat; (2) mengadakan pengecekan terhadap pergerakan komoditas-komoditas pertanian seperti buah-buahan, sayur-sayuran, bibit, dan bahan propagasi; (3) memberikan sertifikasi kesehatan/keamanan terhadap suatu komoditas yang akan dikembangkan atau yang akan dikeluarkan ke tempat lain; (4) mengadakan pengecekan pasca pelepasan komoditas yang baru di lapangan; dan (5) mengadakan survey dan pengenalan hama dan penyakit tanaman.

Persyaratan bagi petugas karantina tumbuhan tergantung pada petugas karantina. Syarat bagi petugas karantina yang baik yaitu (1) petugas karantina harus memahami dengan benar mengenai organisme-organisme pengganggu tanaman (OPT); (2) petugas karantina mampu memahami gejala-gejala serangan hama dan penyakit pada tanaman serta kelainan-kelainan pada tanaman akibat faktor genetis atau lingkungan fisik seperti kekurangan hara; (3) petugas karantina harus disiplin dan berani melaksanakan tugas dan tidak boleh dominan pada sebelah pihak.

12.4 Pengelolaan Penyakit Tumbuhan Terpadu

Konsep pengelolaan secara terpadu yang berlandaskan kepada prinsip “ekologi” telah lama dikemukakan oleh FAO dan secara resmi akan diterapkan di seluruh dunia, yang termasuk Indonesia. Hubungan timbal balik yang terjadi antara penyakit

tumbuhan dengan lingkungan (faktor abiotik dan biotik) mampu sebagai dasar penentuan strategi Pengelolaan Penyakit Tumbuhan yang baik. Pengelolaan secara terpadu didasari pada pertimbangan ekologi dan efisiensi ekonomi dalam pengelolaan agroekosistem tumbuhan. Pertimbangan atau pendekatan ekologi dalam pengelolaan penyakit tumbuhan terpadu yang bersifat multidisiplin, yang memerlukan pemahaman mengenai agroekosistem dalam program pengelolaannya. Pertimbangan atau efisiensi ekonomi dalam pengelolaannya memerlukan jaminan bahwa tindakan pengelolaan yang dilakukan oleh pembudidaya (petani) tidak berlebihan (boros) sehingga dapat dipastikan memberikan keuntungan dari segala segi ekonomi kepada petani, tidak hanya meningkatkan hasil panen tumbuhan (Sutarman, 2020)

Permasalahan seorang petani yang mengusahakan atau melakukan suatu usaha tani yang terpadu (*integrated*). Pertanian organik, pengelolaan hama dan penyakit terpadu (*Interated Pest Management*), dan pengelolaan hara terpadu (*Integrated Nutrient Management*), mulai diterapkan untuk mengurangi dampak penggunaan bahan kimia sintetis. Petani bertindak sebagai produsen (penghasil) dan sebagai konsumen (pemasar hasil), petani berusaha untuk mencapai hasil yang optimal, baik secara kuantitas maupun kualitas, petani sering kali berhadapan dengan penyakit tumbuhan. Penyakit tumbuhan mengganggu atau dapat menggagalkan pada fase I, adanya gangguan sejak pemilihan benih atau bibit perbanyak tumbuhan, yang disertai pada proses penanaman hingga panen. Setelah memasuki fase II, adanya gangguan atau pemasalahan yang dapat mengurangi atau meniadakan hasil panen hingga ke tangan konsumen (pascapanen). Penanganan masalah pascapanen perlu ditinjau bagi keselamatan konsumen, seperti adanya racun yang dikeluarkan oleh beberapa jamur atau bakteri. Rekayasa agroekosistem melalui bercocok tanam dapat dilakukan dengan

menggunakan varietas tahan, penggunaan varietas ini untuk menciptakan keberadaan penyakit tumbuhan berada dibawah ambang ekonomi sehingga tidak menyebabkan kerusakan tanaman.

Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) padi sawah merupakan suatu inovasi dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi usahatani padi melalui perbaikan sistem dan pendekatan dalam perakitan paket teknologi, dinamisasi komponen teknologi padi yang memiliki efek sinergistik yang dilakukan secara partisipatif, dan bersifat dinamis. Pengelolaan Tanaman Terpadu padi sawah menggabungkan semua pendekatan usahatani terpilih yang serasi dan saling komplementer untuk mendapatkan hasil panen optimal dan kelestarian lingkungan (Sumarno *et. al.*, 2000). Pengelolaan Tanaman Terpadu padi sawah melibatkan berbagai komponen yaitu dari mulai persiapan lahan hingga pengelolaan pasca panen. Seluruh komponen ini sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sehingga dibutuhkan Pengelolaan Tanaman Terpadu untuk mengembangkan pendekatan di kalangan petani yang sebagai sistem produksi total, selain itu dengan mempertimbangkan semua faktor yang mempengaruhi kualitas hasil tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Djafaruddin. 2008. *Dasar-dasar Pengendalian Penyakit Tanaman*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Djojosumarto, Panut. 2020. *Pengetahuan Dasar Pestisida Pertanian Dan Penggunaannya*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- FAO. 1993. *IPM Farmers` Training: the Indonesian Case*. Indonesian National IPM Program. Yogyakarta: IPM Secretariate.
- Hasibuan, Rosma. 2003. *Pengendalian Hama Terpadu*. Bandar Lampung: Penerbit Universitas Lampung.
- Sembel, Dantje T. 2012. *Dasar-dasar Pelindungan Tanaman*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sembel, Dantje T. 2020. *Pengendalian Hayati*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Sudarsono, Hamim. 2015. *Pengantar Pengendalian Hama Tanaman*. Yogyakarta: Plataxia.
- Sutarman. 2020. *Pengelolaan Penyakit Tanaman Terpadu*. Sidoarjo: Umsida Press.
- Untung, K. 2007. *Kebijakan Perlindungan Tanaman*. Gadjah Mada University Press.

INDEKS

A

Abiotik, 20, 49
Agens Hayati, 195, 206
Alkaloid, 191

B

Berkelanjutan, 193, 252, 261, 263
Bioteknologi Pertanian, 207, 261
Biotik, 41

C

Cendawan, iii, 42, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 91

E

Ekosistem, 27
Enzim, 84, 151, 183, 203

F

Fitokimia, 203

G

Gejala Penyakit, iii, 56

H

Hidatoda, 185

I

Inang, 66, 74, 84, 86
Induksi Ketahanan, 93, 206
Infeksi, 41, 42, 44, 47, 49, 59, 64, 66, 83, 87, 88, 89, 90, 107, 110, 148, 157, 186, 187, 213

Inokulum, 99, 100, 101, 102, 178, 179

K

Kolonisasi, iii, 66, 83, 85, 181

Kutikula, 191, 199

L

Lignifikasi, 152, 153

Lignin, 152

M

Mekanisme Pertahanan Struktural, 152

Mikroskopis, 57

Miselium, vii, 173, 178, 190

N

Nekrosis, 61, 172

Nekrotik, 90

P

Patogen, iii, iv, 22, 40, 41, 42, 43, 57, 66, 67, 73, 74, 80, 82, 87, 88, 89, 90, 100, 103, 106,
109, 110, 111, 114, 117, 118, 119, 129, 142, 143, 145, 147, 148, 154, 167, 168, 173, 175,
178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 193, 194, 197, 212, 242, 254

Pemuliaan Tanaman, 205

Pengendalian Penyakit, ii, iii, 11, 29, 71, 231, 247

Pengendalian Penyakit Tanaman, 247

Perubahan Iklim, iv, 14, 126

Protein PR (pathogenesis-related proteins), 203

R

Rotasi Tanaman, 30, 91

S

Sanitasi, 92, 239

Sklerotia, 43, 44

Stomata, viii, 103, 179, 191, 203

T

Tanaman inang, 105

Tanda Penyakit, 37

Terpenoid, 191

V

Vektor, 185, 189, 217, 218, 223

GLOSARIUM

Abiotik : segala hal selain makhluk hidup, misalnya suhu, air, cahaya matahari, angin, beba

Abiotik: Faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan polusi yang dapat mempengaruhi kesehatan tanaman.

Agen Biokontrol: organisme atau bahan alami yang digunakan untuk mengendalikan hama, gulma, dan penyakit.

Agens Hayati: Mikroorganisme atau musuh alami yang digunakan untuk mengendalikan populasi patogen atau hama penyakit tanaman.

Aktivitas Antijamur: Kemampuan suatu zat untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh jamur.

Aktivitas Antimikroba: Kemampuan suatu zat untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh mikroorganisme, seperti patogen.

Aktivitas Antivirus: Kemampuan suatu zat untuk menghambat replikasi atau pertumbuhan virus.

Alkaloid: Senyawa organik azot yang memiliki sifat farmakologi, seringkali beracun.

Antagonis: Mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan atau mematikan mikroorganisme lain, seperti patogen.

Berkelanjutan: Metode atau praktik yang dapat dipertahankan dalam jangka panjang tanpa merusak lingkungan atau sumber daya alam.

Bioteknologi Pertanian: Penerapan teknik biologi, seperti rekayasa genetika, dalam bidang pertanian untuk meningkatkan produksi, kualitas, dan ketahanan tanaman.

Biotik : terdiri atas tumbuhan, binatang, manusia yang menjadi penghuni lingkungan abiot

Defoliiasi: pemangkasan daun atau ujung batang tanaman.

Ekosistem : Komunitas spesies dan komponen abiotik yang saling berhubungan, yang ada sebagai suatu sistem dengan interaksi dan pertukaran materi, energi, dan informasi yang spesifik.

Enzim Hidrolitik: Enzim yang memecah ikatan kimia dengan bantuan molekul air.

Epidemi: Penyebaran penyakit secara cepat dalam satu wilayah dan mempengaruhi organisme sekitar

Epidemiologi penyakit tumbuhan: Studi tentang pola penyebaran penyakit tanaman dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Ergotisme: Penyakit pada manusia akibat konsumsi gandum yang terkontaminasi *Claviceps purpurea*.

Etiolasi: Pertumbuhan tanaman yang tidak normal akibat kekurangan cahaya matahari

Fenolik: Senyawa organik yang mengandung cincin fenol yang memiliki berbagai fungsi biologis, termasuk aktivitas antioksidan dan antimikroba.

Fitokimia: Senyawa kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan yang memiliki berbagai fungsi biologis, termasuk aktivitas antimikroba.

Gagal Panen: Kondisi di mana tanaman tidak menghasilkan hasil panen yang diharapkan.

Gangguan Fisiologi: Kondisi metabolisme yang tidak berproses dengan baik yang dialami oleh makhluk hidup

Gejala Penyakit: Bentuk ekspresi dari tanaman akibat terganggunya sistem metabolisme

Gen Resistensi: Kemampuan tanaman untuk membuat protein tertentu sehingga dapat mengurangi, menghambat, atau membatasi serangan patogen

Gen-gen Ketahanan: Gen-gen yang dimiliki oleh tanaman yang memberikan ketahanan terhadap serangan patogen atau hama penyakit.

Globalisasi: Proses integrasi dan interkoneksi antar negara dalam berbagai bidang, termasuk ekonomi, sosial, dan budaya.

Glukanase: Enzim hidrolitik yang memecah glukana, polisakarida yang ditemukan pada dinding sel jamur dan bakteri.

Gram Negatif: Kelompok bakteri yang bersifat patogenik

Haustorium: Proyeksi hifa yang menembus ke dalam sitoplasma sel tumbuhan inang untuk menyerap nutrisi dan air.

Hidatoda: Kelenjar yang berfungsi untuk menyekresikan air secara gutasi

Hiperplastik: Pertumbuhan sel yang berlebihan

Identifikasi penyakit: Proses mengenali dan menentukan jenis penyakit yang menyerang tanaman.

Inang: Tanaman yang dijadikan sebagai sumber makanan bagi patogen

Inang: Tanaman yang menjadi tempat hidup dan berkembangnya patogen.

Induksi Ketahanan: Proses aktif tanaman untuk memperoleh ketahanan terhadap serangan patogen atau hama penyakit melalui paparan senyawa kimia atau agen hayati tertentu.

Infeksi: Serangan patogen pada inang

Infeksius: Penyakit yang bisa menular ke makhluk hidup lainnya.

Inokulum: bahan yang mengandung biakan mikroorganisme, sel, atau patogen yang digunakan untuk menginokulasi.

Jalur Pensinyalan: Rangkaian reaksi biokimia dalam sel yang berperan dalam siaran informasi dan aktivasi respons pertahanan.

Jaringan Lignifikasi: Jaringan tanaman yang diperkaya dengan lignin.

Keragaman Patogen: Variasi jenis patogen yang dapat menyerang tanaman.

Kitinase: Enzim hidrolitik yang memecah kitin, komponen utama dinding sel jamur.

Klamidiospora: Spora cendawan yang terbentuk akibat stress lingkungan

Kolonisasi: Proses ketika patogen berhasil menembus jaringan tanaman inang, berkembang biak, dan menyebar dalam tanaman.

Kutikula: Lapisan lilin terluar pada permukaan tanaman yang berfungsi sebagai pelindung.

Lentisel: Jaringan berpori pada tumbuhan yang membantu pertukaran udara

Lignifikasi: proses pengerasan dinding sel sekunder pada tumbuhan yang disebabkan oleh penumpukan lignin.

Lignin: Polimer kompleks yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada dinding sel tumbuhan.

Mekanisme Pertahanan Alami: Cara tanaman melindungi diri dari serangan patogen secara alami.

Mekanisme Pertahanan Struktural: Cara tanaman melindungi diri dari serangan patogen melalui hambatan fisik.

Mikotoksin: senyawa toksik yang dihasilkan oleh jamur/cendawan, terutama kapang benang.

Mikroba Menguntungkan: Mikroorganisme yang hidup di sekitar atau di dalam tanaman dan memberikan manfaat bagi pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

Mikrobioma: Komunitas mikroorganisme, seperti jamur, bakteri, dan virus, yang hidup di lingkungan tertentu

Mikroskopis: Ukuran yang sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan mikroskop.

Molekul Efektor: Molekul yang disekresikan oleh patogen ke dalam sel tanaman untuk memicu respons pertahanan.

Molekul Terkait dengan Patogen (PAMPs): Molekul yang dihasilkan oleh patogen yang dapat dikenali oleh tanaman.

Musuh Alami: Organisme yang secara alami memangsa atau menjadi parasit organisme lain, seperti hama penyakit tanaman.

Nekrotik: Kondisi sel-sel atau jaringan yang mengalami kematian

Parasit: Sifat makhluk hidup yang mengambil nutrisi dari tanaman inang sampai menyebabkan kematian.

Patogen: organisme hidup yang dapat menyebabkan penyakit pada makhluk hidup lain, seperti manusia, hewan, dan tumbuhan

Patogenesitas: Kemampuan mikroorganisme menyebabkan penyakit

Pemuliaan Tanaman: Proses seleksi dan persilangan tanaman untuk menghasilkan varietas unggul dengan sifat-sifat yang diinginkan, seperti ketahanan terhadap penyakit.

Penetrasi Patogen: Proses masuknya patogen ke dalam jaringan tanaman.

Penetrasi: Proses masuknya patogen ke dalam jaringan inang

Pengendalian Penyakit Tanaman: Upaya untuk mengurangi kerugian akibat serangan penyakit pada tanaman, baik melalui pendekatan preventif maupun kuratif.

Pengendalian Penyakit: Upaya untuk mengurangi atau mencegah kerugian akibat serangan penyakit pada tanaman.

Penguatan Dinding Sel: Proses penebalan dan penguatan dinding sel tanaman untuk mencegah penetrasi patogen.

Pertanian Modern: Sistem pertanian yang mengadopsi teknologi dan inovasi terkini untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi.

Perubahan Iklim: Perubahan jangka panjang dalam pola suhu dan cuaca global.

Polisakarida: Karbohidrat kompleks yang terdiri dari banyak unit gula sederhana, seperti selulosa dan lignin.

Postulat Koch: Prinsip yang digunakan untuk membuktikan hubungan antara mikroorganisme dan penyakit yang ditimbulkannya.

Protein PR (*pathogenesis-related proteins*): Kelompok protein yang diproduksi oleh tanaman sebagai respons terhadap serangan patogen.

Respons Kekebalan Sistemik: Respons kekebalan yang terjadi di seluruh bagian tanaman setelah terdeteksi adanya serangan patogen terlokalisasi.

Respons Kekebalan Tanaman: Reaksi kompleks tanaman terhadap serangan patogen yang melibatkan berbagai mekanisme pertahanan, termasuk produksi senyawa antimikroba dan aktivasi jalur pensinyalan.

Respons Pertahanan: Reaksi tanaman terhadap serangan patogen, termasuk produksi senyawa antimikroba, penguatan dinding sel, dan aktivasi respons kekebalan sistemik.

Rotasi tanaman: Metode pertanian yang mengganti jenis tanaman pada satu lahan untuk mengurangi risiko serangan patogen.

Rotasi Tanaman: Praktik bercocok tanam dengan menggilir jenis tanaman yang berbeda pada lahan yang sama secara berurutan.

Sanitasi: Upaya menjaga kebersihan lingkungan pertanian untuk mengurangi sumber inokulum patogen dan hama penyakit.

Selulosa: Polisakarida yang merupakan komponen utama dinding sel tumbuhan.

Senyawa Antimikroba: Zat kimia yang dapat menghambat pertumbuhan atau membunuh mikroorganisme, seperti patogen.

Sistem Kekebalan Tanaman: Kemampuan tanaman untuk mengenali dan merespons serangan patogen.

Sistem Vaskular: sistem peredaran darah yang terdiri dari jaringan pembuluh darah yang membawa darah dan cairan limfa ke seluruh tubuh.

Sklerotia: Hifa yang dihasilkan oleh cendawan *Sclerotium* ketika adanya cekaman lingkungan

Stomata: Lubang alami pada tumbuhan untuk membantu fotosintesis dan transpirasi.

Stylet: Struktur seperti jarum pada mulut nematoda yang digunakan untuk melukai inang.

Tanaman Transgenik: Tanaman yang telah mengalami modifikasi genetik melalui rekayasa genetika, biasanya dengan penyisipan gen dari organisme lain.

Tanda Penyakit: Massa (kumpulan) struktur tubuh dari patogen

Terpenoid: Senyawa organik yang berasal dari isoprena yang memiliki berbagai fungsi biologis, termasuk aktivitas antimikroba.

Toleransi penyakit: Kemampuan tanaman untuk tetap tumbuh dan memproduksi meskipun terinfeksi patogen.

Varietas Unggul: Varietas tanaman yang memiliki sifat-sifat unggul, seperti hasil panen yang tinggi, kualitas yang baik, dan ketahanan terhadap penyakit

Vektor : Organisme, seperti serangga, yang menularkan patogen dari satu inang ke inang lainnya.

BIODATA PENULIS



Nurul Wirid Annisaa, S.P., M.Si

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Makassar pada tanggal 17 Agustus 1994. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi, Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fitopatologi, Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang Virology Tumbuhan dan aktif dalam penulisan artikel ilmiah. Buku yang telah diterbitkan yaitu buku kolaborasi berjudul *Indahnya Dunia Pertanian di Dukung oleh Green Technology*. Penulis dapat dihubungi melalui email: nurulwirid@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Ir. Desty Aulia Putrantri, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Hortikultura

Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung

Penulis lahir di Bandar Lampung pada 5 Desember 1995, saat ini bekerja sebagai dosen di Program Studi Hortikultura, Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Agroteknologi Universitas Lampung (Unila) pada tahun 2018, kemudian melanjutkan studi Magister (S2) di Program Studi Agronomi di universitas yang sama pada periode 2019–2021. Sebagai seorang akademisi, penulis memiliki minat yang mendalam dalam bidang pertanian, dengan fokus utama pada penelitian penyakit tanaman dan penerapan pertanian berkelanjutan. Kepedulianya terhadap topik ini tercermin dalam buku pertamanya yang berjudul *“Pertanian Organik: Solusi Pertanian Berkelanjutan”*, yang bertujuan untuk memberikan

wawasan dan solusi praktis bagi pengembangan pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

BIODATA PENULIS



Jean Nihana Manalu, S.P., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Ganesha

Penulis lahir di Perbaungan tanggal 06 Januari 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Agroekoteknologi dan melanjutkan S2 pada Program Studi Fitopatologi. Penulis menekuni bidang penelitian fitopatologi, khususnya cendawan.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Titik Nur Aeny, M.Sc.

Dosen Program Studi Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Penulis lahir di Malang, tanggal 07 Januari 1962, merupakan dosen tetap pada Program Studi Proteksi Tanaman, Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Institut Pertanian Bogor (1985), dan diterima sebagai dosen di Fakultas Pertanian Unila pada tahun 1986. Pada tahun yang sama penulis dikirim untuk tugas belajar S2 (Program Master) di University of Arkansas (Fayetteville, AS). Setelah menyelesaikan pendidikan, penulis kembali ke Indonesia dan aktif sebagai Dosen di Bidang Ilmu Penyakit Tumbuhan dan mengampu beberapa matakuliah seperti Mikrobiologi Pertanian, Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Ilmu Penyakit Tumbuhan, Nematologi Tumbuhan, Pestisida dan Alat Aplikasi, Karantina Tumbuhan, Hama dan Patogen Terbawa Tanah, dan Penyakit Pasca Panen. Pada tahun 2004 penulis mengajukan ijin belajar untuk mengambil Program Doktor Ilmu Pertanian dan lulus pada awal tahun 2021. Selain aktif mengajar, penulis juga dipercaya sebagai Kepala Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

BIODATA PENULIS



Sri Ayu Anggita, S.P., M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Bulukumba tanggal 10 Mei 1995. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi di Universitas Hasanuddin tahun 2016, dan S2 di Jurusan Fitopatologi Institut Pertanian Bogor pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis telah mempresentasikan hasil penelitian pada International Conferences on Biosciences di ICO BIO dengan judul penelitian *The endophytic bacteria of oil palm and areca nut are beneficial as antagonist of Ganoderma boninense and potential as plant growth promoter* dan telah diterbitkan di IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

BIODATA PENULIS



Nurmujaahidin, S.P., M.Si.

Dosen Program Studi Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Sinjai tanggal 09 Maret 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian dan menjadi anggota Thematic Research Group (TRG) Agricultural Bacteriology Research Group (AgriBac) Universitas Hasanuddin. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Unhas dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fitopatologi IPB University. Penulis memiliki minat dan keahlian dalam bidang perlindungan tanaman, khususnya dalam kajian fitopatologi, pengendalian bakteri patogen Tanaman berbasis pengendalian hayati. Selama menjalani karier akademik, penulis telah aktif dalam penelitian terkait penyakit tanaman dan strategi pengendaliannya, serta terlibat dalam berbagai proyek penelitian dan publikasi ilmiah di jurnal nasional maupun internasional. Selain mengajar dan meneliti, penulis juga aktif dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, terutama dalam memberikan penyuluhan kepada petani mengenai teknik pengelolaan penyakit secara ramah lingkungan. Penulis juga

terlibat dalam berbagai seminar, lokakarya, dan konferensi yang berkaitan dengan ilmu pertanian dan perlindungan tanaman.

Dengan latar belakang pendidikan dan pengalaman yang dimiliki, penulis berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam pengembangan ilmu proteksi tanaman serta peningkatan produktivitas pertanian yang berkelanjutan.

BIODATA PENULIS



Musawira, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Musawira, M.Si lahir di Pattiro Bajo, 5 Januari 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan bapak Mustang dan ibu Sitti Rabiati. Penulis menyelesaikan program sarjana (S-1) pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa program PMDSU di Program Studi Biologi Tumbuhan pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor dengan bantuan beasiswa Kemenristek Dikti melalui beasiswa PMDSU Batch 3. Penulis bekerja sebagai Tenaga Pengajar di Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar pada Tahun 2024 sampai sekarang.

Penulis aktif mengikuti seminar dan publikasi pada jurnal nasional maupun internasional bereputasi dengan judul 'Establishment of transgenic potato cultivar IPB CP1 plants containing gene encoding for superoxide dismutase to increase the abiotic stress tolerance' pada jurnal Q4, konferensi

Internasional dan diterbitkan dalam Prosiding dengan judul 'Enhanced tolerance of IPB CP1 potato (*Solanum tuberosum* L.) transgenic expressing superoxide dismutase gene under high temperature stress'.

BIODATA PENULIS



Dr. Niken Nur Kasim, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Kota Palopo tanggal 26 Mei 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) tahun 2010 pada Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, kemudian melanjutkan Program Magister (S2) tahun 2010 – 2012 pada Program Studi Sistem – Sistem Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, dan menyelesaikan Program Doktor (S3) tahun 2023 Pada Program Studi Fitopatologi, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Saat ini, penulis aktif sebagai anggota perhimpunan fitopatologi Indonesia. Penulis berprofesi sebagai dosen sejak tahun 2014 dan mengampu beberapa mata kuliah, seperti: Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Pengendalian Hama dan penyakit Terpadu, Pengendalian Hayati, Budidaya Organisme Berguna, ,

Sistem Pertanian Terpadu dan Berkelanjutan, Pencemaran Lingkungan, Bioteknologi Pertanian, Organisme Pengganggu Tanaman, Pemuliaan Tanaman, dan Pengendalian Hayati.

BIODATA PENULIS



Dr. Jefri Sembiring., SP, MSi

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Musamus

Penulis lahir di Tigapanah Kabupaten Karo Sumatra Utara tanggal 18 Oktober 1983. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Musamus. Menyelesaikan Pendidikan S3 Bidang Entomologi pada Tahun 2016. Penulis menekuni bidang entomologi khususnya yang berkaitan dengan ekologi.

BIODATA PENULIS



Sri Sukmawati, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Ujung Padang tanggal 22 Februari 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 tahun 2009 pada Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada tahun 2010 di Program Studi Sistem-Sistem Pertanian di Universitas Hasanuddin. Saat ini tercatat sebagai anggota pengurus Perhimpunan Hotikultura KOMDA Sulawesi Barat. Mengampu mata kuliah Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Pengendalian Hama dan penyakit Terpadu, Pengendalian Hayati, Budidaya Organisme Berguna, Kultur Jaringan Tanaman, Sistem Pertanian Terpadu dan Berkelanjutan, Pencemaran Lingkungan, dan Hidroponik.

BIODATA PENULIS



Olivia Cindowarni, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Satu Nusa Lampung

Penulis lahir di Bandar Lampung tanggal 15 Agustus 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Satu Nusa Lampung. Saat ini, penulis memiliki NIDN. 02150896. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Prodi Agroteknologi minat Hama dan Penyakit Tanaman dan melanjutkan S2 pada Prodi Agronomi minat Hama dan Penyakit Tanaman. Selama kuliah penulis pernah menjadi asisten praktikum di beberapa mata kuliah, seperti dasar-dasar perlindungan tanaman, teknologi biopestisida, mikrobiologi pertanian, kimia dasar, pestisida pertanian, statistika pertanian, dan aplikasi IT.

Penulis telah menekuni penelitian di bidang Hama dan Penyakit tanaman. Penulis pernah menjadi ketua dalam program hibah DRTPM Kemdikbudristek dengan ruang lingkup penelitian Dosen Pemula Afirmasi tentang “Pengendalian hama tanaman dengan aplikasi biopestisida daun dan kulit kakao”. Penulis juga

pernah menjadi ketua dalam dalam program hibah DRTPM Kemdikbudristek dengan ruang lingkup Pengabdian Masyarakat Pemula tentang “Teknologi Pengendalian OPT Jagung dan Pengolahan Tanah yang Ramah Lingkungan”. Saat ini, penulis aktif menulis jurnal, dan juga sebagai Chief Editor di salah satu jurnal nasional. Selain itu, penulis sebagai reviewer jurnal nasional. Buku ini merupakan buku pertama penulis. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: oliviacindowarni@gmail.com