

KETAHANAN TANAMAN

Terhadap **PATOGEN**

deepublish / publisher

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

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

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

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

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

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KETAHANAN TANAMAN

Terhadap **PATOGEN**

Sopialena
Sofian

 deepublish

Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

KETAHANAN TANAMAN TERHADAP PATOGEN

Sopialena dan Sofian

Desain Cover :

Nama

Sumber :

Link

Tata Letak :

Hifzillah Fahmi

Proofreader :

Tiara Azhari

Ukuran :

viii, 80 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :

No ISBN

Cetakan Pertama :

Bulan 2023

Hak Cipta 2023, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2023 by Deepublish Publisher

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH

(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

Kata Pengantar

Selamat datang dalam buku ini yang berfokus pada topik yang sangat penting dalam dunia pertanian, *Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen*. Buku ini membahas berbagai aspek yang berkaitan dengan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen dan menguraikan prinsip-prinsip dasar yang dapat membantu para petani, peneliti, dan praktisi pertanian untuk memahami, mengembangkan, dan menerapkan strategi ketahanan tanaman.

Sejak zaman kuno hingga saat ini, pertanian telah menjadi tulang punggung kehidupan manusia dan ekonomi nasional. Tanaman adalah sumber utama pangan, pakan ternak, dan bahan baku industri. Oleh karena itu, menjaga kesehatan tanaman dari serangan hama dan penyakit menjadi hal yang sangat penting. Salah satu pendekatan yang paling efektif dalam menjaga produktivitas pertanian adalah dengan mengembangkan tanaman yang tahan terhadap serangan patogen.

Bab pertama, *Prolog*, memberikan gambaran umum tentang latar belakang pentingnya topik ini, mendefinisikan istilah-istilah kunci, dan menjelaskan konsep ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. Bab ini menjadi landasan bagi pembahasan selanjutnya.

Bab berikutnya, *Interaksi Tanaman dan Patogen*, menggali lebih dalam tentang bagaimana tanaman dan patogen berinteraksi, termasuk aspek-aspek seperti vegetasi, pertumbuhan, dan populasi yang memengaruhi interaksi ini.

Bab *Pengaruh Iklim Lingkungan Terhadap Patogen* membahas bagaimana kondisi iklim mikro, cahaya, dan angin memengaruhi perkembangan patogen.

Persebaran Patogen adalah fokus dari Bab IV, yang membagi informasi tentang bagaimana patogen menyebar, baik melalui mekanisme aktif maupun pasif.

Bab selanjutnya, *Ketahanan Tanaman Terhadap Infeksi Patogen*, menjelaskan berbagai mekanisme yang memungkinkan tanaman untuk



mengembangkan ketahanan terhadap serangan patogen, termasuk ketahanan spesifik, nonspesifik, dan terinduksi.

Bab VI membahas pengembangan varietas tahan melalui bioteknologi yang merupakan langkah inovatif dalam menghadapi tantangan patogen. Ini mencakup berbagai metode termasuk uji tipe ketahanan tanaman, induksi tanaman oleh mikroorganisme, dan identifikasi ketahanan pada beberapa tanaman.

Terakhir, *Pengendalian dengan Pemuliaan* membahas berbagai teknik yang dapat digunakan untuk mengembangkan ketahanan varietas, mencakup ketahanan genetik dan ekologi.

Buku ini adalah hasil kolaborasi penulis dan ahli dalam bidang pertanian. Kami berharap buku ini akan menjadi sumber wawasan yang berharga dalam upaya menjaga kesehatan tanaman, meningkatkan produktivitas pertanian, dan berkontribusi pada ketahanan pangan global. Terima kasih kepada semua yang telah berperan dalam menyusun buku ini dan semoga informasi di dalamnya bermanfaat bagi Anda.

Salam,
Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
BAB I Prolog	1
A. Ketahanan Tanaman	1
B. Definisi Ketahanan Tanaman, Patogen.....	2
C. Ketahanan Tanaman Terhadap Hama dan Penyakit.....	5
BAB II Interaksi Tanaman dan Patogen.....	17
A. Vegetasi dan Tanaman	17
B. Pertumbuhan dan Perkembangan Inang	17
C. Populasi dan Atributnya	19
BAB III Pengaruh Iklim Lingkungan Terhadap Patogen	28
BAB IV Mekanisme Penyebaran Patogen.....	33
A. Pengertian Patogen	34
B. Mekanisme Penyebaran Patogen	34
C. Mekanisme Penyebaran Patogen	37
D. Agen Penyebar Patogen	40
E. Teknik Pengendalian.....	41
BAB V Ketahanan Tanaman Terhadap Infeksi Patogen.....	44
A. Ketahanan Spesifik atau Vertikal.....	46
B. Ketahanan Nonspesifik atau Horizontal.....	49
C. Ketahanan Terinduksi Tanaman terhadap Penyakit.....	52
BAB VI Pengembangan Varietas Tahan dengan Bioteknologi.....	54
A. Metode Skrining dengan Uji Tipe Ketahanan Tanaman.....	55
B. Induksi Tanaman oleh Mikroorganisme	59
C. Identifikasi Ketahanan Beberapa Tanaman	60

BAB VII Pengendalian dengan Pemuliaan, Ketahanan Varietas, Teknik Pengembangan Ketahanan, Sifat Ketahanan Tanaman... 64	
A. Pengendalian Menggunakan Varietas Tahan.....	65
B. Mekanisme Ketahanan Tanaman.....	68
C. Ketahanan Genetik.....	71
D. Ketahanan Ekologi.....	73
Daftar Pustaka.....	77

BAB I

Prolog



A. Ketahanan Tanaman

Hingga saat ini, sektor pertanian tetap memiliki peran yang sangat signifikan dalam perkembangan Indonesia. Hal ini terlihat dalam kontribusi sektor pertanian terhadap pertumbuhan ekonomi nasional yang tercermin dalam pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB), perolehan devisa, ketersediaan bahan baku untuk industri, upaya pengurangan kemiskinan, penciptaan lapangan kerja, penyediaan pasokan pangan serta peningkatan pendapatan masyarakat.

Salah satu tantangan terkini dalam meningkatkan produksi pertanian adalah kehadiran serangan hama dan penyakit. Pengendalian hama dan penyakit tanaman pada usaha tani saat ini menjadi suatu kebutuhan yang perlu ditekankan guna mencapai hasil yang maksimal. Setiap intervensi manusia terhadap sistem alam ini memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dalam berbagai skala. Sebagai contoh, dalam konteks pengendalian hama, penggunaan pestisida telah terbukti dapat meningkatkan hasil pertanian, tetapi di sisi lain, dapat menghasilkan efek magnifikasi biologis pada kesehatan manusia. Contoh lain adalah penggunaan bibit unggul yang dapat menggandakan hasil panen dalam sistem monokultur, namun juga meningkatkan kerentanannya terhadap gangguan lingkungan lainnya pada agroekosistem.

Penanaman varietas unggul dalam pertanian guna meningkatkan produksi telah memberikan hasil yang sangat memuaskan. Sesuai dengan Undang-Undang No. 12 Tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman, perlindungan tanaman dilakukan melalui pendekatan pengendalian hama terpadu. Komponen dalam pengendalian hama/penyakit terpadu mencakup

penggunaan varietas tahan, metode bercocok tanam, pemanfaatan agen biologis, pestisida, dan pemantauan rutin terhadap hama/penyakit (*monitoring*). Penerapan varietas tahan ternyata memiliki biaya yang relatif rendah, stabil, tidak mencemari lingkungan, dan mudah diterapkan oleh petani di lapangan. Dengan demikian, ketahanan tanaman, khususnya terhadap serangan hama, memegang peranan penting dalam pendekatan pengendalian hama terpadu. Oleh karena itu, perlu terus mengembangkan jenis-jenis tanaman baru yang memiliki tingkat ketahanan yang dapat diandalkan terhadap hama-hama penting.

B. Definisi Ketahanan Tanaman, Patogen

Definisi ketahanan menurut beberapa ahli:

1. Painter (1951) mendefinisikan resistensi tanaman merupakan sifat-sifat tanaman yang dapat diturunkan dan dapat mempengaruhi tingkat kerusakan oleh serangga.
2. Beck (1965) mengemukakan bahwa resistensi tanaman adalah semua ciri dan sifat tanaman yang memungkinkan tanaman terhindar, mempunyai daya tahan atau daya sembuh dari serangan serangga dalam kondisi yang akan menyebabkan kerusakan lebih besar pada tanaman lain dari spesies yang sama.
3. Teetes (1996) menyatakan bahwa dalam praktik pertanian, resistensi tanaman berarti kemampuan tanaman untuk berproduksi lebih baik dibandingkan tanaman lain dengan tingkat populasi hama yang sama.

Dalam proses pertumbuhannya, tanaman sering kali mengalami gangguan oleh berbagai patogen yang menjadi penyebab penyakit, termasuk jamur, bakteri, virus, nematoda, dan mikoplasma. Pada umumnya, tanaman memiliki mekanisme pertahanan yang menggabungkan sifat-sifat struktural yang bertindak sebagai penghalang fisik dan menghambat patogen masuk serta berkembang di dalam tanaman, bersamaan dengan reaksi biokimia yang terjadi di dalam sel dan jaringan tanaman, menghasilkan zat-zat beracun bagi patogen atau menciptakan kondisi yang menghambat pertumbuhan patogen di dalam tanaman tersebut. Penggabungan sifat struktural dan reaksi biokimia ini bervariasi antara berbagai sistem kombinasi antara inang dan patogen.



Sebuah tanaman dianggap dalam keadaan sehat atau normal jika mampu menjalankan fungsi-fungsi fisiologis sesuai dengan potensi genetik terbaik yang dimilikinya (Agrios, 2005). Kondisi penyakit pada tanaman terjadi ketika tanaman tersebut terinfeksi oleh patogen atau terpengaruh oleh faktor-faktor nonhidup. Penyakit tumbuhan akan berkembang ketika ada interaksi antara dua komponen, yaitu tanaman dan patogen. Untuk penyakit tumbuhan berkembang, diperlukan tiga komponen, yaitu patogen yang virulen, tanaman yang rentan, dan kondisi lingkungan yang mendukung.

Siklus kehidupan patogen dimulai dengan fase pertumbuhan hingga mencapai tahap produksi alat reproduksi. Siklus penyakit melibatkan perubahan-perubahan yang terjadi pada patogen dalam tanaman dan perubahan yang terjadi pada tanaman inang selama periode pertumbuhannya, serta lokasi patogen (siklus hidup patogen) dalam jangka waktu tertentu. Beberapa peristiwa kunci dalam siklus penyakit mencakup inokulasi (penularan), penetrasi (masuk ke dalam tanaman), infeksi (pemanfaatan nutrisi dari inang), invasi (penyebaran serangan ke jaringan lain), penyebaran ke lokasi lain, dan pertahanan patogen.

Tanaman inang dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. **Tanaman inang rentan:** tanaman inang yang mudah terserang patogen sementara pada kondisi sama dan patogen sama, inang lain resisten.
2. **Tanaman inang resisten:** tanaman inang yang tahan terhadap serangan patogen sementara pada kondisi sama dan patogen sama, inang lain rentan.
3. **Tanaman inang toleran:** tanaman inang yang rentan tetapi inang tersebut masih mampu menghasilkan produk yang ekonomis.
4. **Tanaman inang sekunder:** tanaman inang yang bukan menjadi makanan utama.
5. **Tanaman inang primer:** tanaman inang yang memang menjadi tempat dan sumber nutrisi makanan utama/pokok dari patogen.
6. **Tanaman inang alternatif:** tanaman inang yang menjadi tempat dan nutrisi makanan jika tidak ada inang sekunder dan primer di mana patogen di masing-masing inang bisa menyelesaikan siklusnya.

7. **Tanaman inang perantara:** tanaman inang yang dapat dijadikan perantara untuk menyelesaikan siklus penyakit. Keberadaan inang ini pada salah satu jenis penyakit menjadi penting, karena tanpa inang perantara ini meskipun patogen ada dan inang utama ada, patogen akan mati sehingga tidak akan terjadi penyakit.

Ragam karakteristik ini dapat dimanfaatkan untuk mencegah penyakit dengan cara mengatur genetika tanaman sehingga mampu menghasilkan varietas yang tahan bahkan kebal terhadap penyakit. Tanaman yang dalam keadaan sehat ditandai dengan pertumbuhan yang optimal, seperti daun dan batang yang segar, batang yang tumbuh lurus, daun yang lebat, dan bebas dari serangan hama dan penyakit. Salah satu faktor yang penting dalam menciptakan tanaman yang sehat adalah memastikan bibit yang digunakan berasal dari tanaman yang juga sehat. Teknik untuk memperoleh bibit sehat ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk kultur jaringan, perlakuan benih dengan bahan kimia, dan perlakuan benih dengan mikroorganisme.

Patogen

Patogen merujuk pada organisme hidup yang umumnya bersifat mikroskopis dan memiliki kapasitas untuk menyebabkan penyakit pada tanaman. Mikroorganisme ini mencakup jamur, bakteri, virus, nematoda, mikoplasma, spiroplasma, dan riketsia. Suatu organisme dapat dikategorikan sebagai patogen ketika memenuhi kriteria Koch, yang mencakup: 1) kehadiran patogen dalam tanaman atau bagian tanaman yang terinfeksi; 2) isolasi dan identifikasi patogen; 3) kemampuan patogen untuk menginfeksi spesies inang yang sama dan menunjukkan gejala serupa; dan 4) kemampuan untuk mengisolasi kembali patogen tersebut.

Pengaruh komponen patogen dalam timbulnya penyakit sangat tergantung pada kehadiran patogen, jumlah populasi patogen, kemampuan patogen untuk menimbulkan penyakit yaitu berupa kemampuan menginfeksi (virulensi) dan kemampuan menyerang tanaman inang (agresivitas), kemampuan adaptasi patogen, penyebaran, ketahanan hidup, dan kemampuan berkembang biak patogen.

C. Ketahanan Tanaman Terhadap Hama dan Penyakit

1. Pertahanan Struktural

1.1. Struktur Pertahanan Sebelum Ada Serangan Patogen

Baris pertama perlindungan tumbuhan terhadap patogen terfokus pada permukaan tanaman, di mana patogen harus menembusnya untuk memulai infeksi. Pertahanan struktural ini sudah ada pada tumbuhan sebelum patogen berinteraksi dengannya. Struktur-struktur ini melibatkan jumlah dan kualitas lilin serta kutikula yang melindungi sel epidermis, dimensi, lokasi, dan bentuk stomata dan lentisel, serta dinding sel yang tebal yang menghambat pergerakan patogen.

Lilin pada permukaan daun dan buah membentuk permukaan yang dapat mencegah terbentuknya lapisan air (*water-repellent*) sehingga patogen tidak dapat berkecambah atau memperbanyak diri. Selain itu, terdapatnya bulu-bulu halus dan tebal pada permukaan tumbuhan mungkin juga mempunyai pengaruh yang sama dengan efek penolak air sehingga dapat menurunkan tingkat infeksi.

Kutikula yang tebal dapat meningkatkan ketahanan tumbuhan terhadap infeksi patogen yang masuk ke tumbuhan inang hanya melalui penetrasi secara langsung. Akan tetapi ketebalan kutikula tidak selalu berhubungan dengan ketahanan tanaman karena ada beberapa varietas tanaman yang memiliki lapisan kutikula tebal tetapi mudah terserang oleh patogen.

Ketebalan dan kekuatan dinding bagian luar sel-sel epidermis tampaknya merupakan faktor penting dalam ketahanan beberapa jenis tumbuhan terhadap patogen-patogen tertentu. Sel-sel epidermis yang ber dinding kuat dan tebal akan membuat penetrasi secara langsung mengalami kesulitan atau bahkan tidak mungkin dilakukan sama sekali oleh jamur patogen.

1.2. Struktur Pertahanan sebagai Tanggapan terhadap Infeksi Patogen

Meski pada tumbuhan terdapat pertahanan guna mencegah terjadinya serangan patogen penyebab penyakit akan tetapi infeksi masih saja bisa terjadi. Maka dari itu setelah patogen dapat menembus pertahanan struktural yang ada pada tumbuhan, tumbuhan akan mampu membentuk struktur yang berfungsi untuk bertahan dari serangan patogen tersebut.

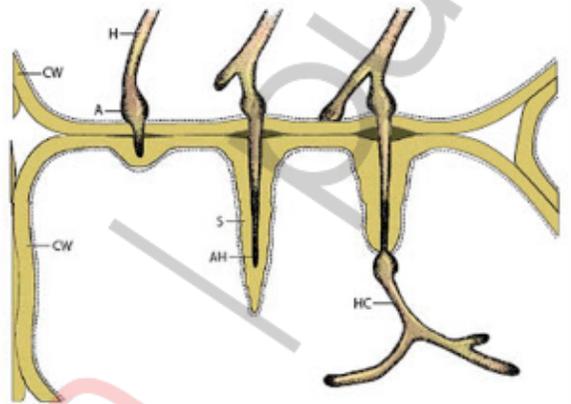
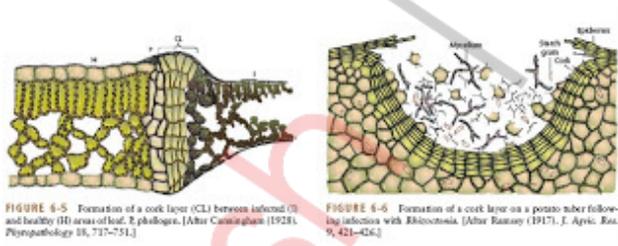


FIGURE 6-4 Formation of a sheath around a hypha (H) penetrating a cell wall (CW). A, appressorium; AH, advancing hypha still enclosed in sheath; HC, hypha in cytoplasm; S, sheath.

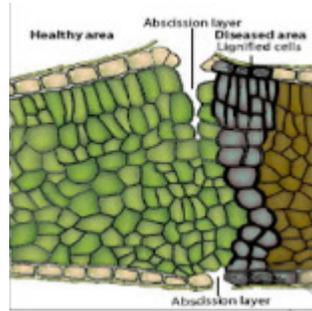
Beberapa jenis pertahanan struktural yang terbentuk melibatkan jaringan di sekitar jaringan tanaman yang terserang (bagian dalam tumbuhan) yang biasa disebut struktur pertahanan jaringan (*histological defense structure*), yang melibatkan dinding sel yang terserang disebut struktur pertahanan sel (*cellular defense structure*), dan yang melibatkan sitoplasma sel yang terserang prosesnya dinamakan reaksi pertahanan sitoplasma (*cytoplasmic defense reaction*). Dengan demikian adanya kematian sel yang terserang oleh patogen dapat melindungi tumbuhan dari serangan selanjutnya oleh patogen tersebut. Hal demikian biasa disebut nekrotik atau reaksi pertahanan hipersensitif (*hypersensitive defense reaction*).

1.3. Struktur Pertahanan Jaringan

Pembentukan lapisan gabus (*cork layer*). Ketika inang terinfeksi oleh patogen penyebab penyakit, seringkali tumbuhan merespons dengan membentuk beberapa lapisan sel gabus di dekat titik infeksi sebagai reaksi terhadap rangsangan dari zat yang dikeluarkan oleh patogen. Lapisan gabus ini berfungsi sebagai penghalang awal terhadap serangan patogen dan juga mencegah penyebaran zat beracun yang mungkin dikeluarkan oleh patogen. Lapisan gabus ini menghentikan pergerakan hara dan air dari bagian yang sehat ke bagian yang terinfeksi, serta memisahkan patogen dari lingkungan tumbuhan. Selanjutnya, jaringan mati, termasuk patogennya, terbatas oleh lapisan gabus ini, dan patogen dapat tetap berada di dalamnya, membentuk nekrosis, atau bahkan ditekan oleh jaringan sehat di bawahnya, mungkin menghasilkan luka yang bisa mengelupas dan mengisolasi patogen dari inangnya.



Pembentukan lapisan absisi (*abscission layers*). Lapisan absisi terbentuk pada daun muda yang aktif setelah infeksi oleh patogen. Lapisan absisi terdiri dari celah antara dua lapisan sirkuler sel daun yang mengelilingi lokus infeksi. Pada infeksi lamela tengah antara dua lapisan sel tersebut menjadi larut dari keseluruhan ketebalan daun sehingga memotong areal pusat infeksi dari bagian sisa daun. Secara bertingkat bagian tersebut mengerut/layu, mati dan mengelupas, dan patogen ikut terbawa pada bagian tersebut.



Pembentukan Tilosa. Tilosa terbentuk di dalam pembuluh kayu pada tumbuhan dalam keadaan stres dan selama penyerangan oleh jenis patogen vaskular. Tilosa adalah protoplasma yang tumbuh melebihi normal dari sel-sel parenkim yang menonjol dari pembuluh kayu melalui lubang-lubang. Bisa saja tilosa terbentuk sangat banyak dan cepat di depan patogen sehingga mampu menghambat perkembangan patogen selanjutnya.

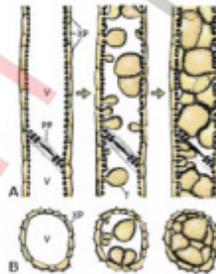


FIGURE 6-8 Development of tyloses in xylem vessels. Longitudinal (A) and cross section (B) views of healthy vessels (left) and of vessels with tyloses. Vessels at right are completely clogged with tyloses. P, perforation plate; V, xylem vessel; SP, xylem parenchyma cell; T, tylosis.

Pengendapan getah atau blendok (*gums*). Berbagai jenis getah dapat dihasilkan oleh tumbuhan di sekitar luka oleh infeksi patogen. Dengan adanya getah tersebut terbentuk penghalang yang tidak dapat dipenetrasi oleh patogen sehingga patogen menjadi terisolasi dan tidak bisa memperoleh nutrisi dan lama kelamaan akan mati.

1.4. Struktur Pertahanan Seluler

Melibatkan perubahan morfologi di dalam dinding sel atau perubahan yang berasal dari dinding sel yang diserang oleh patogen. Namun, mekanisme pertahanan ini memiliki kemampuan yang terbatas. Ada tiga jenis utama struktur pertahanan seluler, yaitu: 1) terjadi pembengkakan pada lapisan terluar dinding sel yang disertai dengan zat berserat (*amorphous*) yang dapat mencegah bakteri memperbanyak diri; 2) dinding sel yang menebal sebagai respons terhadap beberapa jenis virus dan jamur patogen; dan 3) kalosa palpila yang terdeposit pada sisi bagian dalam dinding sel sebagai respons terhadap serangan jamur patogen.

a) Reaksi Pertahanan Sitoplasmik

Pada beberapa jenis sel yang terserang oleh jamur patogen, sitoplasma dan intinya membesar. Sitoplasma menjadi granular dan keras dan muncul berbagai partikel atau berbagai bentuk di dalamnya akhirnya miselium patogen terurai dan infeksi berhenti.

b) Reaksi Pertahanan Nekrotik: Pertahanan melalui Hipersensitivitas

Pada proses infeksi patogen, patogen memenetrasi dinding sel, setelah patogen berkontak dengan protoplasma sel inti bergerak ke arah serangan patogen dan segera terdisintegrasikan/pecah berbentuk bulat berwarna coklat di dalam sitoplasma. Pertama-tama keadaan tersebut mengelilingi patogen patogen dan kemudian keseluruhan sitoplasma. Pada saat sitoplasma berubah warna menjadi coklat dan akhirnya mati, hifa yang menyerang mulai mengalami degenerasi. Hifa tidak dapat tumbuh ke luar sel yang terserang dan serangan selanjutnya akan terhenti. Jaringan yang mengalami nekrotik akan mengisolasi parasit obligat dari substansi hidup di sekitarnya sehingga dapat menyebabkan patogen mati.

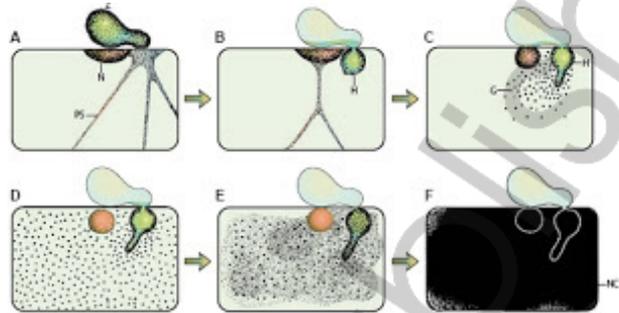


FIGURE 6-9 Stages in the development of the necrotic defense reaction in a cell of a very resistant potato variety infected by *Phytophthora infestans*. N, nucleus; PS, protoplasmic strands; Z, zoospore; H, hypha; G, granular material; NC, necrotic cell. [After Tomiyama (1956). *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 21, 54-62.]

2. Pertahanan Biokimia

Ketahanan tumbuhan terhadap serangan patogen tidak hanya bergantung pada penghalang struktural saja, pada beberapa jenis tumbuhan terdapat zat yang dihasilkan oleh sel sebelum atau sesudah terjadi infeksi. Terbukti dengan adanya jenis tumbuhan yang tidak terdapat sistem pertahanan struktural, tetapi tidak terdapat infeksi dari patogen penyebab penyakit.

2.1. Pertahanan Kimia Sebelum ada Serangan Patogen

Tumbuhan mengeluarkan berbagai zat baik dari bagian tumbuhan di atas tanah maupun melalui permukaan akarnya. Beberapa zat yang dikeluarkan oleh tumbuhan memiliki daya hambat terhadap patogen-patogen tertentu.

a) Tidak ada Pengenalan antara Inang dan Patogen

Spesies atau varietas tumbuhan tertentu mungkin tidak dapat diinfeksi oleh patogen jika permukaan selnya tidak mempunyai faktor pengenalan-spesifik (*specific recognition factor*) yang dapat dikenali oleh patogen. Jika patogen tidak mengenal tumbuhan sebagai salah satu tumbuhan inangnya, maka patogen mungkin tidak jadi menyerang tumbuhan tersebut atau mungkin patogen tidak menghasilkan zat-zat infeksi.

b) Kekurangan Reseptor dan Bagian yang Sensitif Inang terhadap Toksin

Pada kombinasi inang–patogen, patogen biasanya menghasilkan toksik spesifik–inang, toksik tersebut bertanggung jawab terhadap gejala yang akan dihasilkan dan bereaksi terhadap dengan bagian sensitif atau bagian reseptor tertentu di dalam sel. Hanya tumbuhan yang mempunyai reseptor atau bagian sensitif yang menjadi sakit.

c) Tidak ada Hara-hara Esensial bagi Patogen

Varietas tumbuhan karena beberapa sebab menghasilkan suatu zat esensial untuk bertahan hidup bagi parasit obligat sehingga varietas tersebut tahan terhadap serangan patogen.

d) Inhibitor yang Terdapat dalam Sel Tumbuhan Sebelum Infeksi

Beberapa senyawa fenolik dan tanin terdapat dalam konsentrasi tinggi dalam sel daun atau buah yang masih muda dan diperkirakan bertanggung jawab dalam ketahanan jaringan yang masih muda tersebut terhadap mikroorganisme patogenik.

2.2. Ketahanan Metabolik yang Disebabkan oleh Serangan Patogen

a) Inhibitor Biokimia yang Dihasilkan Tumbuhan dalam Responnya terhadap Kerusakan Patogen

Sel dan jaringan tumbuhan bereaksi terhadap kerusakan, baik yang disebabkan oleh patogen atau agensia mekanik dan kimia, melalui serangkaian reaksi biokimia yang ditujukan untuk mengisolasi gangguan dan menyembuhkan luka. Reaksi tersebut sering berhubungan dengan reaksi fungitoksis di sekeliling tempat pelukaan seperti halnya pembentukan lapisan jaringan perlindungan seperti kalus dan gabus.

b) Pertahanan Melalui Peningkatan Kadar Senyawa Fenolik

Senyawa fenolik terdapat pada tumbuhan sehat maupun sakit. Peningkatan kadar senyawa fenolik seringkali terjadi lebih cepat setelah terjadi infeksi pada varietas tahan. Senyawa

fenolik yang terdapat pada tumbuhan tidak sehat, tetapi dihasilkan setelah terjadi infeksi ialah fitoaleksin. Fitoaleksin dihasilkan oleh sel sehat yang berdekatan dengan sel-sel rusak dan nekrotik untuk mencegah patogen berkembang.

c) Pertahanan Melalui Pembentukan Substrat yang Menolak Enzim Patogen

Ketahanan tumbuhan terhadap beberapa jenis patogen ialah akibat dari adanya senyawa-senyawa yang tidak mudah diuraikan oleh enzim-enzim patogen. Senyawa-senyawa tersebut merupakan bentuk kompleks antara pektin, protein, dan kation polivalen seperti kalsium atau magnesium. Senyawa-senyawa tersebut dapat menghambat pertumbuhan patogen sehingga mengakibatkan luka yang terbatas.

d) Pertahanan Melalui Inaktivasi Enzim Patogen

Beberapa jenis senyawa fenolik dan hasil oksidasinya dapat menghasilkan ketahanan terhadap penyakit melalui reaksi penghambatan enzim pektolitik dan enzim patogen yang lain.

e) Pertahanan Melalui Pelepasan Sianida Fungitoksis dari Kompleks Non-Toksis

Beberapa jenis tumbuhan sianogenik glikosida atau ester sianogenik yang bersifat tidak beracun di dalam sel selama senyawa tersebut terpisah dari enzim-enzim hidrolitik tertentu. Akan tetapi apabila sel tersebut dirusak secara fisik sehingga membrannya terganggu dan kandungan selnya bercampur, maka enzim hidrolitik bercampur dengan kompleks sianogenik dan dapat menghasilkan senyawa toksin sianida yang beracun bagi sebagian besar organisme dan mikroorganisme.

2.3. Mekanisme Serangga Menyebabkan Penyakit pada Tanaman

Patogen menyerang tanaman karena membutuhkan senyawa yang dihasilkan oleh tanaman untuk kehidupannya. Patogen yang menginfeksi tanaman harus dapat masuk ke dalam tanaman, memanfaatkan senyawa

nutrisi dan bertahan dari sistem pertahanan inang. Untuk mengambil senyawa dari tanaman, patogen harus mampu melewati penghalang fisik (kutikula, dinding sel). Kadangkala senyawa tanaman tersebut tersedia dalam bentuk yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh patogen sehingga perlu dirombak dahulu agar dapat diserap dan dimanfaatkan oleh patogen. Tanaman memberikan respons terhadap kehadiran dan aktivitas patogen dengan membentuk sistem pertahanan baik berupa pertahanan struktural maupun pertahanan kimiawi. Patogen harus dapat mengatasi sistem pertahanan ini agar dapat tetap hidup dan mengambil makanan dari tanaman inangnya, baik dengan cara mekanis maupun kimiawi

1. Inokulasi atau penularan

Bagian dari patogen atau patogen yang terbawa agen tertentu yang mengadakan kontak dengan tanaman disebut inokulum atau penular. Dengan demikian inokulum merupakan bagian dari patogen atau patogen itu sendiri yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Pada jamur atau cendawan, inokulum dapat berupa miselium, spora atau sklerotium. Pada bakteri, mikoplasma, dan virus, inokulumnya berupa individu bakteri, individu mikoplasma, dan partikel virus itu sendiri. Pada tumbuhan parasitik, inokulum dapat berupa fragmen tumbuhan atau biji dari tumbuhan parasitik tersebut. Pada nematoda, inokulum dapat berupa telur, larva atau nematoda dewasa.

Langkah-langkah yang terjadi pada proses inokulasi, dimulai dari inokulum patogen sampai ke permukaan tubuh tanaman inang melalui perantara angin, air, serangga, dan sebagainya. Meskipun inokulum yang dihasilkan patogen banyak sekali tetapi yang dapat mencapai tanaman inang yang sesuai hanya sedikit sekali. Semua patogen memulai melakukan serangan pada tingkat pertumbuhan vegetatif. Dengan demikian, spora jamur dan biji tumbuhan parasitik harus berkecambah terlebih dahulu. Untuk melakukan perkecambahan diperlukan suhu yang sesuai dan kelembaban dalam bentuk lapisan air pada permukaan tanaman. Keadaan basah atau bentuk lapisan air ini harus berlangsung cukup lama sampai patogen mampu masuk atau melakukan penetrasi ke dalam sel atau jaringan.

Jika hanya berlangsung sebentar maka patogen akan kekeringan dan mati, sehingga gagal melakukan serangan.

2. Penetrasi

Penetrasi merupakan proses masuknya patogen atau bagian dari patogen ke dalam sel, jaringan atau tubuh tanaman inang. Patogen melakukan penetrasi dari permukaan tanaman ke dalam sel, jaringan atau tubuh tanaman inang melalui empat macam cara, yaitu secara langsung menembus permukaan tubuh tanaman, melalui lubang-lubang alami, melalui luka, dan melalui perantara (pembawa, vektor). Ada patogen yang dapat melakukan penetrasi melalui beberapa macam cara dan ada pula yang hanya dapat melakukan penetrasi melalui satu macam cara saja. Sering patogen melakukan penetrasi terhadap sel-sel tanaman yang tidak rentan sehingga patogen tidak mampu melakukan proses selanjutnya atau bahkan patogen mati tanpa menyebabkan tanaman menjadi sakit.

Tumbuhan parasitik dan nematoda melakukan penetrasi dengan cara langsung. Kebanyakan jamur parasit melakukan penetrasi pada jaringan tanaman dengan secara langsung. Spora jamur yang berkecambah akan membentuk buluh kecambah yang dapat digunakan untuk melakukan penetrasi, baik langsung menembus permukaan maupun melalui lubang alami dan luka. Bakteri biasanya melakukan penetrasi melalui luka atau dimasukkan oleh perantara tertentu dan sedikit sekali yang masuk melalui lubang-lubang alami permukaan tanaman. Virus dan mikoplasma dapat melakukan penetrasi dengan melalui luka atau dimasukkan oleh perantara atau vektor. Bakteri, virus, dan mikoplasma tidak pernah melakukan penetrasi secara langsung.

3. Infeksi

Infeksi merupakan suatu proses dimulainya patogen memanfaatkan nutrisi (sari makanan) dari inang. Proses ini terjadi setelah patogen melakukan kontak dengan sel-sel atau jaringan rentan dan mendapatkan nutrisi dari sel-sel atau jaringan tersebut. Selama

proses infeksi, patogen akan tumbuh dan berkembang di dalam jaringan tanaman.

Infeksi yang terjadi pada tanaman inang akan menghasilkan gejala penyakit yang tampak dari luar, seperti menguning, berubah bentuk (malformasi) atau bercak (nekrotik). Beberapa proses infeksi dapat bersifat laten atau tidak menimbulkan gejala yang tampak mata, akan tetapi pada saat keadaan lingkungan lebih sesuai untuk pertumbuhan patogen atau pada tingkat pertumbuhan tanaman selanjutnya, patogen akan melanjutkan pertumbuhannya sehingga tanaman menampilkan gejala sakit.

4. Invasi

Invasi merupakan tahap pertumbuhan dan perkembangan patogen setelah terjadi infeksi. Individu jamur dan tumbuhan parasitik umumnya melakukan invasi pada tanaman dimulai sejak proses infeksi dengan cara tumbuh dalam jaringan tanaman inang sehingga tanaman inang selain kehilangan nutrisi, sel-selnya atau jaringan juga rusak karenanya.

Bakteri, mikoplasma, virus, dan nematoda melakukan invasi dan menginfeksi jaringan baru di dalam tubuh tanaman dengan jalan menghasilkan keturunan (individu-individu patogen) dalam jaringan yang terinfeksi. Keturunan patogen ini kemudian akan berpindah secara pasif ke dalam sel-sel jaringan lain melalui plasmodesmata (untuk virus), floem (untuk virus, mikoplasma), xilem (untuk beberapa jenis bakteri) atau dapat pula berpindah secara aktif dengan jalan berenang dalam lapisan air, seperti nematoda dan beberapa jenis bakteri motil (mempunyai alat gerak).

5. Penyebaran

Penyebaran patogen berarti proses berpindahnya patogen atau inokulum dari sumbernya ke tempat lain. Penyebaran patogen dapat terjadi secara aktif maupun pasif. Penyebaran pasif yang berperan besar dalam menimbulkan penyakit, yaitu dengan perantaraan angin, air, hewan (terutama serangga), dan manusia. Beberapa patogen dapat

Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen

melakukan penyebaran secara aktif, misalnya nematoda, zoospora dan bakteri motil. Ketiga macam inokulum ini mampu berpindah dalam jarak yang relatif pendek (mungkin hanya beberapa milimeter atau sentimeter) dengan menggunakan kekuatan sendiri sehingga kurang efektif dari segi perkembangan penyakit.

BAB II

Interaksi Tanaman dan Patogen



A. Vegetasi dan Tanaman

Vegetasi dan tanaman di alam seiring berjalannya waktu dan dipengaruhi oleh iklim, dapat berkembang menjadi komunitas tumbuhan yang disebut “mis komunitas”. Komunitas ini adalah gabungan spesies tumbuhan dan hewan (termasuk jamur, bakteri, protozoa, dan lainnya) yang ada pada suatu tempat dan waktu tertentu dan berinteraksi fungsional di dalamnya. Vegetasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kompleks tumbuhan yang terdiri dari beragam spesies dengan berbagai umur dan habitat yang diatur oleh interaksi komunitas dengan lingkungan. Walaupun pada saat tertentu, satu atau beberapa spesies tumbuhan mungkin mendominasi dan memengaruhi karakteristik vegetasi.

Tanaman adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan produk pertanian yang sedang ditanam atau dipanen. Tanaman memiliki dampak pada lingkungan dan juga memengaruhi keberadaan patogen. Populasi tanaman memiliki ciri-ciri tertentu, yaitu meningkatnya keragaman karakter tanaman, peningkatan keragaman lingkungan, penurunan keragaman genetik, peningkatan kepadatan tanaman, dan perubahan dalam kondisi pertumbuhan.

B. Pertumbuhan dan Perkembangan Inang

Pertumbuhan dan Perkembangan pada Inang

Pertumbuhan mengacu pada peningkatan ukuran dan berat tanaman atau organ tanaman, yang dapat diukur dalam bentuk panjang tunas, luas daun atau berat kering. Di sisi lain, perkembangan merujuk pada proses organisme mencapai berbagai tahap morfologi yang berbeda, yang

dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan, dan dikendalikan oleh proses fisiologi. Perkembangan juga melibatkan perubahan yang bersifat irreversible.

Respons patogen terhadap pertumbuhan inang sangat bergantung pada kerentanan varietas tanaman inang dan tingkat patogenisitas patogen yang bersangkutan. Perubahan dalam patogenisitas patogen dapat diklasifikasikan dalam tiga tingkat evolusi.

1. **Makroevolusi:** merujuk pada perubahan patogenisitas yang berlangsung secara berkelanjutan terhadap tanaman.
2. **Mesoevolusi:** melibatkan perubahan patogenisitas yang dimulai sejak awal pertanian.
3. **Mikroevolusi:** adalah perubahan patogenisitas yang diamati dalam kurun waktu sepuluh tahun.

Perubahan dalam patogenisitas secara bertahap dapat mengikuti perkembangan inang dan sebaliknya, perkembangan inang juga dapat merespons perubahan dalam patogen. Dalam konteks ekologi, penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen mikroskopis seperti ini adalah bagian dari lingkungan alami. Mereka memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan alam dan berusaha untuk bertahan hidup dan berkembang biak.

Dalam ekosistem alami yang memiliki banyak komponen biotik yang beragam, patogen-patogen tersebut sering kali memiliki pembatasan dalam hal pertumbuhan dan perkembangannya. Namun, di agroekosistem, yang merupakan hasil aktivitas manusia, patogen-patogen tersebut memiliki kesempatan lebih besar untuk berkembang biak pada tanaman yang ditanam, yang pada gilirannya dapat merugikan produksi pertanian. Terutama ketika hanya satu varietas tanaman yang ditanam di agroekosistem, keragaman komponen biotiknya sangat rendah.

Meskipun tidak mungkin atau diperlukan untuk membasmi sepenuhnya patogen tersebut, manusia harus belajar untuk berdampingan dengan patogen mikroskopis ini di dalam agroekosistem. Upaya harus dilakukan untuk menjaga populasi patogen tetap di bawah ambang batas ekonomi yang merugikan manusia. Ini adalah dasar dari konsep pengendalian hama penyakit terpadu. Epidemiologi menyediakan pedoman taktik pengendalian

yang efisien, ekonomis, dan sesuai dengan Prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT), sehingga dapat dianggap sebagai strategi pengendalian yang solid.

C. Populasi dan Atributnya

Epidemiologi merupakan bidang studi yang menginvestigasi interaksi antara inang dan patogen pada tingkat populasi. Populasi adalah sekelompok organisme yang berasal dari satu spesies atau organisme yang dapat berinteraksi satu sama lain, mendiami suatu wilayah tertentu, dan ada dalam jangka waktu tertentu. Populasi dari suatu spesies memiliki karakteristik khusus yang menjadi fokus utama dalam epidemiologi. Yang perlu diperhatikan dalam epidemiologi adalah atribut temporer dalam ekologi adalah angka kelahiran, kematian, imigrasi, dan emigrasi. Namun, dalam epidemiologi penyakit tanaman dipergunakan istilah sporulasi dan diseminasi (pemencaran) suatu jamur patogen:

- Atribut spatial membahas tentang derajat kepadatan, struktur, dan penyebaran suatu populasi dalam dimensi ruang. Yang penting dalam epidemiologi adalah:
 - ▶ Daerah, yaitu suatu tempat tertentu yang diduduki oleh spesies populasi suatu patogen yang biasanya bersama-sama dengan populasi spesies lain.
 - ▶ Dispersi, yaitu bagaimana tersebarnya suatu populasi di suatu daerah. Individu-individunya dapat menyebar merata di suatu daerah, mengelompok atau tidak beraturan.
 - ▶ Kepadatan, yaitu berapa jumlah individu dalam setiap unit daerah atau volume. Misalnya berapa banyak bercak penyakit terdapat dalam satu kesatuan ukuran (cm²) pada suatu helaian daun.
 - ▶ Beratnya penyakit adalah sebagian dari permukaan daun atau sebagian dari populasi tanaman yang sakit dinyatakan dengan persen dari seluruh permukaan daun atau seluruh populasi tanaman.

- ▶ Prevalensi penyakit adalah menyatakan berapa banyaknya jenis tanaman yang sakit dinyatakan dalam persen terhadap semua jenis tanaman dari suatu hamparan.

1.1. Tanaman Sehat dan Sistem Pertahanannya

Setiap kali petani menanam tanaman budidaya, mereka berharap agar tanaman tersebut tumbuh subur dan menghasilkan panen yang melimpah. Secara umum, tanaman adalah organisme yang telah dibiakkan dan diperbanyak oleh manusia, sedangkan tumbuhan adalah organisme non-budidaya. Beberapa karakteristik visual yang menunjukkan bahwa tanaman tersebut sehat meliputi dedaunan yang lebat, pertumbuhan yang tegak, bebas dari serangan hama dan penyakit, tanaman yang tidak layu dan kering, serta kemampuan tanaman untuk terus bertambah ukuran (terlihat dari perpanjangan batangnya) serta perubahan yang terlihat setiap hari pada tanaman muda, yang mengarah dari fase kecambah ke fase dewasa.

Secara umum, penyebab penyakit pada tanaman dikenal sebagai patogen, sementara organisme yang terinfeksi atau menempati tanaman tersebut disebut inang (*host*). Bagaimana kita dapat membedakan tanaman yang sehat dan yang sakit? Secara umum, tanaman yang sakit akan menunjukkan tanda-tanda berikut: a) daun yang banyak layu dan menguning, yang mengakibatkan penurunan dalam proses fotosintesis (karena penurunan klorofil atau kerusakan kloroplas); b) gangguan dalam translokasi air (penyumbatan pembuluh xylem, penyempitan pembuluh vaskular, kerusakan lapisan daun, dan stomata); c) gangguan dalam translokasi nutrisi (ketidaknormalan dalam aktivitas enzim pertumbuhan); d) peningkatan tingkat respirasi, yang tercermin dalam peningkatan metabolisme yang digunakan untuk melawan pertumbuhan abnormal; dan e) peningkatan permeabilitas sel yang disebabkan oleh adanya enzim yang bersifat toksin yang dihasilkan oleh patogen.

Secara alami, tanaman budidaya dapat diserang oleh berbagai jenis patogen dan respons pertahanan tanaman bervariasi terhadap serangan tersebut. Tanaman secara alami dianggap tahan terhadap penyakit saat kondisi pertumbuhannya normal dan tanaman mampu

menolak organisme asing. Kerentanan, di sisi lain, adalah pengecualian ketika tanaman tumbuh dalam kondisi yang tidak optimal, sehingga rentan terhadap serangan patogen. Sebagai contoh, ini terjadi pada tanaman yang tumbuh di daerah dengan kondisi lingkungan ekstrem seperti kekeringan. Tingkat ketahanan atau kerentanan tanaman ditentukan oleh dua faktor utama: keberadaan patogen dan cara tanggap tanaman terhadap patogen. Tipe ketahanan tanaman terbagi tiga, yakni: a) ketahanan bukan inang; b) ketahanan sejati; dan c) ketahanan semu (lolos dan toleran).

Ketahanan bukan inang adalah tanaman tertentu hanya merupakan inang bagi sejumlah kecil patogen, sebagai contoh spesies tanaman tertentu hanya diserang oleh patogen tertentu. Tanaman bukan inang (*non host*) mempunyai sifat sangat tahan terhadap patogen tanaman lainnya walaupun kondisi lingkungannya sangat mendukung perkembangan patogen tersebut dan relatif rentan terhadap patogennya sendiri.

Ketahanan sejati adalah ketahanan yang terbentuk secara alami karena adanya gen ketahanan di dalam tanaman. Tanaman inang dan patogen yang menginfeksi tidak sesuai karena sebelumnya tidak terjadi proses pengenalan secara kimiawi antara inang dan patogen yang akan menginfeksi. Selain itu, terdapat mekanisme pertahanan yang diberikan oleh tanaman inang sebelum atau setelah infeksi patogen. Ketahanan sejati terbagi dua, yakni ketahanan horizontal dan ketahanan vertikal.

Ketahanan horizontal adalah tanaman bekerja melawan semua ras patogen, tingkat ketahanannya rendah, diwariskan secara poligenik, dan merupakan reaksi dari kumpulan gen sehingga sulit diidentifikasi. Ketahanan secara horizontal umumnya beraktivitas sebelum dan sesudah infeksi patogen serta mampu mengurangi laju perkembangan patogen.

Ketahanan vertikal adalah ketahanan tanaman diatur oleh satu atau beberapa gen utama yang dapat bersifat resesif atau dominan, reaksinya secara diferensial, hanya tahan terhadap satu ras patogen, diturunkan ke generasi selanjutnya sesuai dengan hukum Mendel,

gennya dapat diidentifikasi, ketahanannya dapat berubah sewaktu-waktu, dapat menunda permulaan terjadinya epidemi penyakit, tetapi saat terserang cepat terjadi peningkatannya. Umumnya, ketahanan secara vertikal aktif setelah terjadi infeksi dan bersifat hipersensitif.

Ketahanan semu adalah pada keadaan sebenarnya tanaman tersebut rentan, tetapi kondisi tidak menguntungkan untuk terjadinya penyakit.

Perlu diketahui bahwa tanaman dapat lolos dari serangan penyakit karena adanya tiga faktor utama yang saling menolak satu sama lain (adanya interaksi antara tanaman inang, patogen, dan lingkungan/*disease triangle*), tanaman cepat tumbuh, umur tanaman yang tidak sesuai untuk diinfeksi oleh patogen, sistem penanaman polikultur/tumpang sari, sebelumnya tidak terjadi infeksi/pelukaan fisik oleh alat pertanian, tidak ada vektor pembawa (serangga), adanya cendawan antagonis, dan kondisi lingkungan serta iklim yang tidak sesuai untuk pertumbuhan patogen. Bagian tanaman yang telah mengalami pelukaan oleh serangga dan alat pertanian mudah sekali terinfeksi oleh patogen. Inilah yang disebut sebagai infeksi sekunder.

Sebaliknya, tanaman toleran terhadap penyakit karena a) tanaman terserang/rentan, tetapi tanaman mampu bertahan dengan baik (adanya gejala ringan/tidak tampak); b) terdapat sifat genetik yang dapat diwariskan; dan c) pada keadaan sebenarnya tanaman tersebut rentan, tetapi kondisinya tidak menguntungkan untuk terjadinya penyakit.

Sistem pertahanan tanaman terbagi menjadi dua bagian utama, yakni sebelum terjadinya infeksi patogen dan setelah terjadinya infeksi. Pertahanan tanaman sebelum terjadinya infeksi terbagi menjadi dua bagian penting, yakni: a) pertahanan struktural mencakup adanya lapisan lilin dan bulu/duri pada permukaan tanaman, struktur dinding sel epidermis dan ukurannya (semakin rapat semakin sulit ditembus oleh patogen), kerapatan serta bentuk stomata/lenti sel; dan b) pertahanan biokimia meliputi adanya mekanisme penghambatan yang dikeluarkan tanaman ke lingkungan berupa enzim yang dapat dikenali oleh serangga/patogen, penghambatan yang terdapat secara alami di

dalam tubuh tanaman, pertahanan yang terjadi karena adanya faktor esensial (tidak adanya pengenalan antara inang dan patogen, tidak adanya reseptor pada inang dan sensor untuk mengenali toksin dan tidak adanya substansi esensial untuk patogen). Pertahanan tanaman setelah terjadinya infeksi adalah: a) pertahanan struktural meliputi reaksi pertahanan sitoplasmik, struktur pertahanan dinding sel, dan struktur pertahanan histologi (terjadinya pembentukan lapisan gabus, pembentukan lapisan absisi, pembentukan tilosis, dan adanya deposit gum/ zat perekat); dan b) pertahanan biokimia mencakup pengenalan patogen oleh tanaman inang, respons hipersensitif, adanya fitoaleksin, detoksifikasi toksin yang dikeluarkan oleh patogen, adanya senyawa fenol sederhana dan protein serta pertahanan melalui inokulasi buatan.

1.2. Penyebab Penyakit Tanaman

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, tingkat keparahan penyakit sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan tempat tumbuh dan pertahanan tanaman inang secara alami (warisan gen ketahanan secara genetik). Terdapat dua macam penyebab utama terjadinya penyakit pada tumbuhan, yakni penyakit abiotik dan biotik.

1.2.1. Abiotik

Penyakit abiotik biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan tempat tumbuh tanaman budi daya, yakni adanya batuan cadas menghambat pertumbuhan akar tanaman, pH tanah terlalu asam/ basa, kekurangan air, suhu udara/tanah terlalu tinggi, lahan tergenang/ banjir, defisiensi unsur hara, terjadinya keracunan Fe, Al atau logam berat lainnya pada tanaman, terdapat bahan penyebab pencemaran udara berupa gas dan partikel yang menyebar di sekitar pertanaman, keracunan pestisida kimiawi serta suhu udara terlalu rendah.

Penyebab lain terjadinya penyakit abiotik adalah defisiensi zat hara yang dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman, contohnya hara makro dan mikro. Hara makro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif banyak biasanya dinyatakan dalam

% per unit bahan kering contohnya adalah nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan belerang (S). Gejala tanaman yang kekurangan hara makro adalah: a) nitrogen (N) menunjukkan daunnya menguning dan kering, pertumbuhannya lambat dan tanamannya kerdil; b) fosfor (P) menyebabkan terhambatnya pertumbuhan sistem perakaran, batang dan daun; warna daun menjadi hijau tua/keabu-abuan, terdapat pigmen merah pada bagian bawah daun; buah yang dihasilkannya kecil dan kisut; c) kekurangan kalium (K) menyebabkan daun tanaman menjadi keriting, batang pendek dan lemah, buah mudah gugur (contohnya pada tanaman kelapa dan jeruk); pada tanaman penghasil umbi (kentang dan ubi jalar) kandungan karbohidratnya menjadi sangat rendah; d) kekurangan kalsium (K) menyebabkan daun muda berkeriput dan mengalami perubahan warna, matinya tunas tanaman serta pertumbuhan tanaman lemah; e) kekurangan magnesium (Mg) menyebabkan daun tua mengalami klorosis, tulang daunnya berwarna hijau serta berkurangnya daya kecambah biji; dan f) kekurangan belerang (S) menyebabkan daun tanaman mengalami klorosis (berubah menjadi kuning), terutama ditemukan pada daun muda; jumlah anakan yang dihasilkan sangat terbatas, tanaman kerdil, khusus pada tanaman tebu menyebabkan rendemen gula yang rendah.

Selain unsur hara makro maka unsur hara mikro juga dibutuhkan dalam pertumbuhan tanaman walaupun jumlahnya relatif sedikit (dinyatakan dalam ppm per unit bahan kering) contohnya adalah besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), boron (B), molibdenum (Mo), kobalt (Co) dan khlor (Cl). Dampak kekurangan hara mikro adalah: a) kekurangan besi (Fe) menyebabkan tulang daun mengalami klorosis lalu mengering; kematian tanaman dimulai dari pucuknya; b) kekurangan tembaga (Cu) menyebabkan ujung daun sering ditemukan layu; ranting berwarna cokelat dan mati; buahnya yang dihasilkan berukuran kecil berwarna cokelat; c) kekurangan

mangan (Mn) menyebabkan jaringan daun mengalami klorosis lalu mati dan tidak terjadi pembentukan biji; d) kekurangan seng (Zn) menyebabkan klorosis terjadi di antara tulang daun serta daun gugur sebelum waktunya; e) kekurangan boron (B) menyebabkan daun menjadi keriput; pada jagung tidak menghasilkan biji pada tongkol; f) kekurangan molibdenum (Mo) menyebabkan daun berkerut dan mengering; g) kekurangan kobalt (Co) menyebabkan berkurangnya daya kecambah biji karena terhambatnya proses penyerapan nitrogen; dan h) kekurangan khlor (Cl) menyebabkan daun tanaman berwarna seperti tembaga.

Penyakit abiotik dapat juga terjadi karena pengaruh suhu. Suhu tinggi yang berasal dari radiasi panas menyebabkan gangguan pada tanaman, contohnya terjadi paparan sinar matahari secara langsung pada lahan tanpa naungan dan panasnya api karena adanya pembakaran serasah dapat mematikan tanaman budi daya karena mengalami dehidrasi berlebihan. Suhu rendah di bawah 0°C menyebabkan *freezing injury* yang dapat mematikan pertumbuhan jaringan muda. Salah satu contoh nyata pengaruh suhu udara terlalu rendah pada pertumbuhan tanaman adalah kasus embun upas. Embun upas adalah butiran es yang menyelubungi tanaman (contoh kasusnya pada tanaman kentang) seperti yang ditemukan di dataran tinggi Dieng. Suhu lingkungan saat terjadinya embun upas berkisar 5–8°C. Adanya butiran es yang menyelubungi semua bagian tanaman menghalangi terjadinya proses fotosintesis. Terhambatnya proses fotosintesis dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan tanaman layu, mengering, dan berujung pada gagal panen. Secara umum, embun upas menyebabkan keringnya daun dan batang tanaman. Arnani (2018) melaporkan bahwa dampak embun upas pada tanaman kentang yang siap panen menjadikan kualitasnya sangat menurun karena timbul bercak cokelat pada bagian dalam umbi. Terjadinya perubahan fisik umbi

kentang menyebabkan kerugian yang sangat besar pada petani. Fenomena ini menyerang tanaman kentang di dataran tinggi Dieng dalam skala yang luas. Selain kentang, terdapat beberapa spesies tanaman yang menjadi kering karena adanya embun upas, yakni bunga pancawarna, bunga trompet, dan carica. Selain tanaman yang peka, ada pula beberapa tanaman lain yang tahan terhadap embun upas, yakni cemara, puspa, dan kayu putih. Tingkat keparahan penyakit sangat ditentukan oleh ketebalan lapisan embun upas dan durasi terjadinya serangan tersebut. Embun upas biasanya terjadi saat kemarau melanda dataran tinggi Dieng pada Juli–Agustus setiap tahunnya dengan durasi harian sampai mingguan.

Salah satu alternatif sederhana mengatasi serangan embun upas adalah petani menggunakan paranet yang menutupi tanaman budi daya untuk menghalangi penetrasi embun upas. Namun, paranet terlihat kurang efektif digunakan jika embun upas terlalu tebal. Cara lainnya adalah petani dianjurkan menghangatkan tanamannya dengan melakukan pemanasan sampai suhu sekitar 40° C. Alat berupa pemanas buatan tersebut diletakkan di tengah pertanaman karena akan memancarkan cahaya serupa dengan matahari. Namun, teknologi ini masih baru dan tergolong sangat mahal untuk diaplikasikan oleh petani di Indonesia, khususnya di daerah yang sering terkena embun upas.

Selain kematian tanaman karena adanya embun upas, proses kehilangan air dari jaringan tumbuhan dapat menyebabkan layu sementara (*temporary wilt*) dan layu permanen (*permanent wilt*). Kerusakan permukaan jaringan tanaman menyebabkan keriput dan retak/pecah. Polutan berupa bahan pencemar udara yang berasal dari gas dan partikel secara langsung menyebabkan kerusakan pada jaringan/sel contohnya saat terjadi hujan asam (SO₂). Dampak tidak langsung adalah terjadi efek rumah kaca dan adanya lubang ozon yang berpengaruh negatif pada tanaman (terjadi pemanasan global).

1.2.2. Biotik

Faktor biotik yang menjadi penghambat pertumbuhan tanaman sebagian besar berasal dari golongan mikroorganisme yang bersifat sebagai patogen, yakni cendawan, bakteri, nematoda, virus, protozoa, dan fitoplasma. Semua spesies patogen yang telah disebutkan tersebut mempunyai potensi menyerang tanaman budi daya mulai dari pesemaian, panen sampai ke tempat penyimpanan. Gejala yang umum tampak pada tanaman yang terserang cendawan adalah timbulnya bercak pada daun/ buah, adanya tepung yang menutupi tanaman (*powdery*), layu (*wilt*), dan karat (*rust*). Secara kimiawi, aktivitas patogen juga menyebabkan material menjadi lunak dan berbau busuk.

Sebelum melangkah lebih jauh, untuk menyamakan persepsi penggunaan nama antara penulis dengan pembaca, di buku ini dituliskan, “Semua jenis organisme yang menyerang/ hidup pada tumbuhan dan lingkungan,” disebut dengan nama cendawan, sedangkan, “produk/bahan pencampur yang dapat dimakan oleh manusia (*edible*),” disebut sebagai jamur.

BAB III

Pengaruh Iklim Lingkungan Terhadap Patogen



Lingkungan

Faktor lingkungan dapat meningkatkan kerentanan tanaman atau membuatnya lebih rentan terhadap penyakit. Cuaca dan iklim berperan sangat besar dalam perkembangan penyakit tanaman, terutama penyakit yang disebabkan oleh angin, air, dan serangga. Penyakit tanaman bisa disebabkan oleh kerusakan yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti cendawan, bakteri, virus, mikoplasma, dan faktor lingkungan yang tidak cocok (misalnya, kelebihan atau kekurangan nutrisi, polusi, dan lain sebagainya). Di antara penyebab-penyakit ini, cendawan dan bakteri adalah patogen yang paling sering menyerang tanaman.

Cendawan biasanya menyebar dalam bentuk spora atau potongan-potongan hifa yang dapat dibantu oleh angin, air, hewan, manusia, kontak langsung atau dapat terkandung dalam bagian-bagian tanaman seperti biji dan umbi. Bakteri juga dapat menyebar dengan cara yang serupa. Sementara virus dan mikoplasma sebagian besar disebarkan oleh serangga, manusia atau melalui bagian-bagian tanaman.

Perubahan dalam faktor lingkungan fisik, iklim atau cuaca akan memiliki dampak signifikan pada penyakit saat patogen berada di luar jaringan tanaman (prapenetrasi). Pada saat ini, patogen sangat rentan dan ini akan menentukan apakah iklim atau cuaca akan memengaruhi perkembangan penyakit.

Dalam mengkaji dampak iklim atau cuaca pada perkembangan penyakit, yang paling penting adalah memahami perilaku iklim mikro di sekitar pertanaman atau bahkan pada lapisan yang lebih tipis di sekitar daun atau batang yang disebut sebagai *boundary layer*. Perubahan lingkungan

fisik di lapisan tipis ini di sekitar tanaman sangat menentukan kemungkinan patogen menyebabkan penyakit. Dalam beberapa kasus, permasalahan ini sangat sulit untuk diteliti, sehingga perlu pemahaman tentang hubungan antara pola iklim secara umum dan iklim mikro di sekitar tanaman.

Sebagai contoh, penyakit layu *Fusarium* pada tomat akan meningkat ketika tanah menjadi kering, intensitas cahaya rendah, dan pH tanah asam. Penggunaan nitrogen berlebihan juga dapat membuat tanaman lebih rentan terhadap penyakit yang disebabkan oleh parasit obligat. Kelembapan daun yang meningkat selama hujan lebat dapat memudahkan perkembangan penyakit tertentu.

Pengaruh Lingkungan terhadap Perkembangan Penyakit

Perkembangan penyakit biasanya terjadi saat musim panas, pada hari-hari yang lembap, dan pada tanaman yang mendapat pupuk nitrogen secara berlebihan. Ini menunjukkan bahwa faktor-faktor lingkungan, seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, nutrisi, dan pH tanah, memengaruhi perkembangan penyakit. Untuk perkembangan penyakit, paling tidak ada tiga faktor yang dibutuhkan, yaitu keberadaan tanaman yang rentan, patogen yang bersifat infeksius, dan lingkungan yang cocok bagi perkembangan patogen. Perubahan dalam faktor-faktor lingkungan dapat memengaruhi patogen, tanaman atau keduanya secara bersamaan.

1. Pengaruh Suhu

Tumbuhan maupun patogen memerlukan suhu tertentu untuk tumbuh dan melakukan aktivitasnya. Patogen mempunyai pilihan yang berbeda untuk suhu tinggi dan rendah. Sebagai contoh, penyakit hawar daun kentang oleh *Phytophthora infestans* lebih berkembang di daerah yang dingin, sedangkan penyakit layu yang disebabkan oleh *Fusarium* dan *Ralstonia solanacearum* pada tanaman *solanaceae* lebih banyak berkembang di daerah panas. Pada suhu optimum untuk patogen, tetapi jauh di bawah atau di atas suhu optimum untuk inang, maka penyakit akan berkembang dengan cepat. Contohnya pada ketinggian tempat dari permukaan laut akan memberikan suhu tertentu kebanyakan penyakit hanya merugikan pada tempat-tempat dengan ketinggian tertentu. Penyakit bulai pada jagung, penyakit karat daun

kopi, dan cendawan akar merah pada teh (*Ganoderma pseudofrreum*) hanya merugikan pada tempat-tempat rendah yang suhunya relatif tinggi, sedangkan penyakit tepung, cacar teh, bercak bergaris pada padi (*P. oryzae*) dan cendawan akar merah bata (*Poriahypolateritia*) serta cendawan akar hitam (*Roselliniaarcuata*) pada teh hanya merugikan pada tempat yang tinggi yang suhu lingkungan relatif lebih rendah.

2. Pengaruh Kelembaban

Kelembaban berpengaruh terhadap perkecambahan spora cendawan, penembusan tabung kecambah kedalam inang, mengaktifkan bakteri dan nematoda yang dapat menginfeksi tumbuhan. Kelembaban juga meningkatkan sukulensi tumbuhan sehingga meningkatkan kerentanan tumbuhan terhadap beberapa patogen. Contoh penyakit yang meningkat pada musim hujan antara lain hawar daun kentang, kudis apel, dan embun bulu anggur. Sebaliknya, penyakit embun tepung berkembang bila kelembaban nisbinya agak rendah, yaitu sekitar 50-70%. Banyaknya patogen dalam tanah seperti cendawan *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, dan bakteri *Erwinia* serta *Pseudomonas* berkembang pesat dalam keadaan lembap sampai basah, sedangkan *Streptomyces scabies*, penyebab kudis kentang banyak menimbulkan masalah pada tanah yang agak kering.

3. Pengaruh Angin

Angin dapat menyebarkan patogen dan mempercepat pengeringan permukaan tumbuhan yang basah. Angin lebih berperan dalam penyebaran patogen bila menyertai hujan. Hujan yang tertiuip angin membantu melepaskan spora cendawan dan sel-sel bakteri dari jaringan terinfeksi, kemudian mengangkutnya melalui udara dan menempelkannya di permukaan tumbuhan yang basah. Angin juga menimbulkan luka pada bagian tumbuhan dan ini menjadi jalan masuk bagi virus dan bakteri.

Pengaruh angin umumnya secara tak langsung terhadap kelembapan dan terjadinya embun. Pengaruh langsungnya adalah terhadap penyebaran spora, penyebaran serangga vektor dan perlukaan akibat gesekan oleh tiupan angin. Contohnya adalah pelepasan dan pemencaran *konidia Pyricularia oryzae* yang sangat dipengaruhi kecepatan angin.

4. Pengaruh pH Tanah

Penyakit akar gada pada kubis yang disebabkan oleh cendawan *Plasmidiophora brassicae* lebih hebat pada pH tanah dibawah 5,7 daripada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, penyakit kudis kentang umumnya lebih berkembang pada pH tanah diatas 5,2 dari pada di bawahnya. Selain mempengaruhi patogen, kemasaman, tanah juga berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara bagi tumbuhan.

5. Pengaruh Unsur Hara

Ketersediaan unsur hara dapat mempengaruhi pertumbuhan dan ketahanan tumbuhan. Kelebihan unsur N (Nitrogen) akan menyebabkan pertumbuhan yang sukulen, memperpanjang masa vegetatif, dan meningkatkan kerentanan tumbuhan terhadap patogen tertentu, misalnya Erwina dan Pucinia. Sebaliknya kekurangan N akan membuat pertumbuhan lambat, tumbuhan lemah, dan menjadi rentan terhadap patogen seperti Sclerotium, Fusarium, dan Pythium. Pada umumnya, tanaman yang mendapat unsur hara yang seimbang dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan akan lebih kuat terhadap serangan patogen.

6. Air dan Embun

Air yang dimaksud adalah air bebas yang sangat besar perannya dalam perkembangan penyakit. Penyakit-penyakit tertentu seperti kanker kina yang disebabkan *Phytophthora cinnamoni* atau penyakit lanas tembakau (*Phytophthora nocotiane*) yang dapat tersebar luas terbawa air hujan. Air gutasi juga dapat membantu

timbulnya penyakit seperti pada *Xanthomonas campestris* yang menyerang kol.

Embun juga dapat berperan dalam perkembangan spora dan infeksi. Penyebab penyakit bulai pada jagung (*Sclerospora maydis*) hanya dapat membentuk spora pada waktu malam jika daun berembun.

7. Radiasi Surya

Pengaruh radiasi surya secara tak langsung terhadap berkurangnya kelembapan dan meningkatnya suhu lingkungan, sedangkan secara langsung adalah pada efek mematikan spora atau pembuluh kecambah spora pada kebanyakan patogen.

BAB IV

Mekanisme Penyebaran Patogen



Penyakit pada tanaman terjadi karena adanya interaksi antara tiga faktor utama, yaitu faktor tumbuhan atau inang, faktor organisme pengganggu tumbuhan atau *pest*, dan tentu saja lingkungan sekitar tanaman dan *pest* yang mempengaruhi langsung terhadap perkembangan tumbuhan maupun *pest* sehingga terjadinya penyakit yang selanjutnya disebut dengan segitiga penyakit. Faktor yang mempengaruhi terjadinya penyakit pada tanaman serta memahami mengenai segitiga penyakit, sebenarnya juga merupakan segitiga pertumbuhan tanaman.

Tanaman yang terserang penyakit dapat dikenali dengan melihat gejalanya secara teliti, tanda-tanda umum dan spesifik dari gejala, memberi tahu kita mengenai penyakit apa yang menyerang pada tanaman kita. Gejala yang terjadi dapat dilihat pada bagian akar, batang, daun maupun buah tanaman. Penyakit tanaman yang telah diketahui dapat diupayakan pengendalian yang harus dilakukan untuk mengurangi tingkat kerusakan pada tanaman sehingga dapat meningkatkan produksi. Tanaman akan mengalami perubahan yang sangat jelas ketika hal ini terjadi, seperti pada warna daun yang menguning, daun yang layu, pertumbuhan yang tidak maksimal, kerdil, kualitas pada buah menurun, atau akar mudah rebah yang disebabkan oleh virus atau bakteri. Penyakit yang serius yang tidak segera ditangani akan berdampak buruk bahkan menyebabkan tanaman mati secara serempak dan tidak wajar. Cara utama untuk menentukan penyakit apapun adalah dengan mengetahui nama patogen atau agen yang secara negatif mempengaruhi kesehatan organisme inang.

A. Pengertian Patogen

Patogen adalah organisme hidup yang mayoritas bersifat mikro dan mampu menimbulkan penyakit pada tumbuhan. Mikroorganisme tersebut antara lain fungi, bakteri, virus, nematoda mikoplasma, spiroplasma, dan riketsia.^[1]

Pengaruh komponen patogen dalam timbulnya penyakit sangat tergantung pada kehadiran patogen, jumlah populasi patogen, kemampuan patogen untuk menimbulkan penyakit, yaitu berupa kemampuan menginfeksi (virulensi) dan kemampuan menyerang tanaman inang (agresifitas), kemampuan adaptasi patogen, penyebaran, ketahanan hidup, dan kemampuan berkembang biak patogen.^[1]

Yang dimaksud patogen adalah organisme hidup yang mayoritas bersifat mikro dan mampu untuk dapat menimbulkan penyakit pada tanaman atau tumbuhan. Mikroorganisme tersebut antara lain fungi, bakteri, virus, nematoda mikoplasma, spiroplasma, dan riketsia. Suatu organisme disebut patogen apabila dapat memenuhi Postulat Koch, yaitu:

- a. Patogen ditemukan pada tanaman/bagian tanaman yang terserang,
- b. Patogen dapat diisolasi dan diidentifikasi,
- c. Patogen dapat diinokulasikan pada spesies inang yang sama dan menunjukkan gejala yang sama,
- d. Patogen tersebut dapat diisolasi kembali.

B. Mekanisme Penyebaran Patogen

Penyebaran patogen berarti proses berpindahnya patogen atau inokulum darisumbernya ke tempat lain.^[3]

Penyakit dapat disebabkan oleh agen abiotik yang noninfeksius dan tak dapat ditularkan, misalnya oleh polutan dan keadaan tanah yang buruk. Penyebab penyakit lainnya adalah agen biotik yang infeksius dan dapat ditularkan, misalnya bakteri dan cendawan. Secara umum, penyebab penyakit yang menular ini disebut patogen. Kebanyakan patogen merupakan parasit karena ia mendapatkan makanannya dari tumbuhan hidup yang menjadi inang (*host*).

Patogenisitas adalah kemampuan untuk menimbulkan penyakit. Istilah virulensi digunakan sebagai ukuran tingkat patogenisitas, dan kini

lebih bersifat kualitatif daripada kuantitatif. Untuk menggambarkan reaksi tanaman terhadap patogen digunakan istilah kebal (*immune*), tahan (*resisten*), toleran (*tolerance*), dan rentan (*susceptible*). Hal ini merupakan pengukuran sampai seberapa jauh tanaman dapat mencegah masuknya atau pertumbuhan berikutnya dari patogen dalam jaringannya. Ketahanan dikatakan horizontal bila merata (*uniform*) terhadap banyak ras patogen, sedangkan yang vertikal (*diferential*) hanya efektif terhadap ras patogen tertentu saja. Tanaman yang toleran meskipun terinfeksi oleh patogen, gejala yang timbul hanya ringan. Bahkan yang toleransinya ekstrem tidak menunjukkan gejala sakit meskipun telah terinfeksi, dan tanaman yang demikian disebut pembawa yang tidak bergejala (*symptomless carrier*). Ketahanan yang tinggi dapat ditunjukkan dengan adanya reaksi hipersensitif, yaitu dengan terjadinya kematian sel-sel di dekat tempat infeksi secara cepat sehingga perkembangan patogen terhenti. Reaksi hipersensitif ini terutama efektif terhadap patogen yang obligat. Dalam kondisi yang baik pemasukan (penetrasi) patogen ke dalam tanaman yang rentan diikuti dengan infeksi, yang memantapkan hubungan parasitik antara keduanya. Pada tanaman yang ketahanannya tinggi mungkin penetrasi dapat terjadi, tetapi tidak diikuti oleh infeksi. Infeksi kemudian diikuti dengan terjadinya kolonisasi, yaitu perkembangan dan penyebaran patogen dalam jaringan tanaman. Kolonisasi dapat terbatas, seperti dalam hal bercak atau meliputi daerah yang luas dalam jaringan tertentu yang diserangnya. Bila infeksi bersifat sistemik maka patogennya tersebar luas dalam seluruh tubuh tanaman. Mikroorganisme yang ada pada patogen tumbuhan, yaitu:

- Bakteri

Bakteri patogen tanaman umumnya berbentuk batang, dengan panjang sekitar 3 μm dan lebar 1 μm . Bila satu sel bakteri ditumbuhkan pada medium yang sesuai maka ia akan membelah diri dan membentuk satu koloni. Ukuran, warna, dan bentuk koloni bakteri dapat beragam tergantung antara lain pada spesies dan mediumnya. Sel bakteri mempunyai dinding sel yang tipis dan agak kaku. Bakteri ada yang mempunyai benang-benang yang halus

(flagela) pada ujung tubuhnya (polar) atau pada seluruh permukaan tubuhnya (*peritrichous*).

- Protozoa

Beberapa jenis protozoa dapat menjadi agen penyebaran penyakit pada tanaman. Contohnya adalah *Phytophthora infestans*, protozoa yang menyebabkan penyakit kentang busuk yang terkenal atau *late blight* pada kentang. *Phytophthora infestans* menyerang tanaman kentang, tomat, dan cabai. Protozoa ini menyerang daun dan buah tanaman, mengakibatkan bintik-bintik hitam pada daun dan mengakibatkan buah membusuk. *Phytophthora infestans* menyebar melalui spora yang tersebar di udara atau melalui kontak dengan tanaman yang terinfeksi.

- Cendawan

Kebanyakan penyakit tanaman disebabkan oleh cendawan. Cendawan adalah mikroorganisme yang mempunyai inti sel (*nucleus*), berspora, tidak berklorofil, dan umumnya bereproduksi secara seksual. Tubuhnya yang berbentuk seperti pita dan bercabang-cabang biasanya dibungkus oleh dinding sel yang mengandung selulosa atau khitin atau keduanya. Pada umumnya, semua bagian cendawan berpotensi untuk tumbuh.

- Nematoda

Nematoda yang berbentuk seperti belut mempunyai spesies-spesies yang dapat memarasit tanaman. Panjangnya sekitar 4 mm, sedangkan lebarnya beragam dari 50 sampai 200 μm . Nematoda parasit tanaman dapat dibedakan dengan yang hidup bebas di tanah berdasarkan adanya *stilet* atau alat penusuk dan penghisap yang ada pada rongga mulutnya.

- Virus

Virus adalah suatu *nucleoprotein* yang sangat kecil dan tembus cahaya sehingga sulit dilihat dengan mikroskop cahaya. Virus hanya

berkembang biak di dalam sel hidup dan mempunyai kemampuan untuk menimbulkan penyakit. Virus tanaman dapat menimbulkan gejala mosaik dan kerdil. Satu jenis virus mungkin dapat menyerang beberapa spesies tanaman, dan satu spesies tanaman dapat diserang oleh banyak jenis virus.

Untuk perkembangbiakannya, virus tidak membelah diri ataupun membentuk spora, tetapi dengan cara menginduksi sel inangnya agar membentuk virus-virus baru. Deteksi virus antara lain dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron, penularan dari tanaman sakit ke tanaman sehat dengan cara pengolesan cairan perasan, menggunakan vektor dan cara serologi. Virus tanaman ditularkan dari satu tanaman ke tanaman lain melalui bahan vegetatif, benih, tepung sari, vector (serangga, tungau, nematoda atau tali putri) atau secara mekanik dengan cairan tanaman sakit. Tersedianya inokulum pada tanaman sakit di lapangan dan adanya vektor dapat menyebabkan terjadinya infeksi dini dan penyebaran yang cepat. Vektor virus tanaman yang terpenting adalah serangga dari ordo *Homoptera* yang meliputi *afid* (kutu daun) dan wereng. Akibat terinfeksi virus, tanaman dapat menghasilkan protein baru yang mungkin dapat mengganggu metabolisme normal. Penurunan fotosintesis dapat terjadi karena penurunan jumlah dan efisiensi klorofil serta berkurangnya luasan daun.

C. Mekanisme Penyebaran Patogen

1. Penyebaran Aktif

Penyebaran aktif adalah apabila patogen dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain secara aktif dengan sendirinya, misalnya jamur kayu membentuk hifa yang panjangnya beberapa meter sehingga dapat mencapai inang lainnya.^[1]

Beberapa patogen yang dapat melakukan penyebaran secara aktif, misalnya nematoda, zoospora, dan bakteri motil. Ketiga macam inokulum ini mampu berpindah dalam jarak yang relatif pendek (mungkin hanya beberapa milimeter atau

sentimeter) dengan menggunakan kekuatan sendiri sehingga kurang efektif dari segi perkembangan penyakit.^[1]

Penyebaran secara aktif dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu:

a. Mekanisme Pistol Air

Mekanisme ini umum terdapat pada jamur kelas Ascomycetes. Askusnya akan membengkak menjelang matang dan pecah atau terbuka pada ujungnya yang mengarahkan spora-sporanya ke atas. Tekanan di dalam askus sedemikian tingginya sehingga spora-spora yang ditembaknya dapat mencapai ketinggian 100 meter dengan kecepatan yang cukup tinggi pula.^[2]

b. Mekanisme Pematangan

Sel ujung atas dari sporofora sekonyong-konyong terpotong sampai sporanya dapat dilepaskan ke udara. Beberapa spesies dari jamur *Phycomycetes* memiliki mekanisme seperti ini, demikian juga isospora dari patogen-patogen karat.

c. Melepas Basidiospora

Basidiospora bertempat simetris pada ujung sterigma dan bila spora masak setetes cairan dikeluarkan dari hilumnya dan menyebabkan spora terlepas seketika.

2. Penyebaran Pasif

Penyebaran pasif yang berperan besar dalam menimbulkan penyakit, yaitu dengan perantara angin, air, hewan (terutama serangga), dan manusia.^[1]

Penyebaran pasif dapat dilakukan dengan perantara angin, air, binatang, serangga, alat-alat pertanian dan juga manusia. Yang biasanya diangkut dengan perantara media tersebut adalah spora-spora jamur patogen. Memencarnya spora-spora dengan perantara apapun selalu didahului dengan *take off*, kemudian terbang selama di perjalanan dan

akhirnya mendarat di suatu tempat. Pemencaran spora secara pasif tersebut dapat terjadi dengan mekanisme sebagai berikut.

- Melepaskan spora dengan gaya berat di mana spora-spora yang telah kering terkumpul pada bercak untuk dapat terlepas senantiasa karena gaya beratnya tetapi dapat juga dibantu oleh hembusan angin.
- Momentum mekanis yang berakibat melepas spora-spora yang kering dalam jumlah banyak sekali. Sumber momentum mekanis ini adalah dampak aliran udara dan dampak air hujan. Aliran udara tadi menggoyang-goyangkan tanaman bagian-bagian tanaman yang menyebabkan spora-spora terlepas dari badan buahnya. Demikian juga air hujan dapat memukul bagian tanaman yang menyebabkan spora-spora yang telah matang terlepas dari badan buahnya. Misalnya terjadi pada urediospora pada penyakit karat yang dapat menempel pada pakaian, seperti penyakit karat pada kopi yang disebabkan oleh *Hemileia vastatrix* terbawa dari Afrika ke Brasil dengan perantara jas para peserta konferensi kopi pada tahun 1960 (Toyib Hadiwijaya, 1992).
- Terhembus angin, terjadi pada jamur patogen yang menghasilkan spora spora kering. Letak sporoporaanya agak menonjol di atas permukaan hingga arus angin yang turbulen dapat menghembuskan spora-sporanya, misalnya *konidiospora Helminthosporium maydis*.
- Gerakan higroskopis dari konidiofora menyebabkan terlepasnya spora-spora. Gerakan tersebut dimungkinkan dengan adanya perubahan kelembaban atmosfer di sekitarnya yang sering terjadi pada pagi hari. Udara yang mengandung kabut menabrak spora-spora tinggi dapat terlepas dari konidioforanya, misalnya spora-spora jamur *Botritis spp.*

- Percikan air. Banyak spesies jamur menghasilkan spora dalam keadaan lengket satu sama lain. Bila penyangganya basah terkena air, spora-spora tidak lengket lagi dan menyebar menutupi penyangga tadi merupakan lapisan tipis. Tetesan air hujan yang menimpa lapisan tipis tersebut akan bepercikan kemana-mana dan mengandung banyak spora. Selanjutnya spora-spora tersebut dapat terbawa manusia, insekta atau kendaraan darat, laut, dan udara.

D. Agen Penyebar Patogen

Agen penyebar patogen dapat berupa:

1. Biji yang dipakai untuk benih dapat mengandung patogen dan dapat terbawa ke tempat jauh.
2. Udara, patogen dapat menyebar melalui udara dalam bentuk butiran kecil ataupun yang dihasilkan oleh cairan dari inang yang terkontaminasi. Patogen dapat masuk pada bagian yang rentan terinfeksi.
3. Angin memegang peranan penting dalam menyebarkan spora dari satu tanaman ke tanaman lain atau dari satu daerah ke daerah lain.
4. Air yang mengalir dapat menyebarkan tanah yang mengandung patogen jamur sehingga seluruh kebun atau di kebun yang berdekatan dapat terkontaminasi.
5. Serangga yang merupakan hama bagi tanaman dapat sekaligus menjadi vektor bagi jamur patogen yang kebetulan menyerang tanaman yang sama dan disebarkan ke tempat lain.
6. Manusia dengan tidak sadar dapat menyebarkan bagian jamur yang patogenik dari satu tanaman ke tanaman lain dengan alat-alat pertanian atau benih tanaman yang terinfeksi. Manusia dapat sebagai agen penyebar paling penting karena dapat membawa patogen ke tempat yang sangat luas dan tanpa batas melalui biji, stek, umbi, dan lain-lain. Seperti halnya penyebaran penyakit *Phytophthora infestans*, penyakit hawar daun kentang dan *Plasmopara viticola*, penyakit pada anggur.

7. Bagian tanaman yang sudah terserang penyakit dapat menyebarkan atau menularkan patogen ke tanaman lain yang masih sehat yang berdekatan atau bersinggungan.

E. Teknik Pengendalian

Penyebaran patogen penyakit pada tanaman tidak dapat dihindari, tetapi penyebaran yang terjadi dapat dihambat prosesnya dan meminimalkan penyebaran penyakit yang terjadi. Terdapat tiga mekanisme pengendalian, yaitu:

- Antibiosis merupakan suatu mekanisme yang dapat memengaruhi menghancurkan siklus hidup hama.
- Antixenosis merupakan menghindarkan tanaman dari serangan hama dalam mencari makan, meletakkan telur ataupun tempat tinggal serangga.
- Toleran adalah daya tahan tanaman terhadap serangan hama.

Salah satu teknik pengendalian yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya epidemi pada tanaman adalah dengan menggunakan tanaman yang resisten. Tanaman akan tahan (resisten) terhadap serangan patogen apabila memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh patogen penyakit.

Penyebaran patogen penyakit pada tanaman tidak dapat dihindari, akan tetapi penyebaran yang terjadi dapat dihambat prosesnya dan meminimalkan penyebaran penyakit yang terjadi. Seperti yang diungkapkan oleh Painter (1951) terdapat tiga mekanisme yang ditunjukkan tanaman dalam menghambat serangan hama, yaitu:

1. Antibiosis merupakan suatu mekanisme yang dapat memengaruhi menghancurkan siklus hidup hama.
2. Antixenosis merupakan menghindarkan tanaman dari serangan hama dalam mencari makan, meletakkan telur ataupun tempat tinggal serangga.
3. Toleran adalah daya tahan tanaman terhadap serangan hama. Salah satu teknik pengendalian yang dapat dilakukan untuk mengurangi terjadinya epidemi pada tanaman adalah dengan menggunakan tanaman yang resisten. Tanaman akan tahan (resisten) terhadap

serangan patogen apabila memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh patogen penyakit.

Kerentanan tumbuhan terhadap patogen dapat ditingkatkan dengan melakukan infeksi pendahuluan dengan menggunakan patogen lain atau *strain* yang berbeda dari patogen yang sama. Patogen yang awalnya tidak kompatibel dapat menjadi kompatibel pada tumbuhan yang terlebih dahulu diinfeksi dengan menggunakan patogen tertentu. Dapat juga terjadi tumbuhan yang dalam keadaan normal dan tahan terhadap *strain* tertentu dari satu jenis patogen lalu berubah menjadi rentan terhadap *strain* tersebut, kecuali menginduksi kerentanan terhadap penyakit, patogen dapat saling bekerja dan menginduksi ketahanan inang atau sering disebut dengan imunisasi, proteksi, proteksi silang, dan ketahanan terinduksi. Imunisasi pada tanaman efektif dalam mengatasi penyakit yang disebabkan oleh virus, bakteri, dan jamur. Pengendalian penyakit pada tumbuhan dapat dilakukan dengan memperhatikan segitiga penyakit. Pengendalian penyakit dapat tercapai dengan melakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Eliminasi atau meniadakan patogen. Usaha yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan karantina dan sertifikasi benih.
2. Mencegah inang dari patogen. Bahan kimia pelindung pada permukaan tanaman dapat digunakan untuk mengurangi terjadinya penyebaran penyakit.
3. Modifikasi lingkungan. Contoh pengendalian *Phytophthora collar rot* pada jeruk yang diakibatkan oleh *Phytophthora citrophthora* dapat berhasil melalui perbaikan drainase tanah.

Pengendalian penyakit juga dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu cara fisik dan kimia.

1. Metode fisik

Pengendalian patogen dengan menggunakan metode ini dapat dilakukan dengan perlakuan panas (sterilisasi dan pasturisasi), pendinginan, pengasapan, penangkapan spora (*spore trap*), dan sebagainya. Contoh: pengendalian penyakit bercak daun pada kubis yang disebabkan oleh jamur *Alternaria brassicae* dan *A. brassicicola*

dapat dikendalikan dengan merendam biji ke dalam air panas pada suhu 50C selama 18 menit.

2. Metode kimia

Pengendalian dengan metode kimia dapat dilakukan dengan menggunakan bahan kimia seperti fungisida untuk mengendalikan jamur, bakterisida untuk mengendalikan bakteri, dan nematisida untuk mengendalikan nematoda.

BAB V

Ketahanan Tanaman Terhadap Infeksi Patogen



Pada pertumbuhannya, tanaman seringkali mengalami gangguan dari berbagai patogen penyebab penyakit seperti jamur, bakteri, nematoda, virus, dan protozoa. Tanaman dapat dikatakan sehat atau normal apabila tanaman tersebut dapat melaksanakan fungsi-fungsi fisiologisnya sesuai dengan potensial genetik yang dimilikinya tanpa gangguan apapun, sedangkan tanaman dapat menjadi sakit apabila suatu tanaman diserang atau terinfeksi oleh patogen penyebab penyakit atau dipengaruhi oleh agensia abiotik sehingga patogen tanaman merupakan salah satu faktor pembatas dalam budidaya tanaman, baik tanaman pangan, hortikultura maupun perkebunan. Patogen dapat mempengaruhi penurunan produksi tanaman secara kuantitas maupun kualitas. Secara kuantitas patogen tanaman mempengaruhi penurunan jumlah produk atau hasil panen, sementara secara kualitas patogen dapat berpengaruh terhadap penampilan fisik maupun sifat fisiologis dari tanaman yang dibudidayakan seperti perubahan warna, bentuk, dan rasa.

Suatu penyakit tumbuhan akan muncul apabila terjadinya interaksi antara dua komponen (tumbuhan dan patogen). Untuk mendukung perkembangan penyakit maka harus adanya interaksi adanya tiga komponen, yaitu patogen yang virulen, tanaman yang rentan, dan lingkungan yang mendukung (segitiga penyakit). Patogen menginfeksi tanaman meliputi perubahan-perubahan patogen di dalam tubuh tanaman, rangkaian perubahan tanaman inang dan keberadaan patogen dalam rentang waktu tertentu selama masa pertumbuhan tanaman. Siklus penyakit meliputi inokulasi (penularan), penetrasi (masuk ke bagian tanaman), infeksi (pemanfaatan nutrisi inang), invasi (perluasan serangan ke jaringan lain), penyebaran ke tempat lain, dan pertahanan patogen.

Secara alami tanaman budi daya dapat diserang oleh berbagai macam patogen dan pertahanan tanaman yang ditimbulkan sangat bervariasi untuk menghadapi serangan tersebut. Secara alami tanaman dikatakan tahan terhadap penyakit adalah kondisi normal penolakan tanaman terhadap adanya organisme asing, seperti contohnya pada tanaman yang hidup di daerah yang mengalami kekeringan atau kondisi lingkungan ekstrem lainnya. Tingkat ketahanan tanaman bergantung pada dua faktor utama, yakni kebutuhan substrat dari patogen serta cara tanaman bereaksi terhadap kehadiran patogen (Djaenuddin, 2016).

Keparahan penyakit juga sangat ditentukan oleh kondisi lingkungan tempat tumbuh dan pertahanan tanaman inang secara alami (warisan gen ketahanan secara genetik). Menurut Muhuria (2003), ketahanan tanaman bersifat (1) genik, yaitu sifat tahan yang diatur oleh sifat genetik yang dapat diwariskan; (2) morfologik, yaitu sifat tahan karena sifat morfologi tanaman yang tidak menguntungkan bagi hama/patogen; dan (3) kimiawi, yaitu sifat tahan karena zat kimia yang dihasilkan tanaman. Berdasarkan susunan dan sifat gen, ketahanan genetik dapat dibedakan menjadi: (1) monogenik, yaitu sifat tahan yang diatur oleh satu gen dominan atau resesif; (2) oligogenik, yaitu sifat tahan yang diatur oleh beberapa gen yang saling menguatkan; dan (3) poligenik, yaitu sifat tahan yang diatur oleh banyak gen yang saling menambah dan masing-masing gen memberikan reaksi yang berbeda sehingga timbul ketahanan dengan spektrum luas. Faktor ketahanan genetik ini juga meliputi: (1) morfologi tanaman; (2) biokimia; dan (3) faktor luar seperti suhu, kelembapan, cahaya matahari, dan sebagainya.

Tanaman dapat bertahan dari serangan suatu patogen dengan kombinasi sifat pertahanan diri yang dimilikinya, yaitu sifat-sifat struktural sebagai penghalang fisik dan menghambat patogen yang akan masuk dan berkembang di dalam tumbuhan dan reaksi-reaksi zat biokimia yang terjadi di dalam sel dan jaringan tumbuhan, yang dapat menghasilkan zat beracun bagi patogen sehingga menciptakan kondisi yang menghambat pertumbuhan patogen pada tanaman tersebut. Hal tersebut termasuk ke dalam sistem pertahanan tanaman yang terbagi menjadi dua bagian utama, yakni sebelum terjadinya infeksi patogen dan setelah terjadinya infeksi yang meliputi (1)

ketahanan spesifik (vertikal); (2) ketahanan non spesifik (horizontal); dan (3) ketahanan terinduksi tanaman terhadap penyakit.

A. Ketahanan Spesifik atau Vertikal

Ketahanan vertikal adalah ketahanan yang ditentukan oleh satu atau sedikit gen atau ketahanan terhadap ras patogen tertentu, tetapi tidak pada ras lainnya. Ketahanan ini dikontrol oleh gen tunggal atau gen majemuk suatu kultivar yang bertanggung jawab terhadap ketahanan, seringkali hal ini efektif hanya untuk ras-ras patogen tertentu dan tidak memberikan ketahanan terhadap ras lain. Tipe ketahanan ini disebut ketahanan spesifik atau ketahanan vertikal.

Penggabungan gen spesifik ke dalam inang untuk memberikan ketahanan hanya memberikan perlindungan pada tumbuhan dalam jangka pendek. Tanaman yang mempunyai ketahanan seperti ini mudah patah, dalam waktu relatif pendek, setelah digunakan secara. Patahnya ketahanan ini adalah akibat perkembangan dan seleksi ras-ras patogen yang mampu menyerang kultivar yang sebelumnya bersifat tahan. Genotipe kultivar tidak berubah, masih tetap tahan terhadap *strain* patogen yang ada pada saat pelepasannya. Jadi ketahanan inang bekerja untuk *strain-strain* tertentu ini merupakan ketahanan spesifik.

Identifikasi berbagai ras patogen dilakukan dengan jalan inokulasi kultivar terpilih untuk membedakan ras patogenik berdasarkan reaksi yang timbul. Penggunaan kultivar berbeda untuk mengidentifikasi ras patogen ini, harus dilakukan dalam kondisi terkontrol karena perubahan faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya, dapat mempengaruhi gejala yang terjadi pada inang.

Ketahanan vertikal dapat kehilangan ketahanannya dengan cepat dengan munculnya ras patogen baru. Ini adalah salah satu kelemahannya. Akan tetapi, keuntungan dari resistensi vertikal adalah mudah ditangani oleh pemulia. Jika suatu gen resistensi telah menurun ketahanannya karena suatu ras patogen baru terbentuk, maka pemulia tanaman dapat dengan cepat mengganti atau menambah suatu gen resisten baru yang mana belum ada ras patogen yang mampu menyerangnya. Secara umum ciri-ciri ketahanan vertikal sebagai berikut:

1. Mekanisme ketahanan vertikal biasanya diturunkan sebagai gen tunggal atau gen mejemuk sehingga hal ini relatif mudah untuk dimanipulasi dalam program pemuliaan tanaman.
2. Ketahanan vertikal biasanya disetarakan dengan hipotesis gen dengan gen.
3. Ketahanan vertikal biasanya memberikan derajat ketahanan tinggi tetapi mudah hilang, kalau *strain* patogen yang virulen. Sekali ketahanan vertikal ini hilang, maka selanjutnya akan patah sempurna dan tumbuhan akan peka seluruhnya terhadap *strain* patogen yang mampu menyerang.
4. Ketahanan vertikal bekerja hampir seluruhnya setelah patogen menembus tumbuhan dan seringkali dikatakan sebagai reaksi hipersensitif pada inang
5. Ketahanan vertikal seringkali menyebabkan kelambatan awal suatu epidemi.

Berdasarkan gambaran di atas, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan varietas unggul dengan tipe ketahanan vertikal hanya akan efektif bila: (1) hama yang dikendalikan merupakan satu-satunya hama yang menyebabkan turunnya produksi (tidak ada hama lain); (2) varietas ini tidak ditanam secara terus menerus tetapi harus dirotasikan dengan tanaman lain; (3) tidak diusahakan secara besar-besaran dalam hamparan yang luas; dan (4) ditanam dengan sistem tumpang sari (*multiple cropping*). Kerugian yang dapat terjadi dalam penggunaan varietas dengan ketahanan vertikal adalah bahwa peluang terjadinya biotipe baru sangat besar akibat adanya tekanan seleksi yang kuat oleh sifat ketahanan ini. Jika ini terjadi, maka ketahanan vertikal ini akan mudah patah dan biasanya tanaman menjadi sangat rentan terhadap biotipe baru tersebut.

Hubungan genetik tumbuhan dengan patogennya belum diketahui dengan jelas. Tetapi beberapa peneliti menyimpulkan bahwa untuk setiap lokus genetik ada yang mengatur ketahanan atau kepekaan inang dan ada lokus yang mengatur virulen atau tidaknya suatu patogen. Hubungan ini disebut hipotesis gen dengan gen, yakni menyatakan bahwa setiap gen dalam inang ada yang mampu bermutasi untuk memberikan ketahanan dan ada gen dalam patogen yang mampu bermutasi untuk berhadapan dengan ketahanan

tersebut. Hipotesis ini memberikan pula contoh yang menjelaskan tentang terjadinya pematangan ketahanan kultivar pada kondisi lapang. Hipotesis gen dengan gen ini dapat menjelaskan hubungan inang dengan patogen pada sejumlah patogen biotropis, seperti *rust*, *smut*, *powdery mildew*, *Phytophthora infestans*, dan *Venturia inaequalis*. Bukti-bukti menunjukkan bahwa hipotesis tersebut dapat diperluas untuk sejumlah kombinasi inang-patogen jamur dan mungkin juga untuk kelompok parasit yang lain termasuk serangga.

Resistensi spesifik terhadap penyakit didasarkan pada apa yang disebut pengenalan gen dengan gen, karena memerlukan kesesuaian yang tepat antara suatu MAL alel dalam tumbuhan dengan suatu alel pada patogen. Suatu tumbuhan memiliki banyak gen R (untuk resistensi), dan

setiap patogen memiliki sekumpulan Avr. Resistensi terjadi ketika tumbuhan memiliki suatu alelR dominan tertentu yang berhubungan dengan alel dominan Avr spesifik pada patogen. Gen R kemungkinan mengode reseptor spesifik. Gen Avr menghasilkan senyawa yang berfungsi pada patogen yang juga bertindak sebagai ligan yang berikatan secara spesifik dengan reseptor sel inang tumbuhan. Penyakit timbul jika tidak terdapat pengenalan gen dengan gen karena patogen tersebut tidak memiliki alel Avr dominan yang sesuai dengan alel R. Pada tumbuhan, tumbuhan tidak memiliki alel R dominan yang sesuai dengan alel Avr pada patogen atau baik patogen maupun tumbuhan tidak memiliki alel yang saling mengenal (Campbell, 2003).

Beberapa faktor yang mempengaruhi ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen, antara lain:

1. Varietas Tanaman. Setiap varietas tanaman memiliki ketahanan yang berbeda terhadap patogen tertentu. Beberapa varietas tanaman memiliki ketahanan yang tinggi terhadap infeksi patogen tertentu, sementara varietas lainnya dapat lebih rentan terhadap serangan patogen tersebut.
2. Kondisi Pertumbuhan Tanaman. Tanaman yang sehat dan tumbuh dengan baik cenderung memiliki ketahanan vertikal yang lebih baik terhadap infeksi patogen dibandingkan dengan tanaman yang tidak sehat. Kondisi tanah yang subur dan kaya nutrisi, serta penyiraman

- yang cukup, dan pengendalian hama dan penyakit yang tepat dapat membantumingkatkan ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen.
3. Pengelolaan Hama dan Penyakit. Pengendalian hama dan penyakit yang tepat juga dapat membantu meningkatkan ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen. Penggunaan pestisida yang tepat dan penghapusan bagian tanaman yang terinfeksi atau terkena penyakit dapat membantu mencegah penyebaran patogen dan meminimalkan kerusakan pada struktur tubuh tanaman.
 4. Lingkungan. Lingkungan yang tidak kondusif seperti suhu ekstrem, kelembaban tinggi, atau kurangnya sinar matahari dapat mempengaruhi ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen. Penanaman tanaman di tempat yang sesuai dengan kondisi tumbuhnya dapat membantu meningkatkan ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen.

Dalam praktiknya, untuk meningkatkan ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen, perlu dilakukan pengelolaan yang terintegrasi, seperti memilih varietas tanaman yang tepat, memberikan nutrisi dan kondisi tumbuh yang optimal serta melakukan pengendalian hama dan penyakit yang tepat dan efektif. Selain itu, juga perlu memperhatikan kondisi lingkungan sekitar dan menjaga kebersihan lingkungan yang dapat mempengaruhi ketahanan vertikal tanaman terhadap infeksi patogen.

B. Ketahanan Nonspesifik atau Horizontal

Komponen pengendalian hama/penyakit terpadu antara lain adalah penggunaan varietas tahan, cara bercocok tanam, pemanfaatan agen biologis, pestisida dan pengamatan hama/penyakit secara rutin (*monitoring*). Penggunaan varietas tahan ternyata biayanya relatif murah, tidak menimbulkan pencemaran lingkungan dan mudah diaplikasikan oleh petani dilapang. Dengan demikian ketahanan suatu tanaman, khususnya terhadap serangan OPT sangat memegang peranan penting dalam pengendalian hama secara terpadu.

Tanaman akan mempertahankan diri dengan dua cara, yaitu adanya sifat-sifat struktural pada tanaman yang berfungsi sebagai penghalang fisik

dan akan menghambat patogen untuk masuk dan menyebar di dalam tanaman dan respons biokimia yang berupa reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam sel dan jaringan tanaman sehingga patogen dapat mati atau terhambat pertumbuhannya. Tanaman akan memberikan respons terhadap patogen dengan cara-cara yang berbeda. Respons tersebut ada yang berinteraksi dan ada yang tidak berinteraksi. Pada kasus tertentu terjadi hubungan yang inkompatibel antara tanaman dan patogen, (tanaman adalah resisten) atau hubungan yang kompatibel (tanaman adalah rentan).

Secara alamiah, tanaman memiliki ketahanan terhadap hama maupun penyakit tertentu. Tanaman dapat dikatakan resisten dengan beberapa kondisi sebagai berikut: (a) memiliki sifat-sifat yang memungkinkan tanaman itu menghindar, atau pulih kembali dari serangan hama pada keadaan yang akan mengakibatkan kerusakan pada varietas lain yang tidak tahan; (b) memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh serangan hama; (c) memiliki sekumpulan sifat yang dapat diwariskan, yang dapat mengurangi kemungkinan hama untuk menggunakan tanaman tersebut sebagai inang; dan (d) mampu menghasilkan produk yang lebih banyak dan lebih baik dibandingkan dengan varietas lain pada tingkat populasi hama yang sama.

Ketahanan horizontal atau dengan istilah lain ketahanan seragam (*uniform resistance*), yakni satu tanaman resisten terhadap beberapa ras patogen. Istilah ini umumnya digunakan untuk menyatakan ketahanan yang bekerja sejumlah besar ras patogen, walaupun tidak seratus persen efektif. Ketahanan horizontal sifatnya lebih luas dan tidak akan memacu meningkatnya ras-ras tertentu secara selektif dari suatu patogen, seperti yang terjadi dengan ketahanan vertikal. Dalam keadaan yang demikian maka komposisi populasi patogen akan stabil dan jumlah penyakit yang diakibatkannya secara keseluruhan menjadi berkurang atau menurun. Penentuan dan penggunaan ketahanan horizontal dalam suatu program pemuliaan tanaman dapat mengatasi masalah.

Ketahanan horizontal disebut juga ketahanan kuantitatif. Tanaman yang memiliki ketahanan demikian masih menunjukkan sedikit kepekaan terhadap hama tetapi memiliki kemampuan untuk memperlambat laju perkembangan epidemi. Secara teoretis, ketahanan horizontal efektif untuk

semua biotipe suatu hama. Oleh karena itu, umumnya sulit dipatahkan meskipun muncul biotipe baru dengan daya serang yang lebih tinggi.

Ketahanan horizontal adalah ketahanan kuantitatif, dengan demikian data kuantitatif yang dibutuhkan untuk mengukurnya. Data kuantitatif ini diperoleh melalui prosedur epidemiologi baik terhadap populasi yang relatif besar di lapangan ataupun terhadap populasi terbatas di bawah kondisi yang diawasi. Beberapa sifat ketahanan horizontal, yaitu:

- Diwariskan poligenik (banyak gen).
- Ketahanan rendah.
- Bekerja sebelum dan sesudah patogen masuk.
- Mengurangi pembentukan spora (menurunkan epidemi).

Tanaman yang menunjukkan ketahanan horizontal adalah *slow disease fomer* akibat mekanisme mereduksi jumlah luka (*lesions*) yang dihasilkan per unit inokulum, menambah panjangnya waktu generasi patogen, dan memperpendek umur reproduksi luka. Ketahanan horizontal dapat diukur dengan berbagai cara yang dapat digolongkan ke dalam tiga macam pengukuran, yaitu pengukuran pengaruh-pengaruh penyakit, pengukuran perkembangan epidemi, dan pengukuran komponen-komponen ketahanan. Ciri-ciri lainnya sebagai berikut:

1. Biasanya memberikan tingkat ketahanan lebih rendah daripada ketahanan vertikal, jarang memberikan imunitas atau ketahanan tinggi.
2. Biasanya diturunkan secara poligenik dengan beberapa gen yang ikut serta. Akibat pemuliaan tanaman untuk mendapatkan jenis ketahanan sulit dan biasanya diabadikan oleh
3. para pemulia tanaman.
4. Mekanisme ketahanan horizontal bekerja sebelum dan sesudah patogen menduduki inang. Tidak ada hubungannya dengan reaksi hipersensitif.
5. Karena ketahanan horizontal menyebabkan penurunan produksi spora, pengaruhnya ditunjukkan oleh penurunan tingkat perkembangan epidemi.

C. Ketahanan Terinduksi Tanaman terhadap Penyakit

Ketahanan terinduksi tanaman terhadap penyakit mengacu pada kemampuan tanaman untuk mengaktifkan atau meningkatkan respons pertahanan mereka terhadap serangan patogen penyebab penyakit. Ini adalah respons yang diinduksi oleh tanaman setelah mereka terpapar oleh patogen atau zat tertentu yang dapat meningkatkan kemampuan mereka untuk melawan infeksi dan mengurangi dampak yang disebabkan oleh penyakit.

Ketahanan terhadap penyakit merupakan salah satu sifat yang sangat penting dalam pemuliaan tanaman karena mempengaruhi kualitas dan tingkat produksi tanaman. Salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit adalah melalui induksi ketahanan sistemik. Induksi ketahanan sistemik (*induced resistance*) dapat dijadikan sebagai alternatif cara untuk mendapatkan keragaman genetik khususnya untuk karakter ketahanan terhadap penyakit. Induksi ketahanan sistemik adalah suatu proses stimulasi resistensi tanaman inang tanpa introduksi gen baru. Induksi ketahanan sistemik menyebabkan kondisi fisiologis yang mengatur sistem ketahanan menjadi aktif dan atau menstimulasi mekanisme resistensi alami yang dimiliki oleh inang dengan pengaplikasian bahan penginduksi eksternal.

Ketahanan yang diinduksi telah diakui sebagai metode yang potensial dikembangkan untuk manajemen penyakit tanaman di pertanian modern seperti saat ini. Selama dua dekade terakhir, penelitian tentang resistensi yang diinduksi secara kimia dan biologis telah mengungkapkan respons pertahanan tanaman yang sebelumnya tidak diketahui termasuk pertahanan utama. Secara alami, semua tanaman diperkaya dengan gen pertahanan, namun gen-gen ini bersifat pasif dan membutuhkan stimulasi sinyal yang tepat untuk mengaktifkannya. Strategi yang relatif baru dalam manajemen penyakit tanaman, yaitu mendorong mekanisme pertahanan tanaman itu sendiri dengan perlakuan zat kimia dan agen biokontrol.

Ketika tanaman diserang oleh mikro-organisme atau rusak oleh luka mekanis, perubahan fisiologis utama terinduksi dan enzim pertahanan tanaman umumnya diaktifkan. Mekanisme

penghambatan berkembangnya patogen pada tanaman oleh bakteri mikroorganisme antagonis secara tidak langsung tetapi lebih meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen tersebut dikenal dengan istilah ketahanan terinduksi secara sistemik (*induced systemic resistance*).

Ketahanan sistemik terjadi ketika tanaman mengaktifkan mekanisme pertahanannya akibat induksi beberapa molekul atau senyawa kimia pada tanaman inang tersebut. Jika ketahanan terinduksi akan digunakan dalam manajemen pengelolaan penyakit, maka perlu dirancang pemilihan waktu aplikasi yang tepat, frekuensi aplikasi yang tepat untuk genotipe tanaman yang responsif yang dipadukan dengan metode pengendalian lainnya. Genotipe inang turut memengaruhi ekspresi induksi resistensi terhadap suatu patogen.

Nitrogen dan fosfor adalah penentu penting untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Beberapa bakteri tanah dapat menyediakannya dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Indikasi adanya mekanisme yang mendukung pertumbuhan oleh PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) adalah pada saat bakteri PGPR meningkatkan pertumbuhan tanaman dan ketahanan tanaman melalui kemampuan memproduksi ZPT (Zat pengatur Tumbuh), kemampuan produksi antibiotik, memproduksi siderofor, yang berperan dalam induksi resistensi atau peningkatan ketahanan tanaman terhadap OPT. Sebagai agen biologis untuk ketahanan yang diinduksi, kelompok rizobakteria (PGPR) yang berasosiasi dengan akar tanaman dapat mengurangi keparahan dan insiden penyakit serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman.

Tanaman yang diberi perlakuan PGPR memiliki keadaan metabolisme yang lebih baik, sehingga adanya inokulasi patogen tidak menyebabkan tanaman berada dalam keadaan stres atau tercekam. Sebaliknya tanaman yang tidak diberi perlakuan PGPR menjadi sangat tercekam pada saat diinokulasi patogen sehingga tanaman meresponsnya secara cepat dengan memobilisasi metabolit sekunder seperti SA untuk melawan infeksi patogen. Akumulasi enzim dapat terlibat tidak hanya dalam respons pertahanan tanaman, tetapi juga dapat dikaitkan dengan resistensi yang diinduksi oleh PGPR. Peningkatan pola ekspresi enzim oleh PGPR menjelaskan kemampuan tanaman yang diinduksi resistensi terhadap patogen adalah sistemik.

BAB VI

Pengembangan Varietas Tahan dengan Bioteknologi



Pengembangan varietas tahan hama secara konvensional banyak dikaji dan telah diperoleh hasil yang menggembirakan. Penggunaan varietas tahan terbukti mampu mengurangi tingkat serangan hama sehingga hasil panen dapat meningkat. Sebagian besar varietas tahan hama yang dilepaskan, diperbanyak, dan digunakan di Indonesia saat ini masih merupakan hasil teknologi pemuliaan tanaman secara tradisional yang telah diuraikan sebelumnya.

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi akhir-akhir ini tidak menutup kemungkinan penerapan bioteknologi modern dalam bidang pertanian untuk dapat menghasilkan varietas tahan hama. Aplikasi bioteknologi pertanian memberikan peluang yang sangat baik terhadap perkembangan kualitas maupun kuantitas produk-produk pertanian. Beberapa bioteknologi yang telah dikembangkan diantaranya rekayasa genetika yang mencakup rekombinasi DNA, pemindahan gen, manipulasi dan pemindahan embrio, kultur sel dan jaringan, regenerasi tanaman dan antibodi monoklonal.

Tanaman hasil rekayasa genetika yang selanjutnya disebut tanaman transgenik dapat direkayasa memiliki sifat ketahanan terhadap jenis hama tertentu. Salah satu sifat unggul tanaman transgenik adalah ketahanan terhadap hama setelah tanaman tersebut disisipi dengan gen toksik yang berasal dari *Bacillus thuringiensis* (Bt). Sampai akhir tahun 2003, di Indonesia hanya satu varietas kapas Bt. yang telah diizinkan dan dilepaskan secara terbatas di Sulawesi Selatan. Di dunia Internasional, tanaman transgenik tahan hama yang telah dikembangkan meliputi tanaman kapas, jagung, dan kentang.

Berbagai tanaman tersebut telah disisipi gen yang berasal dari bakteri *B. thuringiensis* sehingga tahan terhadap jenis hama tertentu.

Aplikasi pemindahan gen dengan teknik biologi molekuler dengan sasaran memperoleh sifat-sifat tertentu dapat dilakukan lebih cepat, dengan ketepatan yang tinggi serta perolehan spektrum sifat yang jauh lebih lebar daripada hasil pemuliaan tanaman konvensional. Perkembangan bioteknologi telah memungkinkan ilmuwan untuk mentransformasikan gen Bt yang dikehendaki ke dalam genom berbagai jenis tanaman pertanian. Gen Bt yang menyandi protein delta-endotoksin telah dapat disisipkan ke dalam tanaman untuk pengendalian hama tertentu. Misal tanaman kapas Bt telah disisipi dengan gen *cry1Ac* untuk mengendalikan hama penggerek buah kapas *Helicoverpa virescens*. Tanaman kapas Bt memproduksi toksin secara terus menerus sehingga serangga peka yang hidup dalam jaringan tanaman akan mati kalau memakan jaringan tersebut.

Tanaman transgenik akan terlindung dari serangan hama selama racun protein masih terus diproduksi, karena racun protein yang dihasilkan hanya aktif bagi beberapa jenis serangga tertentu. Suatu jenis tanaman transgenik tahan hama hanya dapat mengendalikan jenis-jenis hama tertentu.

A. Metode Skrining dengan Uji Tipe Ketahanan Tanaman

Varietas yang memiliki sifat tahan terhadap hama tertentu perlu dicari dari plasma nutfah, yang jumlahnya mungkin puluhan ribu. Identifikasi sumber ketahanan dari koleksi plasma nutfah ini dilakukan dengan skrining varietas. Kriteria dalam melakukan skrining tergantung pada tipe ketahanan tanaman (penghindaran, antixenosis (*non-preference*), *tolerance*, atau antibiosis). Tipe ketahanan yang terbaik tergantung pada jenis tanaman, jenis hama, hasil panen serta toleransi konsumen terhadap kerusakan oleh hama. Ketahanan antibiosis misalnya, akan kurang bermanfaat jika adanya zat kimia penimbul antibiotik menurunkan mutu hasil. Skrining dapat dilakukan di lapang, dalam kurungan, dalam rumah kaca atau di laboratorium, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya.

Skrining di lapang hanya dapat diterapkan pada tanaman yang hamanya mudah berkembang di lapangan atau hamanya terdapat di lapangan secara merata. Untuk jenis hama pindah dengan cara terbang, skrining

di lapangan hasilnya tidak meyakinkan. Adakalanya infeksi buatan perlu dilakukan seperti pada skrining ketahanan terhadap penggerek batang jagung. Dalam hal ini perlu dilakukan pembiakan larva di laboratorium. Skrining dalam kurungan sangat teliti, tetapi memerlukan banyak biaya. Cara ini dipergunakan untuk mengevaluasi hasil skrining di lapangan, dan terutama dipakai untuk skrining terhadap hama yang mudah terbang dan berpindah. Skrining ketahanan varietas terhadap hama gudang sering dilakukan di laboratorium dengan menggunakan kotak berisi biji-bijian. Varietas yang diteliti ditulari serangga hama. Agar hama dapat hidup, pada bagian tutup kotak dibuat jendela udara yang ditutup kainkasa.

Secara umum untuk keberhasilan skrining baik di lapangan maupun di rumah kaca atau di laboratorium, harus memperhatikan hal-hal berikut: (1) biotipe hama yang diuji harus sama (murni); (2) populasinya merata; (3) stadia pertumbuhan hama harus seragam (uniform); (4) cara pembiakan hama telah dikuasai sehingga dihasilkan hama yang sehat; (5) varietas pembandingan baik yang tahan maupun yang rentan harus diikutsertakan dan harus berupa varietas murni atau homozigot; (6) cara penentuan reaksi tahan dan tidak tahan harus efisien, efektif, dan jelas terlihat secara visual; (7) lingkungan seragam; (8) teknik penularan hama telah dikuasai (jumlah hama per tanaman dan stadia hama yang digunakan); (9) tanaman yang diskining harus bebas dari gangguan faktor lain seperti gulma, kekeringan, unsur hara, dan lain-lain; serta (10) pengamatan dilakukan pada saat yang tepat. Mungkin perlu pengamatan beberapa kali pada waktu yang berbeda.

Varietas tahan hama selalu didambakan petani dan merupakan salah satu komponen penting dalam pengendalian hama secara terpadu. Oleh karena itu, pengadaannya perlu diupayakan terus. Varietas dengan ketahanan tunggal (*vertical resistance*) mudah patah oleh timbulnya biotipe hama baru, karena itu perlu diupayakan untuk merilis varietas dengan ketahanan horizontal atau ketahanan ganda (*multiple resistance*) atau multilini. Merilis varietas dengan ketahanan horizontal, bukanlah pekerjaan yang mudah, butuh biaya dan tenaga yang banyak serta waktu yang lama, karena itu tidak berlebihan jika disebutkan bahwa pelepasan varietas tahan hama selalu terlambat. Kecepatan menghasilkan varietas tahan hama jauh di bawah kecepatan perkembangan biotipe hama baru. Bahkan selagi pemulia bekerja

untuk menghasilkan varietas tahan terhadap suatu biotipe hama, biotipe baru telah muncul pula.

Kerusakan tanaman oleh hama dapat mencapai lebih dari 50%, tetapi belum pernah ada dalam sejarah bahwa suatu spesies tanaman musnah dari alam, semata-mata disebabkan oleh hama. Hal ini menggambarkan bahwa secara alamiah tanaman mempunyai sistem perlindungan terhadap hama sehingga menjadi tahan. Suatu varietas disebut tahan apabila (1) memiliki sifat-sifat yang memungkinkan tanaman itu menghindar atau pulih kembali dari serangan hama pada keadaan yang akan mengakibatkan kerusakan pada varietas lain yang tidak tahan; (2) memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh serangan hama; (3) memiliki sekumpulan sifat yang dapat diwariskan, yang dapat mengurangi kemungkinan hama untuk menggunakan tanaman tersebut sebagai inang; atau (4) mampu menghasilkan produk yang lebih banyak dan lebih baik dibandingkan dengan varietas lain pada tingkat populasi hama yang sama (Sumarno, 1992). Mekanisme pertahanan varietas terhadap hama, secara umum dapat digolongkan menjadi 3 macam (Panda dan Kush, 1995), yaitu antixenosis (*nonpreference*), toleran, dan antibiosis. Sedangkan menurut Morrill (1995), ketahanan tanaman terhadap hama dapat berupa: (1) *avoidance* (tanaman menyelesaikan siklus hidupnya sebelum munculnya hama); (2) *tolerance* (tanaman mampu recovery dari serangan hama); dan (3) antibiosis (tanaman menghasilkan toksin yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan hama). Ketahanan tanaman inang dapat bersifat (1) genik, sifat tahan diatur oleh sifat genetik yang dapat diwariskan; (2) morfologik, sifat tahan yang disebabkan oleh sifat morfologi tanaman yang tidak menguntungkan hama; dan (3) kimiawi, ketahanan yang disebabkan oleh zat kimia yang dihasilkan oleh tanaman.

1) Ketahanan Vertikal

Tipe ketahanan ini dikendalikan oleh gen tunggal (monogenik) atau oleh beberapa gen (oligogenik) dan hanya efektif terhadap biotipe hama tertentu. Secara umum, sifat ketahanan vertikal mempunyai ciri-ciri berikut: (1) biasanya diwariskan oleh gen tunggal atau hanya sejumlah kecil gen; (2) relatif mudah diidentifikasi dan banyak dipakai dalam program perbaikan ketahanan genetik; (3) biasanya

dikaitkan dengan hipotesis *gen for gen* dari flor; (4) menghasilkan ketahanan genetik tingkat tinggi, tidak jarang mencapai imunitas, tetapi jika timbul biotipe baru maka ketahanan ini akan mudah patah dan biasanya tanaman menjadi sangat rentan terhadap biotipe tersebut; dan (5) biasanya menunda awal terjadinya epidemi, tetapi apabila terjadi epidemi maka kerentanannya tidak akan berbeda dengan kultivar yang rentan (Van der Plank, 1963 cit Sutopo dan Saleh, 1992).

2) Ketahanan Horizontal

Van der Plank (1963) cit Sutopo dan Saleh (1992) memberikan batasan umum ketahanan horizontal sebagai suatu tipe ketahanan nirspesifik yang berlaku terhadap semua jenis biotipe dari suatu hama. Varietas dengan tipe ketahanan demikian dapat diperoleh dengan cara mempersatukan beberapa gen ketahanan minor ke dalam suatu varietas dengan karakter agronomik yang unggul melalui pemuliaan konvensional (Kush, 1977) maupun inkonvensional (Arus dan MorenoGonzalez, 1993, Liu *et al.*, 2000, Witcombe dan Hash, 2000). Ciri-ciri khusus ketahanan horizontal, yaitu: (1) biasanya memiliki tingkat ketahanan yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe ketahanan vertikal, dan jarang didapat imunitas; (2) diwariskan secara poligenik dan dikendalikan oleh beberapa atau banyak gen; dan (3) pengaruhnya terlihat dari penurunan laju perkembangan epidemi.

3) Varietas Multilini

Multilini adalah campuran beberapa galur komponennya, masing-masing dengan fenotipe yang sama tetapi dengan gen yang berbeda untuk ketahanan terhadap hama khusus. Pengembangan varietas multilini menyangkut suatu program pemuliaan yang luas untuk mengidentifikasi gen-gen ketahanan dan menyilang-balik galur-galur isogenik. Pendekatan ini telah dilakukan oleh Borlaug (1958) dengan cara menyatukan beberapa gen major ke dalam suatu isogenik, campuran lini-lini tersebut akan menyusun suatu varietas multilini. Strategi ini telah berhasil diterapkan dalam pemuliaan ketahanan *oats* terhadap *Crown rust* di Iowa, USA (Browning dan Frey, 1969 cit Pathak dan Kush 1979). Varietas multilini akan

memberikan keragaman antara satu dengan yang lain dalam satu pertanaman sehingga akan mengurangi perkembangan hama. Cara ini merupakan suatu usaha untuk mengurangi kepekaan genetik yang biasa dialami oleh varietas dengan ketahanan vertikal.

B. Induksi Tanaman oleh Mikroorganisme

Ketahanan yang diinduksi telah diakui sebagai metode yang potensial dikembangkan untuk manajemen penyakit tanaman di pertanian modern seperti saat ini. Selama dua dekade terakhir, penelitian tentang resistensi yang diinduksi secara kimia dan biologis telah mengungkapkan respons pertahanan tanaman yang sebelumnya tidak diketahui termasuk pertahanan utama (Yi., *et al*, 2013). Secara alami, semua tanaman diperkaya dengan gen pertahanan, tetapi gen-gen ini bersifat pasif dan membutuhkan stimulasi sinyal yang tepat untuk mengaktifkannya. Strategi yang relatif baru dalam manajemen penyakit tanaman, yaitu mendorong mekanisme pertahanan tanaman itu sendiri dengan perlakuan zat kimia dan agen biokontrol (Ojha and Chatterjee, 2012). Ketika tanaman diserang oleh mikro organisme atau rusak oleh luka mekanis, perubahan fisiologis utama terinduksi dan enzim pertahanan tanaman umumnya diaktifkan (Liang., *et al*, 2011).

Mekanisme penghambatan berkembangnya patogen pada tanaman oleh bakteri mikroorganisme antagonis secara tidak langsung tetapi lebih meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen tersebut dikenal dengan istilah ketahanan terinduksi secara sistemik (*induced systemic resistance*) (Rustam., *et al*, 2011). Ketahanan sistemik terjadi ketika tanaman mengaktifkan mekanisme pertahanannya akibat induksi beberapa molekul atau senyawa kimia pada tanaman inang tersebut (Ali and Nadarajah, 2013). Jika ketahanan terinduksi akan digunakan dalam manajemen pengelolaan penyakit maka perlu dirancang pemilihan waktu aplikasi yang tepat, frekuensi aplikasi yang tepat, untuk genotipe tanaman yang responsif, yang dipadukan dengan metode pengendalian lainnya (Gambar 3). Genotipe inang turut memengaruhi ekspresi induksi resistensi terhadap suatu patogen.

Peran Bakteri *Rizosfer* sebagai Penginduksi Ketahanan Tanaman

Nitrogen dan fosfor adalah penentu penting untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Beberapa bakteri tanah dapat menyediakannya dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman (Nader., *et al*, 2019). Indikasi adanya mekanisme yang mendukung pertumbuhan oleh PGPR

(*Plant growth Promoting Rhizobacteria*) adalah pada saat bakteri PGPR meningkatkan pertumbuhan tanaman dan ketahanan tanaman melalui kemampuan memproduksi ZPT (Zat pengatur Tumbuh), kemampuan produksi antibiotik, memproduksi siderofor, yang berperan dalam induksi resistensi atau peningkatan ketahanan tanaman terhadap OPT (Jatnika., *et al*, 2013). Yi., *et al* (2013) melaporkan sebagai agens biologis untuk ketahanan yang diinduksi, kelompok *rizobakteria* (PGPR) yang berasosiasi dengan akar tanaman dapat mengurangi keparahan dan insiden penyakit, dan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Akar jagung mengandung senyawa pertahanan basal yang tinggi seperti flavonoid, yang dapat menjadi target perlakuan untuk program peningkatan ketahanan dan produktivitas tanaman di masa depan (Balmer., *et al*, 2013).

Tanaman yang diberi perlakuan PGPR memiliki keadaan metabolisme yang lebih baik, sehingga adanya inokulasi patogen tidak menyebabkan tanaman berada dalam keadaan stres atau tercekam. Sebaliknya tanaman yang tidak diberi perlakuan PGPR menjadi sangat tercekam pada saat diinokulasi patogen, sehingga tanaman meresponsnya secara cepat dengan memobilisasi metabolit sekunder seperti SA untuk melawan infeksi patogen (Taufik dkk 2010). Akumulasi enzim dapat terlibat tidak hanya dalam respons pertahanan tanaman, tetapi juga dapat dikaitkan dengan resistensi yang diinduksi oleh PGPR. Peningkatan pola ekspresi enzim oleh PGPR menjelaskan kemampuan tanaman yang diinduksi resistensi terhadap patogen adalah sistemik (Lianget., *et al*, 2011).

C. Identifikasi Ketahanan Beberapa Tanaman

Penyakit blas merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman padi di seluruh dunia. Penyakit blas disebabkan oleh cendawan *Pyricularia oryzae* Cav atau *Pyricularia grisea* [sinonim *Magnaporthe oryzae* (Hebert) Barr] (Rossman., *et al*, 1990). Patogen *P. grisea* dapat menginfeksi tanaman

padi pada fase vegetatif dan generatif. Bagian utama yang diinfeksi pada fase vegetatif adalah daun atau disebut dengan blas daun. Gejala penyakit blas daun diawali dengan bercak-bercak seperti ujung jarum yang berwarna coklat. Bercak berkembang menjadi lonjong dan membentuk seperti belah ketupat. Pada bagian tengah bercak berwarna putih abu-abu dengan tepi berwarna coklat. Pada stadia generatif, terutama pada saat pengisian biji, ditemukan gejala penyakit blas pada leher malai. Malai padi yang terinfeksi parah oleh patogen blas menimbulkan gejala busuk kering pada leher malai (Ou, 1985).

Varietas padi lokal pada umumnya dianggap kurang mempunyai nilai ekonomis dibandingkan varietas padi unggul baru. Hal ini disebabkan karena varietas padi lokal mempunyai potensi hasil rendah, umur yang dalam, mudah rebah dan kurang respons terhadap pemupukan. Sitaresmi., *et al* (2013) dan Turaidar., *et al* (2018) menyatakan bahwa beberapa plasma nutfah padi varietas lokal telah teridentifikasi tahan dan toleran terhadap cekaman biotik dan abiotik serta memiliki mutu beras yang baik. Perakitan varietas padi dengan menggunakan dan memanfaatkan keunggulan spesifik yang dimiliki varietas lokal diharapkan dapat meningkatkan keunggulan varietas padi yang dibudidayakan pada spesifik lokasi. Varietas padi lokal Klemas, Gampai, Cenggong, dan Grogol telah digunakan sebagai donor tetua untuk mendapatkan varietas padi tahan blas (Hairmansis., *et al*, 2015). Hasil penelitian menunjukkan adanya keragaman ketahanan yang berbeda-beda pada varietas padi lokal terhadap penyakit blas daun (Nasution & Usyati, 2015). Dua genotipe padi merah lokal, yaitu Mandel dan Yaiti, dilaporkan memiliki penampilan terbaik pada semua karakter ketahanan seperti periode laten, jumlah bercak berspora, jumlah bercak tidak berspora, skor tingkat ketahanan, dan intensitas serangan penyakit blas daun (Prabawa., *et al*, 2015). Ketahanan varietas terhadap penyakit blas tidak stabil dan mudah patah ketahanannya pada kondisi lapang sehingga perlu dilakukan pencarian sumber gen tahan secara kontinu terhadap patogen *P. grisea* khususnya ras-ras dominan yang banyak ditemukan di beberapa daerah seperti ras 033, 073, 133 dan 173. Informasi ketahanan tersebut sangat diperlukan untuk mengetahui gen-gen ketahanan penyakit blas pada varietas padi lokal. Varietas-varietas padi lokal yang memiliki ketahanan terhadap penyakit blas

dapat digunakan oleh para pemulia dalam rangka merakit varietas padi yang tahan terhadap penyakit blas.

Berdasarkan hasil uji BNT, varietas yang digunakan dalam penelitian. Varietas Mekongga, memiliki tingkat toleran yang tinggi pada lahan yang cengkaman Fe nya tinggi di lahan pasang surut dibanding dengan varietas lainnya karena mampu menghasilkan fase vegetatif dan generatif yang baik yaitu berupa akar yang panjang dan jumlah anakan yang banyak. Salah satu metode untuk menanggulangi permasalahan pada lahan-lahan marjinal adalah dengan memanfaatkan tanaman yang toleran terhadap cekaman lingkungan (Asmawati, 2015). Hasil penelitian Helmi (2015), menunjukkan varietas Mekongga masih baik produktivitasnya pada lahan sawah rawa lebak. Kendal utama pengembangan lahan rawa lebak. Panjang akar varietas padi rata-rata dalam penelitian ini berkisar antara 9,5-20,53 cm. Salah satu ciri tanaman yang mengalami keracunan Fe ditunjukkan dengan menurunnya perkembangan akar. Diharapkan dengan tanaman memiliki akar panjang dan banyak mampu mengeluarkan ion OH dan menaikkan pH lapisan akar yang akan menyerap sedikit ion Fe. Varietas yang demikian lebih tahan keracunan, sebaliknya varietas yang mengeluarkan ion OH sedikit cenderung menurunkan pH tanah sehingga menyerap besi lebih banyak (Makarim., *et al*, 1989). Jumlah anakan varietas padi rata-rata dalam penelitian ini berkisar antara 14-44 batang per rumpun. Sifat jumlah anakan yang banyak menjadi salah satu sifat yang diinginkan dalam budidaya padi di lahan pasang surut. Bobot gabah varietas padi rata-rata dalam penelitian ini berkisar antara 1,13-2,73 kg/plot. Bobot gabah per plot didukung dengan bobot masa malai dan jumlah gabah padi per malai. Jumlah gabah merupakan salah satu komponen hasil penting yang mendukung potensi hasil tanaman padi. Varietas yang lain, Ciherang, termasuk ke dalam varietas yang moderat atau sedang dalam pertumbuhannya. Varietas tersebut tidak terlalu menunjukkan parameter yang berbeda nyata antara varietas yang satu dengan lainnya. Varietas ini bisa ditanam di lahan pasang surut dengan cekaman Fe dan Al yang tinggi, tetapi dengan perlakuan khusus misalnya harus dengan adanya drainase yang baik, penambahan amelioran berupa kapur, Fosfor (P) dan mikoriza yang seimbang supaya tanaman dapat berkembang dan menghasilkan hasil padi yang diharapkan adalah

genangan maupun kekeringan yang belum dapat diprediksi, tergantung pada keadaan hidrotopografi, curah hujan serta ketinggian air sungai setempat. Pemberian Fosfor (P) dapat mencegah masuknya Al sehingga mengurangi kerusakan akar. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan P pada jaringan dapat mengurangi degradasi akar akibat peroksidasi lipid pada kedua genotipe sorgum tersebut (Lestari., *et al*, 2017). Pemberian Kapur (Ca) dan mikoriza dapat meningkatkan pH dan mencegah masuknya Al dan mengurangi kerusakan akar di tanah masam (Lestari., *et al*, 2018). Peningkatan produktivitas padi lahan pasang surut merupakan salah satu cara pemecahan permasalahan ketahanan pangan nasional akibat konversi lahan sawah menjadi areal nonpertanian. Kondisi air tergenang di lahan pasang surut menyebabkan keracunan Fe lebih tinggi dibandingkan kondisi air jenuh. Pada penelitian ini diduga varietas padi yang memiliki tingkat toleran terhadap cekaman Fe di lahan pasang surut memiliki tingkat ketahanan terhadapkeracunan Fe yang tinggi dibandingkan genotipe peka. Hasil penelitian Harahap., *et al* (2015) menunjukkan tingkat ketahanan suatu genotipe tanaman terhadap keracunan Fe berbeda secara fisiologi dan morfologi.

BAB VII

Pengendalian dengan Pemuliaan, Ketahanan Varietas, Teknik Pengembangan Ketahanan, Sifat Ketahanan Tanaman



Pengendalian organisme pengganggu melalui tanaman atau varietas merupakan salah satu pendekatan dalam mengatur populasi hama, penyakit, dan gulma di mana tanaman atau varietas tertentu digunakan untuk mengurangi atau mengendalikan organisme pengganggu tersebut. Pendekatan ini sering disebut sebagai pengendalian hayati atau pengendalian alami.

Konsep dasar dari pengendalian organisme pengganggu melalui tanaman atau varietas adalah memanfaatkan sifat alamiah atau adaptasi genetik dari tanaman atau varietas khusus untuk menghambat atau mengurangi populasi organisme pengganggu. Sebagai contoh, beberapa tanaman atau varietas dapat menghasilkan senyawa kimia yang memiliki efek racun terhadap hama atau patogen atau memiliki ketahanan terhadap serangan organisme pengganggu tertentu.

Salah satu contoh implementasi pengendalian organisme pengganggu melalui tanaman atau varietas adalah penggunaan tanaman kacang tanah dalam rotasi tanaman untuk mengendalikan nematoda parasitik. Tanaman kacang tanah menghasilkan senyawa kimia yang mampu membunuh nematoda dan juga meningkatkan populasi mikroba tanah yang menguntungkan, sehingga mengurangi populasi nematoda dan kerusakan pada tanaman.

Pendekatan ini juga dapat digunakan dalam pengendalian gulma. Beberapa varietas tanaman memiliki sifat alelopati yang dapat menghambat pertumbuhan gulma, dengan demikian mengurangi persaingan antara tanaman dan gulma.

Meskipun pengendalian organisme pengganggu melalui tanaman atau varietas dapat efektif dalam mengurangi populasi organisme pengganggu, metode ini memiliki beberapa batasan. Beberapa organisme pengganggu dapat berkembang biak dengan cepat dan menjadi resisten terhadap sifat alamiah atau adaptasi genetik dari tanaman atau varietas tertentu. Oleh karena itu, pendekatan ini sebaiknya digunakan sebagai bagian dari strategi pengendalian yang lebih luas, yang mencakup metode pengendalian lainnya seperti penggunaan agen hayati atau penggunaan pestisida yang terukur.

Mekanisme ketahanan tanaman merujuk pada kemampuan tanaman dalam menghadapi serangan organisme pengganggu seperti hama dan penyakit. Mekanisme ini terbentuk melalui interaksi yang rumit antara tanaman dan organisme pengganggu, yang melibatkan berbagai mekanisme pertahanan fisik, kimiawi, dan biologis yang saling terkait dan terintegrasi.

Tanaman mampu menghasilkan senyawa kimia yang berperan sebagai pertahanan terhadap organisme pengganggu, seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan senyawa fenolik. Beberapa senyawa kimia tersebut dapat memiliki efek toksisitas terhadap organisme pengganggu, yang menghambat pertumbuhan mereka atau mempengaruhi perkembangbiakan mereka. Selain itu, senyawa kimia ini juga dapat merangsang aktivitas enzim pertahanan dalam tanaman. Selain mekanisme kimia, tanaman juga memiliki mekanisme pertahanan fisik, seperti dinding sel yang kuat, sel-sel yang mengandung lignin, serta adanya rambut dan bulu halus yang dapat menghalangi serangan organisme pengganggu. Tanaman juga dapat membentuk hambatan fisik, seperti lapisan jalan masuk yang dapat menghambat atau merusak organisme pengganggu.

Tidak hanya mekanisme kimia dan fisik, tanaman juga memiliki mekanisme pertahanan biologis, yang melibatkan kerja sama dengan mikroorganisme tanah yang bermanfaat, seperti bakteri dan jamur. Mikroorganisme ini membantu tanaman dalam mengurangi serangan organisme pengganggu.

A. Pengendalian Menggunakan Varietas Tahan

Pengendalian hama terpadu (PHT) berkembang sebagai akibat munculnya berbagai dampak negatif akibat penggunaan insektisida kimia

yang sangat intensif dalam pengendalian serangga hama, khususnya di negara-negara yang telah berkembang. Menurut Metcalf (1980), tahapan sistem pengendalian hama dikelompokkan menjadi tiga periode, yaitu Era Optimisme (1940- 1960), Era Keraguan (1960-1976), dan Era PHT (1976). Pada periode pertama seluruh sistem pengendalian hama hanya bertumpu pada penggunaan insektisida. Selain itu, perkembangan berbagai industri insektisida kimia di negara-negara yang telah maju sangat mendukung sistem pengendalian.

Pada periode selanjutnya, peranan insektisida mulai diragukan karena banyak fakta yang menunjukkan bahwa penggunaan insektisida yang sangat intensif justru memacu perkembangan populasi hama sehingga intensitas serangan hama makin meningkat, serta berdampak buruk terhadap lingkungan antara lain resistensi serangga terhadap insektisida, resurgensi, keracunan, musuh alami dan serangga bukan hama musnah dan meningkatkan biaya produksi.

Timbulnya kesadaran akan berbagai dampak tersebut mendorong para ahli hama untuk mencari strategi pengendalian yang efisien, aman bagi lingkungan, dan secara ekonomis menguntungkan. Konsep pengendalian hama terpadu (PHT) berkembang dari konsep *Integrated Pest Control* yang telah dilontarkan oleh Stern., *et al* (1959). Konsep PHT mendapat perhatian luas tidak terbatas di negara-negara yang telah berkembang, tetapi juga di negara-negara yang sedang berkembang pada sekitar tahun 1976.

Pada saat ini, varietas tahan hama mendapat perhatian yang sangat besar dalam sistem pengendalian hama. Dalam buku: *Insect Resistance in Crops Plant* (Pamter, 1951) dapat diketahui bahwa tanaman tahan hama telah lama dimanfaatkan dalam pengendalian hama seperti yang telah diulas secara mendalam oleh Maxwell & Jennings (1980), Singh (1986), dan Smith (1989).

Sistem pertahanan tumbuhan terhadap hama merupakan hasil ko-evolusi antara tumbuhan dengan serangga yang telah terjadi sebelum praktik budidaya modern (Ponti, 1977). Interaksi antara serangga dengan tumbuhan inangnya telah terjadi jauh sebelum tumbuhan dibudidayakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Proses tersebut berkembang pada setiap tahapan pembudidayaan tanaman (Kogan, 1982) dan pada masa kini

telah dimanfaatkan untuk program pemuliaan tahan hama pada berbagai jenis tanaman.

Interaksi antara serangga hama dengan inangnya terjadi karena tanggapan serangga terhadap rangsangan (stimuli) yang berasal dari tumbuhan inang, baik yang berupa kimiawi maupun fisik. Senyawa yang mempengaruhi proses interaksi tersebut dikenal dengan semiokhemi (*semiochemicals*). Rangsangan dari tumbuhan inang akan ditangkap oleh alat penerima rangsangan (*preceptor*) (Dethier, 1982; Fraenkel, 1959; Schoonhoven, 1968).

Berdasarkan manfaat (*benefit*) bagi organisme penerima rangsangan terdapat dua kelompok semiokhemi, yaitu: 1) feromon, adalah semiokhemi yang mempengaruhi interaksi antara individu dari jenis yang sama, dan 2) alelokhemi, adalah semiokhemi yang berperan dalam interaksi antar individu dari jenis yang berbeda (Nordlund, 1981). Kedua kelompok semiokhemi tersebut disebut sebagai infokhemi (*infochemicals*) (Dicke, 1988) (Gambar 1). Adaptasi serangga dengan inangnya juga ditentukan oleh senyawa sekunder,

Pengendalian tanaman dan penggunaan varietas tahan merupakan dua pendekatan yang berbeda dalam mengatasi masalah hama, penyakit, dan kondisi lingkungan yang merugikan pertumbuhan tanaman. Pengendalian tanaman biasanya melibatkan penggunaan pestisida, herbisida atau pupuk untuk mengendalikan hama, penyakit, dan gulma yang menyerang tanaman. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan populasi organisme yang merugikan tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan lebih baik. Namun, penggunaan pestisida dan bahan kimia lainnya dalam pengendalian tanaman dapat memiliki dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. Selain itu, organisme target dapat menjadi resisten terhadap bahan kimia tersebut, sehingga pengendalian tanaman menjadi kurang efektif dalam jangka panjang. Di sisi lain, penggunaan varietas tahan merupakan pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam mengatasi masalah hama dan penyakit tanaman. Varietas tahan adalah varietas tanaman yang memiliki ketahanan alami terhadap hama, penyakit, dan kondisi lingkungan tertentu.

Penggunaan varietas tahan dapat membantu mengurangi atau bahkan menghilangkan kebutuhan untuk menggunakan pestisida atau bahan kimia lainnya dalam pengendalian tanaman. Selain itu, varietas tahan dapat memberikan hasil panen yang lebih stabil dan konsisten, karena tanaman lebih mampu bertahan dan tumbuh dengan baik meskipun terkena stres lingkungan atau serangan organisme merugikan. Dalam memilih pendekatan mana yang lebih tepat untuk mengatasi masalah tanaman, perlu dipertimbangkan faktor seperti jenis tanaman yang ditanam, jenis hama dan penyakit yang menyerang, serta kondisi lingkungan dan budaya pertanian yang digunakan. Pilihan terbaik adalah menggunakan pendekatan yang terbaik untuk kasus spesifik tersebut.

Pengendalian tanaman atau varietas tahan adalah upaya untuk mengurangi atau mencegah kerusakan tanaman oleh hama, penyakit atau kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Berikut adalah beberapa contoh pengendalian tanaman atau varietas tahan:

1. Pemilihan varietas yang tahan: beberapa jenis tanaman memiliki varietas yang lebih tahan terhadap serangan hama atau penyakit tertentu. Oleh karena itu, pemilihan varietas yang tahan dapat membantu mengurangi kerusakan tanaman dan meningkatkan hasil panen.
2. Penggunaan pestisida alami: beberapa jenis tanaman dapat digunakan sebagai pestisida alami untuk mengendalikan serangan hama dan penyakit pada tanaman lainnya. Contohnya, daun pepaya dapat digunakan sebagai insektisida alami untuk mengendalikan hama kutu pada tanaman kubis.
3. Penggunaan teknologi pemantauan: teknologi pemantauan seperti drone dan sensor tanah dapat digunakan untuk memantau kondisi tanaman dan lingkungan sekitarnya. Hal ini dapat membantu petani.

B. Mekanisme Ketahanan Tanaman

Mekanisme ketahanan tanaman atau resistensi tanaman merupakan pengertian yang bersifat relatif. Untuk melihat ketahanan suatu jenis tanaman sifat tanaman, yang tahan harus dibandingkan dengan sifat tanaman yang tidak tahan atau yang peka. Tanaman yang tahan adalah

tanaman yang menderita kerusakan yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan tanaman lain dalam keadaan tingkat populasi hama yang sama dan keadaan lingkungan yang sama. Pada tanaman yang tahan, kehidupan dan perkembangbiakan serangga hama menjadi lebih terhambat bila dibandingkan dengan perkembangbiakan sejumlah populasi hama tersebut apabila berada pada tanaman yang tidak atau kurang tahan.

Sifat ketahanan yang dimiliki oleh tanaman dapat merupakan sifat asli (terbawa keturunan faktor genetik) tetapi dapat juga karena keadaan lingkungan yang mendorong tanaman menjadi relatif tahan terhadap serangan hama. Beberapa ahli membedakan ketahanan tanaman dalam dua kelompok yaitu ketahanan ekologi dan ketahanan genetik (Kogan, 1982). Ahli lain menganggap ketahanan ekologi bukan merupakan ketahanan sebenarnya dan disebut ketahanan palsu atau *pseudo resistance* sedangkan yang disebut sifat ketahanan tanaman adalah ketahanan genetik. Hal ini disebabkan sifat ketahanan ekologi tidak tetap dan mudah berubah tergantung pada keadaan lingkungannya, sedangkan sifat ketahanan genetik relatif stabil dan sedikit dipengaruhi oleh perubahan lingkungan.

Mekanisme ketahanan tanaman melibatkan sejumlah respons fisik, kimia, dan biologi yang memungkinkan tanaman untuk bertahan dari serangan patogen dan faktor stres lingkungan. Berikut adalah penjelasan mengenai mekanisme ketahanan tanaman secara detail:

- Respons fisik: Tanaman dapat mempertahankan dirinya dengan menggunakan beberapa respons fisik, seperti epidermis yang keras, daun yang tebal dan tahan lama, dan rambut halus yang dapat menghalangi serangga pengganggu. Selain itu, tanaman juga dapat membentuk jaringan penguat seperti lapisan kalus atau kulit kayu yang dapat melindungi jaringan yang lebih lembut di dalam tanaman.
- Respons kimia: Tanaman memiliki kemampuan untuk memproduksi senyawa kimia tertentu yang dapat membantu melindungi tanaman dari serangan patogen. Beberapa senyawa kimia yang dihasilkan oleh tanaman termasuk senyawa fenolik, terpenoid, dan alkaloid yang dapat melawan serangga dan jamur.
- Respons biologi: Tanaman dapat membentuk hubungan simbiotik dengan mikroorganisme tertentu seperti bakteri atau fungi yang dapat

membantu meningkatkan ketahanan tanaman. Bakteri atau fungi ini membentuk hubungan mutualisme dengan tanaman, di mana tanaman memberikan nutrisi kepada mikroorganisme dan mikroorganisme tersebut membantu tanaman mengambil nutrisi dari tanah atau melawan serangan pengganggu.

Macam-macam Sifat Ketahanan Tanaman

Sifat ketahanan tanaman ada 2 macam, yaitu:

1. Ketahanan vertikal, yaitu tipe ketahanan ini dikendalikan oleh gen tunggal (monogenik) atau oleh beberapa gen dan hanya efektif terhadap biotipe hama tertentu. Secara umum sifat ketahanan vertikal mempunyai ciri-ciri yaitu biasanya diwariskan oleh gen tunggal atau hanya sejumlah kecil gen relatif mudah diidentifikasi dan banyak dipakai dalam program perbaikan ketahanan genetik, menghasilkan ketahanan genetik tingkat tinggi, tidak jarang mencapai imunitas, tetapi jika timbul biotipe baru maka ketahanan ini akan mudah patah dan biasanya tanaman menjadi sangat rentan terhadap biotipe tersebut dan biasanya menunda awal terjadinya epidemi, tetapi apabila terjadi epidemi maka kerentanannya tidak akan berbeda dengan kultivar yang rentan (Sumarno, 1992).
2. Ketahanan horizontal sebagai suatu tipe ketahanan nir-spesifik yang berlaku terhadap semua jenis biotipe dari suatu hama. Varietas dengan tipe ketahanan demikian dapat diperoleh dengan cara mempersatukan beberapa ketahanan minor ke dalam suatu varietas dengan karakter agronomik yang unggul melalui pemuliaan. Ciri-ciri khusus dari sifat ketahanan horizontal adalah biasanya memiliki tingkat ketahanan yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe ketahanan vertikal, dan jarang didapat imunitas diwariskan secara poligenik dan dikendalikan oleh beberapa atau banyak gen, pengaruhnya terlihat dari penurunan laju perkembangan epidemi. Ketahanan horizontal disebut juga ketahanan kuantitatif. Tanaman yang memiliki ketahanan demikian masih menunjukkan sedikit kepekaan terhadap hama tetapi memiliki kemampuan untuk memperlambat laju perkembangan epidemi (Sumarno, 1992).

C. Ketahanan Genetik

Sampai saat ini klasifikasi resistensi genetik menurut Painter yang banyak diikuti oleh para pakar. Menurut Painter (1951), terdapat 3 mekanisme resistensi tanaman terhadap serangga hama, yaitu ketidaksukaan, antibiosis, dan toleran.

1) Antixenosis (*Preference*) *Test*

Uji preferensi dilakukan untuk mengetahui tingkat preferensi suatu hama terhadap varietas yang diuji, sehingga dapat ditentukan apakah suatu varietas menjadi inang utama atau sebagai inang alternatif. Makin tinggi tingkat preferensi suatu hama berarti makin rentan suatu varietas, sehingga dapat ditentukan apakah suatu varietas dapat dijadikan sebagai sumber gen ketahanan atau tidak. Variabel yang diamati dalam uji preferensi adalah: intensitas serangan hama, populasi larva, dan berat larva atau preferensi nimfa preferensi stadia dewasa jantan dan betina, preferensi meletakkan telur, dan persentase telur menetas (Soewito, 1993).

2) Antibiosis *Test*

Varietas tanaman dengan tipe ketahanan antibiosis mempunyai kemampuan menghasilkan zat kimia tertentu yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan hama atau patogen. Contoh zat kimia seperti itu adalah sterol yang dapat menghambat *Heliothis zea* dan *Micropletis demolitorasam salisik* yang dihasilkan tembakau sebagai respons pertahanan terhadap *tobacco mosaic virusthionin* yang merupakan protein anti bakteri sehingga meningkatkan resistensi tanaman terhadap serangan bakteri kandungan asparagin rendah dari padi Mudgo sehingga tidak diserang oleh wereng cokelat, senyawa dimboa yang diproduksi oleh jagung yang tahan terhadap serangan penggerek batang *Ostrinia nubilalis*, *maysin* yang menyebabkan jagung resisten terhadap hama *Helicoverpa zea* dan *tannin* pada biji sorgum sehingga resisten terhadap *Sorghum midge*. Uji ketahanan dapat pula dilakukan dengan menilai kemampuan hama untuk menghasilkan senyawa tertentu, misalnya embun madu (*honeydew*) yang dihasilkan wereng cokelat. Jika dalam pengujian ditemukan banyak embun madu pada tanaman yang diuji, berarti *test* tertentu

menghambat pertumbuhan yang *Heliothis Micropletis demolitorasam salisik* merupakan bakteri sehingga meningkatkan resistensi.

3) Toleran

Mekanisme resistensi toleran terjadi karena adanya kemampuan tanaman tertentu untuk sembuh dari luka yang diderita karena serangan hama atau mampu tumbuh lebih cepat sehingga serangan hama kurang mempengaruhi hasil dibandingkan dengan tanaman lain yang lebih peka.

Manfaat Ketahanan Genetik

1. Menurunkan kerentanan terhadap serangan hama dan penyakit tanaman. Ketahanan genetik dapat membantu tanaman menjadi lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit, sehingga dapat mengurangi penggunaan pestisida dan bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia.
2. Meningkatkan produktivitas tanaman. Tanaman yang lebih tahan terhadap stres lingkungan seperti kekeringan atau kondisi tanah yang buruk, dapat menghasilkan panen yang lebih besar dan lebih baik. Dengan demikian, ketahanan genetik dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan membantu meningkatkan keamanan pangan.
3. Mengurangi biaya produksi. Tanaman yang tahan terhadap serangan hama dan penyakit dapat mengurangi biaya produksi karena penggunaan pestisida dan bahan kimia yang berbahaya dapat dikurangi.
4. Mengurangi risiko kerugian. Tanaman yang lebih tahan terhadap stres lingkungan dan serangan hama dan penyakit, dapat mengurangi risikokerugian pada petani dan produsen.
5. Meningkatkan keberlanjutan produksi. Ketahanan genetik dapat membantu meningkatkan keberlanjutan produksi dengan mengurangi penggunaan bahan kimia dan pestisida yang berbahaya, serta meningkatkan keanekaragaman tanaman dan kesesuaian terhadap kondisi lingkungan.

D. Ketahanan Ekologi

Ketahanan Ekologi atau dengan istilah lain ketahanan yang kelihatan (*apparent resistance*) atau ketahanan palsu (*pseudo resistance*) merupakan sifat ketahanan tanaman yang tidak dikendalikan oleh faktor genetik tetapi sepenuhnya disebabkan oleh faktor lingkungan yang memungkinkan ketampakan sifat ketahanan tanaman terhadap hama tertentu. Oleh karena sifatnya yang tidak tetap, ahli pemulia tanaman tidak mengakui sifat ini sebagai sifat ketahanan tanaman yang sesungguhnya. Sifat ketahanan ini biasanya merupakan sifat sementara dan dapat terjadi pada tanaman yang sebenarnya peka terhadap serangan hama tertentu.

Manfaat Ketahanan Ekologi

1. Meningkatkan produktivitas tanah. Keseimbangan ekosistem dapat membantu meningkatkan produktivitas tanah, seperti dengan mempertahankan ketersediaan nutrisi dan menjaga keseimbangan mikroorganisme di dalam tanah.
2. Meningkatkan kualitas udara. Keseimbangan ekosistem dapat membantu menjaga kualitas udara, seperti dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dan mempertahankan ketersediaan oksigen di dalam lingkungan.
3. Meningkatkan kualitas air. Keseimbangan ekosistem dapat membantu menjaga kualitas air, seperti dengan mempertahankan ketersediaan air bersih dan mengurangi pencemaran air oleh limbah atau bahan kimia.
4. Menjaga keanekaragaman hayati. Keseimbangan ekosistem dapat membantu menjaga keanekaragaman hayati, seperti dengan mempertahankan habitat alami bagi spesies tanaman dan hewan.
5. Meningkatkan keberlanjutan lingkungan. Ketahanan ekologi dapat membantu meningkatkan keberlanjutan lingkungan dengan menjaga keseimbangan antara produksi tanaman dan perlindungan lingkungan.

► Langkah Pengembangan Varietas Tahan

Pengembangan varietas tahan hama secara konvensional dilakukan melalui penerapan teknologi pemuliaan tanaman tradisional dengan melakukan persilangan tanaman. Beberapa kegiatan utama

dalam melakukan perolehan dan pengembangan guna memperoleh varietas tahan hama yang baru adalah sebagai berikut:

- a) Identifikasi sumber ketahanan.
- b) Penetapan mekanisme ketahanan.
- c) Penyilangan sifat ketahanan dengan sifat agronomi lainnya sehingga dapat diperoleh varietas yang lebih unggul.
- d) Analisis genetik terhadap sifat ketahanan.
- e) Identifikasi dasar-dasar kimia dan fisika sifat ketahanan.
- f) Pengujian lapangan multi lokasi. Pelepasan varietas tahan hama yang baru.

► **Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Varietas Tahan**

Kelebihan Penggunaan Varietas Tahan

- Dari segi ekologis mempunyai kekhususan.
- Bersifat kumulatif, mudah diadopsi oleh petani, aman dan ekonomis.
- Dapat menghambat perkembangan serangga yang bertindak sebagai vektorpenyakit.
- Adanya sifat keserasian dengan cara pengendalian yang lain (Tim Dosen, 2011).

Kekurangan Penggunaan Varietas Tahan

- Sulit untuk mendapatkan tanaman tahan.
- Keterbatasan dari sumber genetik.
- Tidak berlakunya sifat ketahanan di daerah-daerah dengan kondisigeografik yang berbeda.
- Munculnya biotipe baru akan membatasi waktu dan ruang dan kegunaanbatas-batas ketahanan.
- *Trait resistance*/ketahanan yang berlawanan (Tim Dosen, 2011).

Ketahanan tanaman merupakan kemampuan tanaman untuk bertahan dan melawan serangan organisme penyebab penyakit, serangga pengganggu serta kondisi lingkungan yang

tidak menguntungkan. Mekanisme ketahanan tanaman melibatkan beberapa faktor, seperti:

- **Kehadiran genetik:** Kualitas dan sifat ketahanan tanaman diwariskan dari generasi ke generasi melalui genetika. Sejumlah gen pada tanaman berfungsi sebagai pengontrol ketahanan terhadap patogen dan faktor lingkungan tertentu.
- **Ketersediaan nutrisi:** Ketersediaan nutrisi yang mencukupi dapat memperkuat sistem kekebalan tanaman sehingga tanaman mampu mempertahankan diri terhadap patogen dan serangan lainnya.
- **Sistem pertahanan tanaman:** Tanaman memiliki sistem pertahanan tubuh yang kompleks untuk melindungi diri dari serangan penyakit. Sel-sel tanaman yang terinfeksi oleh patogen dapat memicu respons pertahanan seperti produksi enzim, senyawa antimikroba, serta sinyal hormon untuk merangsang produksi zat pertahanan lainnya.
- **Keterlibatan mikroba:** Kehadiran mikroba yang bermanfaat pada lingkungan tanaman dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman. Bakteri dan fungi bermanfaat dapat menghasilkan senyawa-senyawa yang membantu melawan patogen.
- **Faktor lingkungan:** Faktor lingkungan seperti kelembapan, suhu, cahaya, dan cuaca yang stabil dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman. Namun, faktor lingkungan yang tidak stabil atau ekstrem dapat menurunkan ketahanan tanaman.
- **Pemilihan varietas:** Pemilihan varietas yang tahan terhadap serangan patogen tertentu dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman. Varietas tanaman yang tahan terhadap

Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen

penyakit dapat ditemukan melalui seleksi genetik atau melalui teknik rekayasa genetika.

- Perlakuan pestisida: Pestisida yang digunakan dengan tepat dapat membantu mempertahankan ketahanan tanaman dengan mengurangi jumlah patogen dan serangan pengganggu.

Dalam keseluruhan, ketahanan tanaman merupakan kombinasi dari faktor-faktor tersebut dan perlu dikelola dengan hati-hati untuk mencapai hasil yang optimal.

Daftar Pustaka

- Agrios, J.N. (1996). *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Terjemahan Munzir Busnia dari Plant Pathology. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Akin, H.M. (2006). *Virologi Tumbuhan*. Kanisius Yogyakarta.
- Damiri, Nurhayati. (2011). *Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*.
- Djaenuddin, Nurasih. (2020). *Induksi Ketahanan Tanaman oleh Bakteri Rizosfer dan Asam Salisilat terhadap Penyakit Bulai pada Jagung*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Eko Poerwanto, Mofit. (2017). Cara Tumbuhan Mempertahankan Diri dari Serangan Patogen.
- Faizah, R., et al. (2012). Ketahanan Biokimia Tanaman Cabai terhadap Begomovirus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*: 8(5), 138-138.
- Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. (2021). *Pembangunan Pertanian*. Samarinda: CV BUDI UTAMA.
- Ginting, Cipta. (2013). *Ilmu Penyakit Tumbuhan: Konsep dan Aplikasi*. Lampung: Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Hakim, IL. (2020). *Bakteri Patogen Tumbuhan*. Syiah Kuala University Press.
- Hartono, Rudi. (2011). Aplikasi Bioteknologi untuk Pengembangan Tanaman Resisten terhadap Hama dan Penyakit. Bioteknologi Pengembangan Tanaman Resisten terhadap Hama dan Penyakit.
- Hoerussalam., Purwantoro, Aziz., Khaeruni, Andi. (2013). Induksi Ketahanan Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) terhadap Penyakit Bulai Melalui Seed Treatment serta Pewarisannya pada Generasi S1. *Ilmu Pertanian*, 16(2): 42-59.
- Jones, JDG., Dangl, J.L. (2006). The Plant Immune System. *Nature*, 444(7117), 323-329.
- Kogan M. (1982). Plant Resistance in Pest Management. In Introduction to Insect Pest Management (Edited by Metcalf R. L. and Luckmann W. H.), 2nd edn, pp. 93–134. Wiley-Interscience, New York.

- Leach, J.E., Leung, H., Tisserat, NA. (2014). Plant Disease and Resistance. *USA Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Elsevier Volume 4*. P1-23.
- Leonberger, K., *et al.* (2016). Plant Disease Kentucky Master Gardener Manual Chapter 6. *Agriculture and Nature Resources Publications*. 182.
- Mahadiptha, P., Sudana, I.M., Raka, I.G.N. (2017). Pengaruh Rhizobakteria Pelarut Fosfat terhadap Pertumbuhan dan Ketahanan Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) terhadap Patogen Virus Mosaic". *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 6(2), 153-164.
- Maharijaya, Awang. (2014). Identifikasi Ketahanan beberapa Tanaman Solanacea terhadap Hama dan Penyakit. Prosiding Seminar Nasional PERHORTI; Malang 5–7 November 2014. ISBN 978-979-508-017-6.
- Natawigena, H. (1994). *Dasar-dasar Perlindungan Tanaman*. Bandung: Trigenda Karya.
- Oka Ida Nyoman. (1992). *Epidemiologi Penyakit Tanaman dan Pengendaliannya*.
- Painter, RH. (1951). *Insect Resistance in Crop Plants*. Macmillan, New York.
- Paradisa, Yashanti Berlinda, Indrayani, Dri., Mulyaningsih, Enung S. (2018). Pengujian Ketahanan Sembilan Kultivar Padi Lokal terhadap Tiga Ras Utama Penyakit Blas. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 4(2): 107 – 100.
- Pieterse, C.M.J., *et al.* (2014). Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347-375.
- Poerwanto, Mofit, E. *Cara Menyerang Pathogen*.
- Purnomo, Bambang. (2006). *Dasar-dasar Perlindungan Tanaman: Proses Terjadinya Penyakit Tumbuhan*.
- Rudi Hartono. (2011). *Aplikasi Bioteknologi untuk Pengembangan Tanaman Resisten terhadap Hama dan Penyakit*. Bioteknologi Pengembangan Tanaman Resisten terhadap Hama dan Penyakit.
- Semangun, H. (1991). *Penyakit-Penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*. Gajah Mada University Press.

- Sodiq, M. (2009). *Ketahanan Tanaman terhadap Hama*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Soewito, T. (1993). *Peningkatan Ketahanan Varietas Padi terhadap Wereng Cokelat*.
- Sopialena. (2015). Ketahanan Beberapa Varietas Tomat terhadap Penyakit *Fusarium Oxysporum* dengan Pemberian *Trichoderma* sp. *Jurnal Agrifor*: Samarinda.
- Sopialena. (2017). *Segitiga Penyakit Tanaman*. Samarinda: Mulawarman University Press.
- Sopialena. (2018). *Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba*. Mulawarman University Press: Samarinda.
- Stamp, N. (2003). Out of the Quagmire of Plant Defense Hypotheses. *The Quarterly Review of Biology*, 78(1), 23-55.
- Suganda, Tarkus. (2020). *Taktik Pengendalian dan Strategi Pengelolaan Terpadu Penyakit Tanaman*. UNPAD Press.
- Sumarno. (1992). Pemuliaan Untuk Ketahanan terhadap Hama. Prosiding Simposium Pemuliaan Tanaman Perhimpunan Pemuliaan Tanaman Indonesia.
- Suniti, N. W. (2016). *Buku Ajar Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*, 1–60.
- Tarumingkeng, Rudy C., Coto, Zahrial. (2003). *Strategi Perakitan Gen-Gen Ketahanan Terhadap Hama. Pengantar Falsafah Sains (PPS702)*. Institut Pertanian Bogor.
- Taufik, M., et al. (2010). Mekanisme Ketahanan Terinduksi oleh Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) pada Tanaman Cabai Terinfeksi Cucumber Mosaik Virus (CMV). *J. Hort*, 20(3): 274 – 283.
- Tim Dosen. (2011). *Modul Penuntun Praktikum Dasar Perlindungan Tanaman*. FP-UB Malang.
- Tiwari, et al. (2017). Genomics Based Approaches Towards Management of Plant Diseases with Emphasis on in silico Methods as a Prudent Approach. *Journal of Agricultural Science and Food Technology* Vol. 3 (3), pp. 39-51.
- Tjahjono, Budi. Ilmu Penyakit Tumbuhan. Diakses melalui: <https://mip.faperta.unri.ac.id/file/bahanajar/87469-Ilmu-Penyakit.pdf>

Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen

Van der Plank, J.E. (1963). *Plant Diseases. Epidemics and Control*.
Academic Press, New York and London, 344 pp.

Zadocks J.C., R.D., Schein. (1979). *Epidemiology and Plant Disease
Management* 428 pp.