



**Mulawarman
University PRESS**

Segitiga Penyakit Tanaman



Sopialena

Segitiga

Penyakit

Tanaman

Penulis : Sopialena

Editor : Susilo

ISBN : 978-602-6834-38-6

© 2017. Mulawarman University Press

Edisi : Desember 2017

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan.

Sopialena. 2017. Segitiga Penyakit Tanaman. Mulawarman University Press. Samarinda



Mulawarman
University PRESS

Penerbit

Mulawarman University PRESS

Gedung LPPM Universitas Mulawarman

Jl. Krayan, Kampus Gunung Kelua

Samarinda – Kalimantan Timur – INDONESIA 75123

Telp/Fax (0541) 747432, Email : mup@lppm.unmul.ac.id

KATA PENGANTAR

Pada saat ini, produksi pertanian di Indonesia menjadi salah satu isu yang sangat penting mengingat tujuan pemerintah untuk meningkatkan swasembada pangan sehingga Negara tidak perlu bergantung terhadap impor hasil produksi pertanian/perkebunan dari Negara lain. Salah satu hal yang berperan penting dalam pengendalian produksi pertanian adalah pengendalian penyakit tanaman yang dapat dipelajari berdasarkan mekanisme penyakit tanaman itu sendiri serta faktor-faktor yang mendukung berkembangnya penyakit tanaman. Penyakit tanaman bisa berkembang hanya apabila terdapat patogen yang virulen, tanaman inang yang rentan dan kondisi lingkungan yang sesuai. Ketiga faktor ini lebih sering dikenal sebagai segi tiga penyakit tanaman, bila salah satu dari ketiga faktor itu tidak tersedia, maka penyakit tanaman tidak dapat berkembang.

Pada buku ini akan dijelaskan mengenai siklus penyakit tanaman, segitiga penyakit tanaman (virulensi patogen, inang, dan pengaruh kondisi lingkungan) serta penerapan konsep

segitiga penyakit tanaman dalam pengendalian penyakit tanaman. Dengan memahami ketiga unsur dari segitiga penyakit tanaman, maka dapat mengupayakan minimalisir terhadap terjadinya penyakit tanaman serta strategi upaya pengendalian terhadap penyakit tanaman.

Buku ini ditujukan untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat pada umumnya serta mahasiswa pertanian khususnya dan diharapkan dapat menjadi bahan kuliah dan literatur praktek yang berkaitan dengan ilmu pengendalian penyakit tanaman dengan pendekatan konsep segitiga penyakit tanaman yang dirasa saat ini cukup sulit diaplikasikan.

Pada akhirnya Penulis sadar bahwa dalam penyusunan buku ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca untuk penerbitan yang akan datang.

Samarinda, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II SIKLUS PENYAKIT TANAMAN	5
A. Inokulasi atau Penularan	8
B. Penetrasi	10
C. Pra-Entry	11
D. Entry	13
E. Konsep Gen untuk Gen (<i>gen for gen concept</i>)	16
F. Infeksi	17
G. Proses Infeksi	18
H. Invasi	19
I. Kolonisasi	20
J. Deseminasi	24
K. Fisiologi Penyakit	24
BAB III SEGITIGA PENYAKIT	44
A. Definisi Ketahanan Tanaman	44
B. Mekanisme Resistensi Tanaman	44
C. Syarat Tanaman Resisten	47
D. Dasar Penyakit Tanaman : Segitiga Penyakit Tanaman	65
E. Pengaruh Waktu Terhadap Segitiga Penyakit	72
F. Kelaparan Kentang Asal Irlandia	75
G. Bekerja Berdasarkan Segitiga Penyakit	76

BAB IV PENERAPAN KONSEP SEGITIGA PENYAKIT	79
A. Ketahanan Inang	79
B. Pengaruh Lingkungan	81
C. Perkembangan Patogen	84
DAFTAR PUSTAKA	88
DAFTAR SINGKATAN	90

DAFTAR TABEL

No.	Tubuh Utama	Halaman
2.1.	Perbandingan siklus penyakit	27

DAFTAR GAMBAR

No.	Tubuh Utama	Halaman
2.1.	Siklus Penyakit Tanaman	7
3.1.	Segitiga Penyakit	29
3.2.	Segitiga Penyakit Tanaman	37
3.3.	Sebuah varian representasi dari segi tiga penyakit tanaman yang menunjukkan sebuah ketidaksamaan hubungan antara lingkungan, pathogen, dan host determinan	39
3.4.	Piramida penyakit atau tetrahedron	41
3.5.	Piramida penyakit empat dimensi dengan "waktu" ditambahkan	52
3.6.	Hubungan antara proporsi jumlah bercak maksimum penyakit bercak daun <i>Cercospora carotae</i> pada tanaman wortel dengan suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban udara nisbi	61
3.7.	Kurva tiga dimensi hubungan antara sporulasi <i>Cercospora carotae</i> pada tanaman wortel	

dengan suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban nisbi tinggi	62
3.8. Segitiga Penyakit	68
4.1. Pengamatan serangan patogen <i>Pyricularia oryzae</i> di Lapangan (a) Bercak daun berupa titik pada varietas Ciherang, (b) Bercak daun tidak membentuk tepi yang jelas pada varietas Inpari7 dan (c) kematian keseluruhan tanaman varietas rentan	86

BAB I

Pendahuluan

Dalam upaya peningkatan produksi tanaman sebelumnya harus memahami terlebih dahulu mengenai permasalahan-permasalahan dalam peningkatan produksi itu sendiri. Pertumbuhan tanaman tidak terlepas dari lingkungan penyokong pertumbuhan tanaman. Lingkungan tersebut dibagi menjadi lingkungan yang terdiri dari tanah dan udara, dan organisme pengganggu tumbuhan.

Penyakit pada tanaman terjadi karena adanya interaksi antara tiga factor utama yaitu factor 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. Dengan memahami segitiga penyakit ini maka kita akan dapat meminimalisir terjadinya penyakit dan akan lebih memahami mengenai pengendalian terhadap penyakit yang terjadi juga mengenai upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya penyakit atau dengan kata lain merupakan strategi untuk memaksimalkan pertumbuhan dan produksi tanaman yang dibudidayakan.

Tanaman yang terserang penyakit dapat dikenali dengan melihat gejalanya. Memperhatikan gejala yang terjadi pada tanaman secara teliti, tanda-tanda umum dan spesifik dari gejala, memberitahu kita mengenai penyakit apa yang menyerang pada tanaman kita. Gejala yang terjadi dapat dijumpai pada bagian daun, akar, batang ataupun buah tanaman. Dengan penyakit pada tanaman maka akan dapat diupayakan pengendalian yang dapat 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 yang menurun, atau akar mudah

rebah yang disebabkan oleh virus atau bakteri. Hal yang pasti terjadi jika penyakit serius ini tidak segera di tangani akan berdampak buruk bahkan tanaman akan mati dengan serempak dan tidak wajar.

Semakin beragamnya jenis tanaman, maka semakin beragam pula jenis penyakit tanaman yang sangat mengganggu. Organisme yang menyerang tanaman budidaya berdampak buruk terhadap produksi tanaman, sehingga untuk mengupayakan produksi tanaman perlu kita memahami mengenai penyakit tanaman tersebut.

Cara utama untuk menentukan penyakit apapun adalah mengetahui nama patogen atau agen yang secara negatif mempengaruhi kesehatan organisme inang. Faktor penentu penyakit yang sering diabaikan, adalah lingkungan, yang mencakup efek fisik dan sosial yang merugikan pada umat manusia. Segitiga penyakit adalah model konseptual yang menunjukkan interaksi antara lingkungan, pembawa penyakit dan agen infeksius (atau abiotik). Model ini dapat digunakan untuk memprediksi epidemiologi kesehatan tanaman dan kesehatan masyarakat, baik di masyarakat lokal maupun global.

Patologi tanaman (juga fitopatologi) adalah studi ilmiah penyakit pada tumbuhan yang disebabkan oleh patogen (organisme infeksius) dan kondisi lingkungan (faktor fisiologis). Organisme yang menyebabkan penyakit menular meliputi jamur, oomycetes, bakteri, virus, viroid, organisme mirip virus, fitoplasma, protozoa, nematoda dan tanaman parasit. Tidak termasuk ektoparasit seperti serangga, tungau, vertebrata, atau hama lainnya yang mempengaruhi kesehatan tanaman dengan mengkonsumsi jaringan tanaman. Patologi tanaman juga melibatkan studi identifikasi patogen, etiologi penyakit, siklus penyakit, dampak ekonomi, epidemiologi penyakit tanaman, resistensi penyakit tanaman, bagaimana penyakit tanaman mempengaruhi manusia dan hewan, genetika patosistem, dan pengelolaan penyakit tanaman.

BAB 2

Siklus Penyakit Tanaman

Petani memiliki peran penting dalam pengolahan dan penentu kelangsungan hidup bagi sektor yang terkait. Hal ini sangat erat dengan penyakit pada tumbuhan, jika hasil tanaman yang kita peroleh memberikan yang dibutuhkan oleh tubuh kita mengandung penyakit. Tumbuhan sangat berfungsi bagi kelangsungan hidup manusia, sebab hasil dari tumbuhan dapat dijadikan sebagai bahan makanan dimana makanan merupakan salah satu sumber energi bagi manusia.

Tentu ini sangat berpengaruh bukan hanya pada tumbuhan melainkan kepada manusia dan pada ternak yang mengkonsumsi tumbuhan, penanggulangan yang cepat adalah langkah terbaik untuk menanggulangnya, beberapa sub pokok swasembada pangan harus kita dukung dengan mengendalikan penyakit yang menyerang. Terdapat empat faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan penyakit pun memiliki faktor pendukung untuk menyerang tanaman melalui cuaca, suhu, kelembaban, hama dan bahkan oleh lingkungan.

Gangguan yang di sebabkan bukan hanya oleh faktor di atas, faktor yang di timbulkan dapat di timbulkan oleh adanya mikroorganisme yang meliputi bakteri, virus, jamur, protozoa, cacing, tikus, dan lain lain.

Tumbuhan dikatakan sehat atau normal apabila tumbuhan tersebut dapat melaksanakan fungsi-fungsi fisiologisnya sesuai dengan potensial genetik terbaik yang dimilikinya. Tumbuhan menjadi sakit apabila tumbuhan tersebut diserang oleh patogen atau dipengaruhi oleh agensia abiotik. Penyakit tumbuhan akan muncul bila terjadi kontak dan terjadi 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.

Siklus hidup patogen dimulai dari tumbuh sampai menghasilkan alat reproduksi. Siklus penyakit meliputi perubahan-perubahan patogen di dalam tubuh tanaman dan rangkaian perubahan tanaman inang serta keberadaan patogen (siklus hidup patogen) di dalamnya dalam rentang waktu tertentu selama masa pertumbuhan tanaman. Kejadian penting

A. 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. Beberapa tipe inokulum yang terbawa tanah, seperti zoospora dan nematoda dapat mencapai

tanaman inang yang sesuai melalui substansi yang dikeluarkan oleh akar tanaman.

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.

Selanjutnya dapat didefinisikan bahwa Inokulasi adalah kontak antara patogen dengan tanaman. Pada proses inokulasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- Jenis inokulum : Inokulum primer adalah infeksi penyebabnya; Inokulum sekunder adalah inokulum yang dihasilkan dari infeksi primer.

- Sumber inokulum : kadang sudah berada dalam tanah di lahan dimana tanaman tumbuh, atau berasal dari luar lahan tanam.

Inokulum sebagian besar patogen dibawa ke inang tanaman secara pasif oleh angin, air dan serangga. Inokulum udara selalu mengudara, selanjutnya mendarat ke permukaan tanaman tidak hanya karena gravitasi tetapi dibawa oleh hujan.

B. 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 dimasukan oleh perantara tertentu dan sedikit sekali yang masuk melalui lubang-lubang alami permukaan tanaman. Virus dan mikoplasma dapat melakukan penetrasi dengan melalui luka atau dimasukan oleh perantara atau vektor. Bakteri, virus, dan mikoplasma tidak pernah melakukan penetrasi secara langsung.

C. Pra-Entry

Sebelum patogen dapat menembus jaringan inang, spora harus berkecambah dan tumbuh di permukaan tanaman. Dalam kasus patogen motil, mereka harus menemukan host dan

menegosiasikan permukaannya sebelum masuk host. Beberapa patogen mengembangkan struktur penetrasi khusus, seperti appressoria, sementara yang lain menggunakan yang sudah ada sebelumnya di permukaan tanaman, seperti luka atau pori stomata. Virus tanaman sering terbawa dan masuk ke dalam tanaman melalui vektor seperti jamur atau serangga.

Kontak awal antara propagul infeksi parasit dan tanaman inang potensial disebut inokulasi. Patogen menggunakan berbagai rangsangan untuk mengidentifikasi titik masuk yang sesuai. Beberapa jamur menggunakan isyarat topografi di permukaan tanaman untuk membawa mereka menuju lokasi stomata. Begitu hypha mencapai stoma, senyawa volatil yang keluar dari pori-pori tampaknya memberi isyarat untuk pembentukan struktur penetrasi khusus, appressorium. Gula, asam amino dan mineral yang disekresikan oleh tanaman pada permukaan daun tidak dapat secara khusus memicu perkecambahan spora atau memberi nutrisi pada patogen.

Beberapa spora patogen tidak akan berkecambah dengan tidak adanya zat ini. Perkembangan patogen dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, cahaya, aerasi, ketersediaan hara dan pH.

Kondisi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan infeksi yang berhasil berbeda antara patogen.

D. Entry

Patogen mengeksploitasi setiap jalur yang mungkin untuk masuk ke inangnya, walaupun spesies patogen individu cenderung memiliki metode yang lebih disukai. Patogen jamur sering menggunakan penetrasi langsung permukaan tanaman untuk masuk inang. Ini memerlukan adhesi pada permukaan tanaman, diikuti dengan penerapan tekanan dan kemudian degradasi enzimatis dari kutikula dan dinding sel, untuk mengatasi hambatan fisik yang disajikan oleh permukaan tanaman. Selama degradasi kutikula dan dinding, pergantian gen dinyalakan dan dimatikan dalam patogen, sehingga cutinase, diikuti oleh selulase, kemudian pektinase dan protease diproduksi, menyerang kutikula, dinding sel, dan lamella tengah dalam urutan.

Tekanan yang dibutuhkan agar hifa menembus dinding sel dicapai dengan terlebih dahulu melampirkan appressorium ke permukaan tanaman dengan perekat protein. Dinding sel

apressorium kemudian dimasuki melanin, membuatnya kedap air, dan mampu menahan tekanan turgor tinggi yang terbentuk di dalam apresorium. Inti apresorium yang bersentuhan dengan kutikula disebut pori penetrasi, dan dindingnya tertipis pada titik ini. Tekanan turgor yang meningkat menyebabkan pori-pori menjadi hernia, membentuk pasak penetrasi, yang menerapkan tekanan besar pada kutikula host dan dinding sel.

Jalur alternatif untuk masuknya patogen adalah melalui pembukaan yang sudah ada di permukaan tanaman. Ini bisa jadi bukaan alam atau luka. Bakteri patogen dan nematoda sering masuk melalui pori-pori stomata bila ada film kelembaban pada permukaan daun. Jamur juga bisa menembus stomata terbuka tanpa terbentuknya struktur khusus apapun. Beberapa jamur membentuk bengkak apung bengkak di atas aperture stomata dan hifa penetrasi halus memasuki area udara di dalam daun, di mana ia membentuk vesikel sub-stomata, dari mana hifa infeksi muncul dan membentuk haustoria di sel-sel sekitarnya. Juga rentan terhadap invasi patogen adalah hidathodes, pori-pori pada margin daun yang terhubung dengan xilem.

Di bawah kondisi yang sangat lembab, tetesan cairan xilem (tetesan guttation) dapat muncul di permukaan daun di mana mereka dapat terkena bakteri patogen, yang kemudian memasuki tanaman saat tetesan kembali ke dalam hidrogoda saat kelembaban menurun. Lentisel mengangkat pori-pori yang memungkinkan pertukaran gas melintasi kulit tanaman berkayu. Mereka mengecualikan sebagian besar patogen, namun ada pula yang bisa memasuki pabrik melalui rute ini. Beberapa patogen khusus juga dapat menggunakan bukaan yang tidak biasa, seperti nektar, gaya dan ectodes mata. Masuk melalui luka tidak memerlukan pembentukan struktur khusus, dan banyak patogen yang memanfaatkan luka masuk ke pabrik tidak dapat menembus permukaan tanaman jika tidak. Sebagian besar virus tumbuhan masuk melalui luka, seperti yang dilakukan oleh vektor serangga mereka.

Fenomena penetrasi:

- Perbanyak Spora dan Benih
- Penetasan Telur Nematoda
- Pelekatan patogen ke inang

- Patogen seperti virus, moluska, bakteri cepat, dan protozoa ditempatkan langsung ke sel tanaman oleh vektornya.
 - Pada kebanyakan kasus, mereka mungkin segera dikelilingi oleh sitoplasma dan selaput sitoplasma.
 - Di sisi lain, hampir semua jamur, bakteri dan tanaman parasit tinggi pertama dibawa ke dalam kontak dengan permukaan luar organ tanaman, zat yang dihasilkan menjadi lengket dan membantu patogen menempel ke tanaman.
- Pertemuan antara host dan patogen

Bila patogen bersentuhan dengan sel inang, salah satu dari banyak zat biokimia, struktur, berfungsi sebagai senyawa atau struktur sinyal host, atau molekul elikitor patogen spesifik, dan salah satu dari mereka mungkin menginduksi tindakan spesifik atau pembentukan produk spesifik oleh organisme lain.

E. Konsep Gen untuk Gen (*gen for gen concept*)

Koeksistensi tanaman inang dan patogennya co-exist di alam menunjukkan bahwa keduanya telah berkembang

bersama. "Setiap gen virulen pada patogen, selalu ada gen yang akan merespon terhadap gen virulen tersebut sehingga tanaman menjadi tahan, demikian pula sebaliknya, dimana setiap ada gen ketahanan dari tanaman, selalu ada gen yang akan merespon gen ketahanan tersebut pada patogen". Penetrasi tidak selalu menyebabkan infeksi. Penetrasi bisa secara langsung atau melalui luka ataupun melalui lubang-lubang alami.

F. 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.

G. Proses Infeksi

Proses infeksi dapat dibagi menjadi tiga tahap: pra-entry, entry dan kolonisasi. Ini mencakup perkecambahan atau perbanyakan propagul infeksi di atau pada pembawa potensial sampai pada pembentukan hubungan parasit antara patogen dan inang. Proses infeksi dipengaruhi oleh sifat patogen, inang dan lingkungan luar. Jika salah satu tahapan proses infeksi dihambat oleh faktor-faktor ini, patogen tidak akan menyebabkan penyakit pada inang.

Sementara beberapa parasit menjajah bagian luar tanaman (ektoparasit), patogen juga dapat memasuki tanaman inang dengan penetrasi, melalui lubang alami (seperti pori stomata) atau melalui luka. Gejala penyakit yang diakibatkan oleh patogen ini diakibatkan oleh terganggunya respirasi,

fotosintesis, translokasi nutrisi, transpirasi, dan aspek pertumbuhan dan perkembangan lainnya.

- Infeksi adalah proses dimana patogen menjalin kontak dengan sel atau jaringan yang rentan dari inang dan mendapatkan nutrisi dari mereka.
- Infeksi yang berhasil mengakibatkan munculnya gejala
- Interval waktu antara inokulasi dan munculnya gejala penyakit disebut masa inkubasi.

H. 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).

Patogen tanaman melakukan perkembangbiakan menggunakan beberapa cara. Jamur dengan membentuk spora, baik spora seksual maupun spora aseksual. Tumbuhan parasit melakukan perkembangbiakan menggunakan biji. Bakteri, dan mikoplasma berkembangbiak dengan membelah (fisi) sel. Virus melakukan replikasi pada sel-sel tanaman inang, dan nematoda berkembangbiak dengan bertelur. Invasi adalah proses penyerangan jaringan secara interselular.

I. Kolonisasi

Infeksi yang baik memerlukan pembentukan hubungan parasit antara patogen dan inangnya, setelah host tersebut masuk ke pabrik. Ada dua kategori patogen yang luas adalah biotrof (yang membentuk infeksi pada jaringan hidup) dan

nekrotrof (yang membunuh sel sebelum mengkolonisasi mereka, dengan mengeluarkan racun yang berdifusi menjelang patogen maju). Kedua jenis patogen ini juga kadang dikenal sebagai 'sneaks' dan 'preman', karena taktik yang mereka gunakan untuk mendapatkan nutrisi dari host mereka. Racun yang dihasilkan oleh nekrotrof dapat spesifik untuk inang atau tidak spesifik. Racun non-spesifik terlibat dalam berbagai interaksi tanaman-tumbuhan atau tumbuhan-bakteri, dan oleh karena itu tidak biasanya menentukan kisaran inang dari patogen yang menghasilkannya. Nekrotrofs sering memasuki tanaman melalui luka dan menyebabkan gejala langsung dan parah. Kategori perantara parasit adalah hemibiotrof, yang dimulai sebagai biotrof dan akhirnya menjadi nekrotrofik, menggunakan taktik dari kedua kelas patogen.

Patogen yang menjajah permukaan tanaman, mengekstraksi nutrisi melalui haustoria di sel epidermal atau mesofil disebut ektoparasit. Haustoria adalah satu-satunya struktur yang menembus sel inang. Beberapa parasit menjajah daerah antara kutikula dan dinding luar sel epidermis, menembus sel epidermis dan mesofil host dengan haustoria. Ini

disebut infeksi sub-kutikular. Patogen juga bisa membentuk koloni lebih dalam pada jaringan tanaman. Ini adalah infeksi mesofil dan parenkim, dan bisa menjadi hubungan hibriotropik, hemibiotrofik atau biotropik. Nekrotrof tidak menghasilkan struktur penetrasi khusus. Sebagai gantinya, mereka membunuh sel inang dengan mengeluarkan racun, lalu menurunkan dinding sel dan lamella tengah, membiarkan hifa mereka menembus dinding sel tanaman dan sel-sel itu sendiri. Pada infeksi hemibiotrofik, hifa interselular dapat membentuk haustoria dalam sel mesofil hidup, namun seiring lesi meluas pada kondisi yang menguntungkan, sel-sel yang sangat parititis di bagian dalam koloni koloni yang dalam dan kolon runtuh.

Urutan peristiwa serupa dapat terjadi pada tanaman yang terinfeksi oleh nematoda yang menggali. Virus, mildews dan karat mengembangkan hubungan biotropik khusus dengan host mereka. Hifa interselular pada jamur berbulu menjajah sel mesofil host dan membentuk haustoria. Jamur sporulates dan sel yang terinfeksi akhirnya mati, meskipun nekrosis tertunda dan terkandung, dibandingkan dengan yang disebabkan oleh patogen nekrotrofik. Jamur karat juga bisa menunda penuaan

pada sel yang terinfeksi sementara mereka merambah. Infeksi vaskular biasanya menyebabkan layu dan perubahan warna akibat penyumbatan fisik pembuluh xilem yang terinfeksi. Patogen-patogen vaskular sejati menjajah jaringan vaskular secara eksklusif, walaupun patogen lainnya dapat menyebabkan gejala yang sama jika mereka menginfeksi sistem vaskular serta jaringan lainnya. Ada beberapa patogen yang berhasil mencapai infeksi sistemik dari inangnya. Misalnya, banyak virus bisa menyebar ke sebagian besar tanaman, meski belum tentu semua jaringan. Beberapa jamur ringan juga dapat secara sistemik menginfeksi host mereka dengan menyerang jaringan vaskular dan tumbuh di seluruh host, menyebabkan deformasi, dan bukan nekrosis. Akhirnya, ada beberapa patogen yang melengkapi seluruh siklus hidup mereka di dalam sel tuan rumah mereka, dan dapat menyebar dari satu sel ke sel selama sitokinesis. Ini adalah infeksi endobiotik.

Kolonisasi merupakan Pertumbuhan dan reproduksi patogen. Jamur individu dan tanaman parasit yang lebih tinggi umumnya menyerang dan menyerang jaringan dengan tumbuh kemudian dari satu titik awal inokulasi.

J. Diseminasi

Diseminasi merupakan 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 perantara angin, air, hewan (terutama serangga), dan manusia. Beberapa patogen 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.

K. Fisiologi Penyakit

Sementara nekrotrof memiliki sedikit efek pada fisiologi tanaman, karena mereka membunuh sel inang sebelum mengkolonisasinya, patogen biotropika dimasukkan ke dalam dan secara halus memodifikasi berbagai aspek fisiologi host, seperti respirasi, fotosintesis, translokasi, transpirasi dan

pertumbuhan dan perkembangan. Tingkat respirasi tanaman selalu meningkat setelah terinfeksi oleh jamur, bakteri atau virus. Tingginya tingkat katabolisme glukosa menyebabkan peningkatan suhu daun yang terukur. Langkah awal dalam respon tanaman terhadap infeksi adalah ledakan oksidatif, yang dimanifestasikan sebagai peningkatan cepat konsumsi oksigen, dan pelepasan spesies oksigen reaktif, seperti hidrogen peroksida (H_2O_2) dan anion superoksida (O_2^-). Ledakan oksidatif dilibatkan dalam serangkaian resistensi penyakit dan mekanisme perbaikan luka. Pada tanaman resisten, peningkatan respirasi dan katabolisme glukosa digunakan untuk menghasilkan metabolit yang berkaitan dengan pertahanan melalui jalur pentosa fosfat. Pada tanaman yang rentan, energi ekstra yang dihasilkan digunakan oleh patogen yang tumbuh.

Patogen juga mempengaruhi fotosintesis, baik secara langsung maupun tidak langsung. Patogen yang menyebabkan defoliasi merampok tanaman jaringan fotosintesis, sementara nekrotrof menurunkan tingkat fotosintesis dengan merusak kloroplas dan membunuh sel. Biotrof mempengaruhi fotosintesis dalam berbagai tingkat, tergantung pada tingkat

keparahan infeksi. Sebuah situs infeksi biotrofik menjadi wastafel metabolik yang kuat, mengubah pola translokasi nutrisi di dalam tanaman, dan menyebabkan masuknya nutrisi secara bersih ke dalam daun yang terinfeksi untuk memenuhi tuntutan patogen. Penipisan, pengalihan dan penyimpanan produk fotosintesis oleh patogen menghambat pertumbuhan tanaman, dan selanjutnya mengurangi efisiensi fotosintesis tanaman. Selain itu, patogen mempengaruhi hubungan air di tanaman yang mereka infeksi.

Biotrof memiliki sedikit efek pada tingkat transpirasi sampai sporulasi pecah pada kutikula, pada saat mana tanaman layu dengan cepat. Patogen yang menginfeksi akar secara langsung mempengaruhi kemampuan tanaman untuk menyerap air dengan membunuh sistem akar, sehingga menghasilkan gejala sekunder seperti layu dan defoliasi. Patogen sistem vaskular juga mempengaruhi pergerakan air dengan menghalangi pembuluh xilem. Pertumbuhan dan perkembangan pada umumnya dipengaruhi oleh infeksi patogen, sebagai akibat dari perubahan pola penyerap sumber di pabrik. Banyak patogen mengganggu keseimbangan hormon pada tanaman

dengan melepaskan hormon tanaman itu sendiri, atau dengan memicu peningkatan atau penurunan sintesis atau penurunan hormon di pabrik. Hal ini dapat menyebabkan berbagai gejala, seperti pembentukan akar adventif, perkembangan empedu, dan epinasty (turunnya petioles).

Tabel 2.1. Perbandingan Siklus Penyakit (Bostock, 2014)

	Fungi	Bacteria	Viruses	Nematodes
Survival	Crop residue, Soil, Alternate hosts	Crop residues, Soil, Alternate hosts, Insect vectors	Alternate hosts, Insect vectors	Crop residues, Soil
Dispersal	Wind Rain Insects	Wind Rain Insects	Insects	Tillage Equipment Water run-off
Infection	Directly Wounds Insect feeding	Wounds Insect feeding	Insect feeding	Directly

Akibat dari serangan OPT (Organisme Pengganggu Tumbuhan) maka tidak sedikit petani yang dirugikan karena menurunnya hasil atau produksi tanaman yang dibudidayakan. Kerugian yang diderita petani karena menurunnya produksi ini merupakan masalah yang serius bagi ketahanan pangan di negara ini. Dampak yang timbul akibat serangan hama dan penyakit menyebabkan kerugian baik terhadap nilai ekonomi produksi, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta petani sebagai pelaku budidaya tanaman dengan kegagalan panen serta turunnya kualitas dan kuantitas hasil panen. Hal ini

disebabkan karena adanya persaingan perebutan unsur hara dan mineral, air, cahaya matahari, proses fisiologi tanaman, pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang terhambat akibat hama dan penyakit. Untuk memaparkan lebih lanjut mengenai keterkaitan pertumbuhan tanaman maka dikenal dengan konsep segitiga pertumbuhan dimana terdiri dari:

1. Faktor tanaman

Faktor tanaman yang berpengaruh terhadap produksi adalah varietas tanaman, ketahanan tanaman, dan keragaman genetik

2. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan yang berpengaruh mencakup kesuburan tanah, faktor iklim seperti kelembaban, suhu, sinar matahari, kecepatan dan arah angin, curah hujan, dan cara berbudidaya.

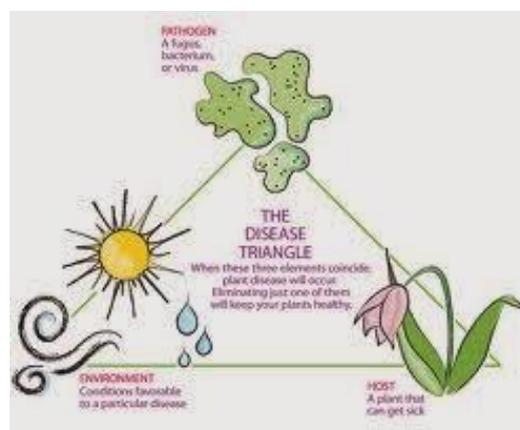
3. Faktor Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT)

Faktor organisme pengganggu tumbuhan adalah organisme baik jasad yang berukuran besar maupun jasad renik yang berfungsi negatif atau merugikan terhadap pertumbuhan tanaman yang dibudidayakan.

BAB 3

Segitiga Penyakit

Dari konsep segitiga penyakit, jelas bahwa penyakit dapat timbul dan berkembang apabila ada interaksi antara tanaman rentan dengan patogen yang virulen pada lingkungan yang mendukung pertumbuhan patogen atau lingkungan yang kurang sesuai untuk tanaman. Kerentanan tanaman dan virulensi patogen tidak berubah pada tanaman yang sama selama beberapa hari hingga beberapa minggu, akan tetapi keadaan lingkungan dapat berubah secara tiba-tiba dalam tingkatan yang bervariasi. Oleh karena itu, lingkungan dapat menyebabkan terjadinya perubahan perkembangan penyakit menjadi lebih cepat atau lebih lambat.



Gambar 3.1. Segitiga Penyakit (Agrios, 2005)

Sebagaimana yang telah dijabarkan di atas bahwa terjadinya suatu penyakit paling sedikit diperlukan tiga faktor yang mendukung, yaitu tanaman inang atau host, penyebab penyakit atau pathogen dan faktor lingkungan.

1. Tanaman Inang

Dalam sistem produksi kita, terlepas dari tanaman yang ditanam (apakah jagung, kapas, gandum sorgum, beras, kedelai, gandum) lebih sering dibanding tidak, tapi tidak dalam situasi di lapangan, kultivar yang rentan ditanam yang tidak mengandung gen ketahanan untuk penyakit tertentu. Tidak termasuk karat (karat umum jagung, karat selatan jagung, karat kedelai, karat kacang) pada bagian ini karena harus menumpang sistem produksi MS dari suatu tempat ke bagian selatan dan semua varietas jagung dan kedelai rentan terhadap Karat Gandum karat serupa karena mereka harus menumpang ke dalam MS; Namun, varietas toleran ada. Tetapi untuk beberapa penyakit foliar, khususnya pada jagung dan kedelai, ada banyak varietas yang tersedia dengan beberapa tingkat toleransi terhadap patogen/penyakit tertentu (misalnya, bintik daun buram).

Pengaruh tanaman inang terhadap timbulnya suatu penyakit tergantung dari jenis tanaman inang, kerentanan tanaman, bentuk dan tingkat pertumbuhan, struktur dan kepadatan populasi, kesehatan tanaman dan ketahanan inang. Tanaman inang dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

- Tanaman inang rentan: inang yang mudah terserang patogen sementara pada kondisi sama dan pathogen sama, inang lain resisten.
- Tanaman inang resisten: Inang yang tahan terhadap serangan patogen sementara pada kondisi sama dan pathogen sama, inang lain rentan.
- Tanaman inang toleran: inang yang rentan tetapi inang tersebut masih mampu menghasilkan produk yang ekonomis.
- Tanaman inang sekunder: inang yang bukan menjadi makanan utama.
- Tanaman inang primer: inang yang memang menjadi tempat dan sumber nutrisi makanan utama/pokok dari patogen.

- Tanaman inang alternatif: tempat dan nutrisi makanan jika tidak ada inang sekunder, primer dimana patogen dimasing-masing inang bias menyelesaikan siklusnya.
- Tanaman inang perantara: 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.

2. 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.

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 berkembangbiak patogen.

Kemampuan patogen menyerang tanaman inang dipengaruhi oleh senjata yang dimiliki oleh patogen, dimana senjata ini sangat tergantung pada jenis patogen itu sendiri. Secara umum senjata yang dimiliki patogen untuk menyerang tanaman dapat dibedakan menjadi dua yaitu fisik-mekanik dan biokimia. Senjata fisik-mekanik dapat berupa jarum (stilet) seperti yang dimiliki nematode atau berupa austinium yang dimiliki oleh fungi. Sedangkan yang biokimia dapat berupa enzim, toksin, antibiotik, zat pengatur tumbuh (ZPT) dan senyawa yang berfungsi sebagai racun atau penyumbat. Faktor patogen yang mempengaruhi perkembangan epidemi, yaitu:

- Tingkat virulensi
- Jumlah inokulum dekat inang
- Jenis reproduksi patogen
- Ekologi patogen
- Cara penyebaran patogen

3. Lingkungan

Faktor lingkungan yang dapat memberikan pengaruh terhadap timbulnya suatu penyakit dapat berupa suhu udara, intensitas dan lama curah hujan, intensitas dan lama embun, suhu tanah, kandungan air tanah, kesuburan tanah, kandungan bahan organik, angin, api, pencemaran air. Faktor lingkungan ini memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman inang dan menciptakan kondisi yang sesuai bagi kehidupan jenis patogen tertentu. Faktor lingkungan yang mempengaruhi perkembangan epidemi, yaitu:

- Kelembaban
- Suhu
- Pengaruh praktik budaya dan tindakan pengendalian manusia
- Pemilihan ukuran dan persiapan
 - Lahan rendah dan bidang yang sangat kotor dan berangin, terutama jika di dekat ladang terinfeksi lainnya, cenderung menyukai tampilan dan perkembangan epidemi.
 - Pemilihan bahan propagatif

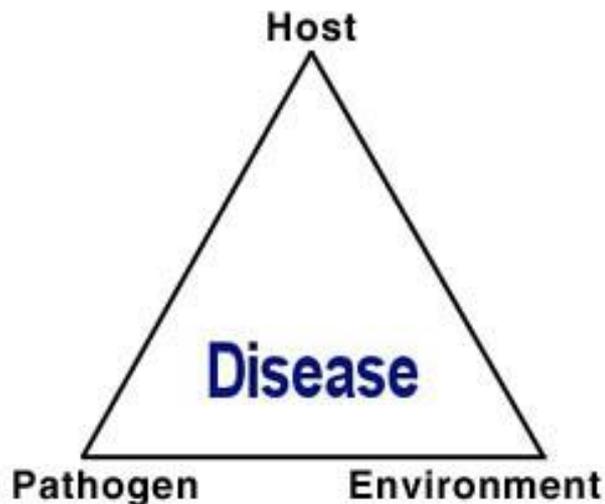
- Praktik budaya
- Monokultur, areal luas ditanam pada varietas tanaman yang sama, pemupukan nitrogen tingkat tinggi, dll.
- Introduksi patogen baru misalnya penyakit kanker pada jeruk yang disebabkan oleh *Xanthomonas campestris* pv. *Citri*

Segitiga penyakit menggambarkan fenomena penyakit tanaman sebagai ruang interior sebuah segitiga dengan tiga faktor penting (inang yang rentan, lingkungan yang menguntungkan untuk penyakit, dan patogen) pada simpul. Variasi 'kekuatan' kontribusi faktor-faktor ini terhadap hubungan ('kekuatan' ditunjukkan oleh ukuran lingkaran) secara kuantitatif akan mengubah tingkat keparahan penyakit, yang akan ditunjukkan oleh perubahan area pusat. Amplop penyakit. Diagram ini dimaksudkan untuk digunakan secara dinamis. Segitiga penyakit statis memungkinkan ilustrasi kontinum reaksi inang dari kerentanan menyeluruh terhadap kekebalan, dan tingkat virulensi patogen, dan kesesuaian lingkungan untuk penyakit. Jika salah satu elemen dikurangi menjadi nol, segitiga berubah menjadi garis dan area yang

diduduki oleh penyakit runtuh menjadi nol. Perubahan yang kurang dramatis dalam faktor apapun mengubah area amplop penyakit pusat yang merupakan indikator intensitas penyakit (kejadian atau tingkat keparahan). Misalnya, host dengan beberapa tingkat resistensi akan memiliki lingkaran kerentanan yang lebih kecil, dan akibatnya daerah yang lebih rendah tumpang tindih dan penyakit yang kurang parah. Contoh lain bisa jadi patogen dengan virulensi yang sangat meningkat, yang akan ditunjukkan sebagai lingkaran patogen yang lebih besar dan akibatnya lebih luas tumpang tindih dan penyakit yang lebih parah.

Segitiga penyakit adalah salah satu konsep pertama yang dihadapi oleh mahasiswa dalam kursus patologi tanaman pendahuluan dan sering kali dapat kembali ditemui di kelas tingkat yang lebih tinggi sebagai prinsip dasar faktor-faktor yang terlibat dalam penyebab penyakit. Dengan demikian, gambar tersebut menggambarkan salah satu paradigma dalam patologi tanaman; Artinya, adanya penyakit yang disebabkan oleh agen biotik mutlak membutuhkan interaksi dari hospes yang rentan, patogen yang mematikan, dan lingkungan yang

menguntungkan untuk pengembangan penyakit. Sebaliknya, penyakit tanaman dicegah setelah eliminasi salah satu dari ketiga komponen kausal ini.



Gambar 3.2. Segitiga Penyakit Tanaman (Lannou, 2012)

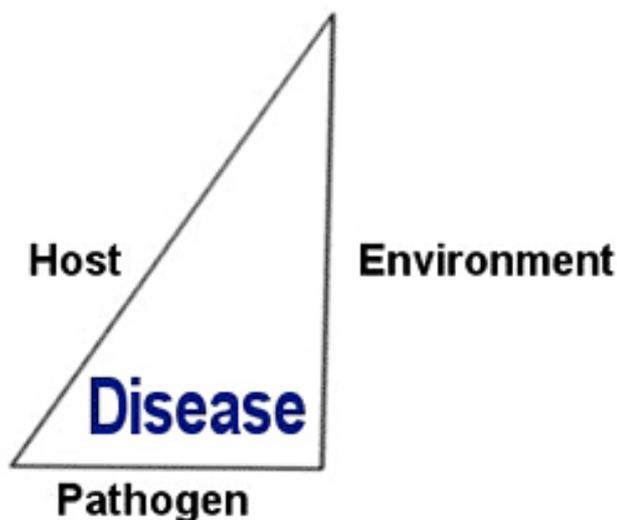
Hubungan segitiga ini unik dengan fitopatologi dibandingkan dengan ilmu kedokteran hewan dan kedokteran karena tanaman terestrial memiliki sedikit kapasitas penyimpanan termal dan imobilitasnya menghalangi pelarian dari lingkungan yang tidak ramah. Sistem kekebalan yang canggih ditemukan pada mamalia tidak ada di tanaman, dan ini menempatkan penekanan pada konstitusi genetika tuan rumah. Akhirnya, dominasi fytopatologi jamur, yang juga sangat bergantung pada lingkungan, mungkin telah berkontribusi terhadap pengembangan paradigma ini. Gambar segitiga

penyakit kemungkinan besar pertama kali diterbitkan oleh Stevens pada tahun 1960, walaupun ahli patologi tanaman sebelumnya tentu saja mengenali interaksi antara tumbuhan, patogen, dan lingkungan.

Faktor-faktor dapat mempengaruhi host dan parasit secara independen, dan hal itu dapat mempengaruhi keterkaitan organisme ini. "Namun, mungkin tidak satupun ahli patologi tanaman perintis ini sebelum Stevens bersikap sangat eksplisit dalam perlakuan mereka terhadap interaksi tiga arah ini sebagai Gäumann, siapa menganalisis contoh faktor lingkungan, inang, dan patogen penting dan pengaruhnya terhadap pengembangan penyakit.

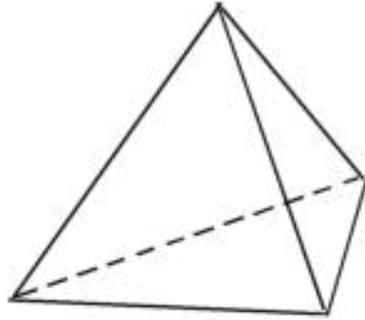
Secara kualitatif, segitiga penyakit secara ringkas menggambarkan fenomena penyakit tanaman sebagai menempati ruang interior segitiga dengan tiga faktor penting pada simpul. Sebagai alternatif, ketiga faktor tersebut mungkin terkait dengan segmen garis (yaitu, sisi segitiga); Kemudian, garis panjang dan volume interior dapat menunjukkan variasi kekuatan hubungan dalam arti kuantitatif. Misalnya, host dengan tingkat resistensi tertentu, namun tidak kebal, akan

mengakibatkan tingkat penyakit secara keseluruhan lebih rendah. Digunakan dalam pengertian ini, segitiga penyakit menggambarkan kontinum reaksi inang dari kerentanan menyeluruh terhadap kekebalan. Begitu juga, tingkat virulensi patogen dan kondusifitas lingkungan dapat disampaikan dengan sama baiknya. Jika ada satu unsur yang dikurangi menjadi variabel nol, figur geometris berubah menjadi garis dan daerah yang diduduki oleh penyakit runtuh menjadi nol. Selain kasus null ini, representasi kuantitatif alternatif mengobati penyakit sebagai tingkat intensitas (yaitu, kejadian atau tingkat keparahan) dan bukan sebagai fenomena.



Gambar 3.3. Sebuah varian representasi dari segi tiga penyakit tanaman yang menunjukkan sebuah ketidaksamaan hubungan antara lingkungan, pathogen, dan host determinan. (Lannou, 2012)

Beberapa ahli patologi tanaman telah menguraikan tentang penyakit segitiga dengan menambahkan satu atau lebih parameter. Parameter tambahan yang disarankan termasuk manusia, vektor, dan waktu. Dari jumlah tersebut, hanya waktu yang mutlak dibutuhkan sehingga elemen lainnya mewakili aplikasi kasus khusus. Sebuah piramida tiga dimensi atau tetrahedron telah menjadi angka yang paling umum digambar setelah penambahan satu parameter tunggal. Menambahkan lebih dari satu parameter sambil mempertahankan bentuk piramida dimungkinkan dengan menggambar basis dengan empat segmen garis. Kerugian untuk sosok semacam itu terletak pada dua simpul yang berlawanan (atau garis sejajar) dari empat faktor basal yang ditunjukkan berinteraksi secara tidak langsung. Interaksi antara lima faktor disampaikan oleh Agrios sebagai tetrahedron dengan garis vertikal yang membentang dari pangkal ke titik puncak.



Gambar 3.4. Piramida penyakit atau tetrahedron. (Schuman, 1991)

Faktor manusia ke dalam penyakit segitiga karena pengaruh aktivitas manusia terhadap penyakit menyebar luas di bidang pertanian dan, mungkin pada tingkat yang lebih rendah, pada sistem input yang lebih rendah seperti pengelolaan kehutanan dan jangkauan. Memang sulit untuk mengabaikan unsur-unsur seperti praktik budidaya yang mempengaruhi siklus hidup patogen, manipulasi genetika host tanaman melalui pembiakan dan rekayasa genetika, menanam sebagian besar populasi tanaman genetis, dan berbagai manipulasi lingkungan seperti irigasi, rumah kaca, dan hidroponik. Faktor-faktor ini dapat sangat mempengaruhi terjadinya dan tingkat keparahan penyakit tertentu.

Argumen melawan termasuk manusia sebagai faktor penyakit segitiga memandang tanaman jinak karena sudah

memiliki identitas mereka terkait erat dengan peternakan dan oleh karena itu manusia sudah terwakili secara implisit dalam konfigurasi segitiga. Pastinya, banyak tanaman seperti jagung (jagung) sudah tidak ada lagi di alam liar atau hampir menyerupai kerabat liar. Kedua, manusia merupakan bagian dari lingkungan ekosistem dalam arti bahwa kita berada di luar interaksi host-parasit. Dengan demikian, terlepas dari pengaruh dominan kita, pandangan yang mencurahkan dimensi pada diri kita sendiri dapat dianggap antroposentris.

Hewan dan vektor lainnya mungkin tidak penting untuk semua penyakit tapi pasti memainkan peran penting dalam banyak penyakit. Dengan demikian, vektor mewakili kasus khusus untuk modifikasi hubungan segitiga. Dalam beberapa kasus, patogen sebenarnya mengalikan dalam sel vektor dan transmisi penyakit akan sangat terhambat tanpa tahap ini dalam siklus hidupnya. Namun, jika patogen tidak mampu menginfeksi inangnya tanpa vektor, piramida gagal menunjukkan sifat perantara vektor dalam hubungan patogen-plant dengan menarik koneksi langsung dan menghindari vektor. Mungkin diagram alternatif yang menerangi akan memiliki vektor yang

menempati sisi segitiga penyakit yang menghubungkan simpul host dan patogen.

Dimensi waktu telah ditambahkan pada segitiga penyakit oleh beberapa penulis untuk menyampaikan kesan bahwa onset dan intensitas penyakit dipengaruhi oleh durasi dimana ketiga faktor tersebut selaras. Tentu, penyakit mungkin tidak terjadi pada saat pertama, ketiga parameter tersebut sesuai namun akan terjadi setelah beberapa lama. Pembatasan antara tanaman sehat dan penyakit adalah salah satu yang tidak mudah digambar. Memang, gejala dan tanda bisa memakan banyak waktu untuk muncul tapi kejadian fisiologis yang menentukan infeksi biasanya memerlukan waktu beberapa jam sampai berjam-jam. Untuk menunjukkan waktu sebagai titik puncak pada piramida mungkin instruktif. Namun, tidak seperti tiga unsur segitiga lainnya, waktu adalah vektor invarian dan searah. Dengan demikian, ilustrasi waktu sebagai dimensi dan bukan sebagai titik pada sumbu sewenang-wenang lebih realistis dan pada kenyataannya dapat memberi nilai pendidikan lebih banyak. Browning dkk. mengilustrasikan ide yang sama dengan kerucut penyakit, sebuah gambar yang meluas sepanjang waktu

dan yang volume dan area akhir pada akhir epidemi bergantung pada keadaan dari tiga variabel yang berinteraksi. Sekali lagi, penyakit diwakili sebagai kuantitas dalam pengobatan Browning.

A. Definisi Ketahanan Tanaman

- Resistensi tanaman didefinisikan sebagai sifat-sifat tanaman yang dapat diturunkan dan dapat mempengaruhi tingkat kerusakan oleh serangga
- Resistensi tanaman adalah semua ciri dan sifat tanaman yang memungkinkan tanaman mempunyai daya tahan atau daya sembuh dari serangan hama
- Resistensi tanaman didefinisikan sebagai kemampuan tanaman untuk berproduksi lebih baik dibandingkan tanaman lain dengan tingkat populasi hama yang sama

B. Mekanisme Resistensi Tanaman

Menurut Painter (1951) terdapat tiga mekanisme yang ditunjukkan tanaman dalam menghambat serangan hama, yaitu:

- Antibiosis, yaitu mekanisme yang mempengaruhi atau menghancurkan siklus hidup hama.
- Antixenosis, yaitu menghindarkan tanaman dari serangan hama dalam pencarian makan, peletakan telur, atau tempat tinggal serangga.
- Toleran, menunjukkan daya tahan tanaman terhadap serangan hama.

Ketahanan genetik tanaman terhadap hama dapat diwariskan sebagai sifat monogenik sederhana dengan gen-gen penentunya mungkin dominan sebagian atau sempurna ataupun resesif. Berdasarkan susunan dan sifat gen, ketahanan genetik dapat dibedakan menjadi:

- Monogenik, sifat tahan yang diatur oleh satu gen dominan atau resesif.
- Oligenonik, sifat tahan yang diatur oleh beberapa gen yang saling menguatkan satu sama lain.
- Poligenik, sifat tahan yang diatur oleh banyak gen yang saling menambah dan masing-masing gen memberikan reaksi yang berbeda-beda terhadap biotipe hama sehingga mengakibatkan timbulnya ketahanan yang luas.

- Ketahanan genetik juga dapat dibagi menjadi :
- Ketahanan Vertikal, yaitu ketahanan hanya terhadap suatu biotip hama dan biasanya bersifat sangat tahan tetapi mudah patah oleh munculnya biotip baru.
- Ketahanan Horizontal atau ketahanan umum, yaitu ketahanan terhadap banyak biotip hama dengan derajat ketahanan “agak tahan”
- Ketahanan Ganda, yaitu ketahanan terhadap beberapa jenis hama.

Faktor ketahanan genetik meliputi :

- Morfologi Tanaman, yaitu dengan memanfaatkan bagian-bagian tubuh tanaman dalam upaya pertahanan terhadap serangan hama,
- Biokimia, yaitu dengan memanfaatkan atau memproduksi senyawa-senyawa kimia yang dapat berpengaruh terhadap hama yang menyerang.
- Faktor Luar, sangat dipengaruhi terhadap fluktuasi lingkungan disekitar tanaman yang didasarkan oleh ruang dan waktu. Salah satunya adalah *Pseudoresistance*, yang mungkin bisa terjadi pada tanaman normal karena

beberapa sebab. Ketahanan ini terjadi karena adanya beberapa dorongan dari lingkungan yang bersifat sementara seperti suhu, panjang hari, kimia tanah, kandungan tanah, atau metabolisme internal tanaman itu sendiri.

C. Syarat Tanaman Resisten

Suatu varietas disebut resisten apabila:

- 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,
- Memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh serangan hama,
- Memiliki sekumpulan sifat yang dapat diwariskan, yang dapat mengurangi kemungkinan hama untuk menggunakan tanaman tersebut sebagai inang, atau
- Mampu menghasilkan produk yang lebih banyak dan lebih baik dibandingkan dengan varietas lain pada tingkat populasi hama yang sama

Kelebihan dan Kekurangan Pemanfaatan Tanaman Resisten

- Kelebihan pemanfaatan tanaman resisten :
 - Mengendalikan populasi hama/penyakit tetap di bawah ambang kerusakan dalam jangka panjang,
 - Tidak berdampak negatif pada lingkungan,
 - Tidak membutuhkan alat dan teknik aplikasi tertentu,
 - Tidak membutuhkan biaya tambahan lain,
 - Dapat dikombinasikan dengan hampir semua teknik pengendalian
- Kekurangan pemanfaatan tanaman resisten :
 - Daya tahan suatu varietas terbatas pada beberapa spesies saja
 - Varietas resisten yang tersedia belum tentu disukai oleh petani
 - Diperlukan usaha dan waktu penyuluhan yang intensif untuk mengenalkan jenis varietas baru kepada petani
 - Biaya yang harus disediakan untuk mengganti varietas lama dengan yang baru cukup banyak.

- Penelitian memerlukan waktu yang cukup lama untuk menghasilkan satu varietas unggul baru yang tahan terhadap satu spesies hama.

Tidak mudah untuk menggabungkan faktor-faktor ketahanan dari suatu varietas atau organisme ke dalam varietas baru. Tingkat ketahanan genetik atau kerentanan dari inang dipengaruhi oleh:

- Derajat keseragaman genetik tanaman inang
- Bila tanaman inang berseragam secara genetik, terutama yang berkaitan dengan gen yang terkait dengan ketahanan terhadap penyakit, tumbuh di daerah yang luas, kecintaan yang lebih besar ada bahwa ras patogen baru akan muncul yang dapat menyebabkan genom mereka dan berakibat pada epidemi.
- Jenis tanaman
- Tanaman tahunan
- Umur tanaman inang
- Perubahan tanaman dalam kerentanan mereka terhadap penyakit dengan usia.

Salah satu hal tersulit mengenai patologi tanaman berkaitan dengan waktu kejadian penyakit dan kapan gejala penyakit dapat diamati di lapangan. Lebih sering daripada tidak, penyakit hadir di kebanyakan bidang, terlepas dari tanaman tertentu, pada akhir musim. Namun, yang lebih khusus lagi, penyakit mungkin tidak mengancam hasil jika terdeteksi pada tahap pertumbuhan lanjut (mis., Penyok pada jagung, R6 pada kedelai). Misalnya, dalam pengaturan jagung tertentu, seperti ladang jagung kontinyu, tanaman yang rentan lebih dari mungkin hadir dengan inokulum patogenik yang cukup untuk penyakit terjadi. Namun, unsur tambahan dalam bentuk kondisi lingkungan serta waktu dapat memainkan peran penting dalam apakah penyakit akan terjadi atau tidak.

1. Inang
2. Patogen

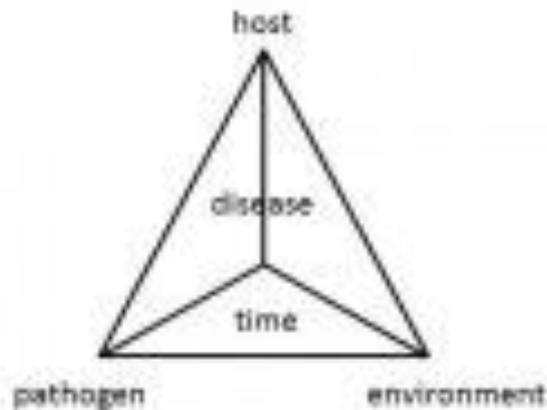
Patogen hanyalah organisme tertentu (bakteri, jamur, atau virus), namun dalam situasi khusus ini saya akan terus mengacu pada organisme jamur, yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman tertentu. Dalam beberapa kasus patogen hadir di lokasi tertentu terutama jika tanaman terus menerus tumbuh.

Sebagian besar organisme jamur dapat menenggak di lapangan antara musim tanaman bahan senes atau bahkan di profil tanah. Fakta bahwa jamur dapat menenggak di dalam bidang tertentu adalah salah satu alasan utama rotasi dan penanaman varietas tahan merupakan pertimbangan penting. Sekali lagi, dalam situasi khusus ini, karat adalah pengecualian terhadap peraturan khusus ini.

3. Lingkungan

Lingkungan mungkin merupakan satu-satunya faktor yang paling membatasi perkembangan penyakit tanaman. Makanya sisi segitiga penyakit untuk faktor lingkungannya miring. Tanpa lingkungan yang kondusif, penyakit tanaman tidak akan terjadi. Dalam kebanyakan kasus, lingkungan yang kondusif melibatkan kelembaban tinggi, atau kelembaban bebas pada permukaan daun dalam bentuk embun serta suhu sedang. Kebanyakan jamur tidak menyukai suhu yang ekstrem. Namun, lingkungan harus tetap kondusif untuk jangka waktu tertentu agar penyakit terjadi. Waktu adalah komponen kunci yang kurang dalam segitiga penyakit tiga dimensi dan alasan untuk komponen keempat tambahan karena periode pemaparan yang

berkepanjangan antara host dan patogen di lingkungan yang kondusif akan diperlukan sebelum kejadian penyakit dan ekspresi gejala.



Gambar 3.5. Piramida penyakit empat dimensi dengan "waktu" ditambahkan. (Ristaino, 2002)

4. Waktu

Penyakit tidak terjadi seketika, bahkan dalam situasi dimana lingkungan yang kondusif tetap ada untuk jangka waktu yang lama. Waktu diperlukan agar patogen menginfeksi tanaman dan menghasilkan lesi yang khas serta menghasilkan sporulasi (tahap reproduksi aseksual). Suatu periode waktu yang lama juga dapat terjadi antara infeksi tanaman dan ekspresi gejala. Penyakit spesifik dimana hal ini cenderung cenderung terjadi antara lain hawar daun *Cercospora* dan karat kedelai.

Selain itu, dalam situasi penyakit tertentu, jangka waktu yang panjang mungkin diperlukan untuk infeksi, pengembangan penyakit, dan sporulasi lanjutan terjadi. Seperti yang saya katakan di atas, kejadian penyakit tidak seketika. Beberapa hari mungkin diperlukan untuk melewati beberapa tahap reproduksi.

Matakuliah ilmu penyakit tumbuhan telah memperkenalkan konsep segitiga penyakit tumbuhan (*plant disease triangle*). Menurut konsep ini, penyakit tumbuhan bisa berkembang hanya apabila tersedia patogen virulen, tanaman inang rentan, dan faktor lingkungan sesuai. Patogen virulen berarti patogen yang dapat menyebabkan penyakit, tanaman inang rentan berarti tanaman yang mudah menjadi sakit, dan faktor lingkungan sesuai berarti faktor lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan perkembangan penyakit. Bila satu di antara ketiga faktor tersebut tidak tersedia maka penyakit tidak bisa berkembang. Tapi bagaimana bila, misalnya saja, yang tersedia adalah patogen yang agak virulen, tanaman inang yang agak rentan, dan faktor lingkungan yang agak sesuai? Atau, bagaimana bila yang tersedia adalah patogen virulen, tanaman inang yang agak

virulen, dan faktor lingkungan yang kurang sesuai? Epidemiologi penyakit tumbuhan mempelajari pengaruh virulensi patogen, kerentanan tanaman inang, dan kesesuaian faktor lingkungan secara kuantitatif dengan menggunakan dukungan analisis statistika.

Virulensi patogen ditentukan oleh banyak faktor, antara lain oleh isolat patogen yang bersangkutan. Patogen mempunyai gen virulensi yang dapat berubah virulensinya melalui berbagai mekanisme sebagai bagian dari proses evolusi patogen. Pada pihak lain, ketahanan tanaman inang yang juga dikendalikan oleh gen dimanifestasikan antara lain sebagai ketahanan kultivar suatu spesies tanaman dan sebagai ketahanan yang berubah seiring dengan umur tanaman. Ketahanan tanaman dalam menghadapi infeksi oleh suatu patogen juga berkembang dengan mekanisme tertentu. Mekanisme virulensi patogen dan ketahanan tanaman dikendalikan melalui hubungan gen untuk gen (gene for gene relationship) sebagaimana telah dipelajari dalam ilmu penyakit tumbuhan sehingga tidak diuraikan lagi pada artikel ini. Bagi yang ingin memperbarui kembali pengetahuan mengenai hal ini, silahkan baca artikel mengenai

genetika populasi patogen tumbuhan yang disediakan oleh *American Phytopathological Society*. Tentu saja pada akhirnya interaksi antara virulensi patogen dan kerentanan tanaman akan dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Pada artikel ini akan dijelaskan pendekatan epidemiologis untuk mempelajari pengaruh virulensi patogen, ketahanan tanaman inang, dan pengaruh faktor lingkungan terhadap perkembangan penyakit tumbuhan.

Perlu dicatat bahwa dalam mempelajari pengaruh patogen, tanaman inang, dan faktor lingkungan dalam epidemiologi penyakit tumbuhan, yang dimaksud sebagai pengaruh patogen bukan hanya dibatasi pada virulensi dan yang dimaksud dengan pengaruh tanaman inang bukan hanya dibatasi pada kerentanan. Dalam mempelajari pengaruh patogen juga termasuk pengaruh padat populasi patogen dan dalam mempelajari pengaruh tanaman inang juga termasuk pengaruh padat populasi tanaman inang. Dalam mempelajari pengaruh faktor lingkungan, faktor lingkungan yang paling banyak dipelajari adalah faktor lingkungan cuaca, khususnya suhu, periode kebasahan permukaan, dan kelembaban nisbi udara.

Pengaruh patogen, tanaman inang, dan faktor lingkungan tersebut dapat dipelajari pada tataran proses monosiklik maupun pada tataran proses polisiklik. Mempelajari pengaruh pada tataran monosiklik berarti mempelajari pengaruh terhadap proses infeksi, sporulasi, atau pemencaran patogen. Mempelajari pengaruh tataran polisiklik berarti mempelajari pengaruh terhadap laju perkembangan penyakit, baik laju perkembangan penyakit dalam waktu maupun laju perkembangan penyakit dalam ruang.

Analisis statistik yang digunakan untuk mempelajari pengaruh patogen, tanaman inang, dan faktor lingkungan tersebut bergantung pada karakteristik variabel yang dipelajari, apakah merupakan variabel diskret atau variabel kontinyu. Isolat patogen dan kultivar tanaman inang merupakan contoh variabel diskret, sedangkan padat populasi patogen serta padat populasi dan umur tanaman inang merupakan variabel kontinyu. Faktor lingkungan suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban udara nisbi masing-masing merupakan variabel kontinyu. Untuk mempelajari pengaruh variabel diskret digunakan analisis ragam (*analysis of variance, anova*),

sedangkan untuk mempelajari pengaruh variabel kontinyu digunakan analisis regresi (*regression analysis*). Analisis ragam digunakan untuk menganalisis perbedaan pengaruh isolat patogen dalam menimbulkan penyakit pada kultivar tanaman tertentu dan untuk menganalisis perbedaan reaksi berbagai kultivar tanaman inang terhadap isolat patogen tertentu. Tetapi analisis ragam biasanya digunakan bila jumlah isolat patogen atau jumlah kultivar tanaman inang tidak terlalu banyak. Bila jumlah isolat patogen atau jumlah kultivar tanaman inang yang dipelajari sangat banyak maka penggunaan analisis ragam tidak banyak membantu. Sebagai alternatif, digunakan teknik analisis kelompok multivariat (*cluster analysis*). Analisis regresi digunakan untuk mempelajari pengaruh padat populasi patogen, padat populasi tanaman inang, umur tanaman inang, suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban nisbi udara.

Hasil penelitian Kema et al. (1996) mengenai interaksi antara isolat patogen dan kultivar tanaman inang pada patosistem gandum *Mycosphaerella graminicola* merupakan contoh yang baik mengenai analisis data pengaruh isolat patogen dan pengaruh kultivar tanaman inang. Mereka

menggunakan analisis peragam (*analysis of covariance*, ancova) dan analisis kelompok (*cluster analysis*) untuk menganalisis interaksi antara virulensi isolat *Mycosphaerella graminicola*, jamur penyebab penyakit leaf blotch pada gandum dan ketahanan tanaman kultivar gandum (*Triticum sativum* dan *T. durum*) terhadap keberadaan gejala nekrosis dan keberadaan piknidia. Dengan menggunakan teknik analisis tersebut, mereka menemukan bahwa interaksi antara isolat patogen dan kultivar inang dikendalikan melalui hubungan gen untuk gen (*gen for gen relationship*) dan bahwa mekanisme hubungan tersebut berlangsung dengan menggunakan mekanisme yang berbeda dalam mengendalikan perkembangan nekrosis dan pembentukan piknidia. Hasil penelitian ini merupakan contoh analisis pengaruh virulensi patogen dan ketahanan inang pada tataran proses monosiklik. Analisis pada tataran polisiklik dapat dilakukan terhadap data hasil pengamatan terhadap perkembangan nekrosis dari waktu ke waktu. Tentu saja analisis pengaruh isolat patogen dan kultivar inang tidak selalu harus dilakukan dengan menggunakan teknik analisis serumit teknik yang digunakan di atas. Analisis sederhana dapat dilakukan

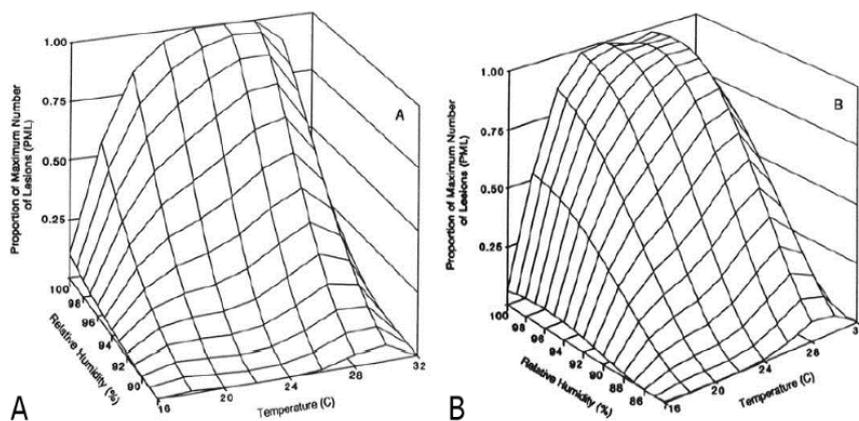
dengan menggunakan analisis ragam maupun analisis kelompok, misalnya untuk mengevaluasi virulensi berbagai isolat patogen terhadap kultivar tanaman tertentu dan untuk menganalisis reaksi berbagai kultivar tanaman terhadap isolat patogen tertentu. Analisis regresi dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh padat populasi patogen tertentu terhadap perkembangan penyakit pada tanaman tertentu atau untuk menganalisis pengaruh umur-umur tanaman inang tertentu terhadap perkembangan penyakit tertentu.

Pengaruh faktor lingkungan yang paling banyak diteliti adalah pengaruh suhu dan pengaruh periode kebasahan permukaan daun (*leaf wetness periode*). Pengaruh suhu sangat penting mengingat setiap organisme, termasuk patogen, mempunyai suhu kardinal (minimum, optimum, dan maksimum) untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Pada pihak lain, pengaruh periode kebasahan permukaan daun penting karena untuk berkecambah, inokulum sebagian besar patogen golongan jamur memerlukan keberadaan lapisan tipis air pada permukaan daun. Pengaruh suhu dan periode kebasahan permukaan daun tersebut dapat dianalisis secara

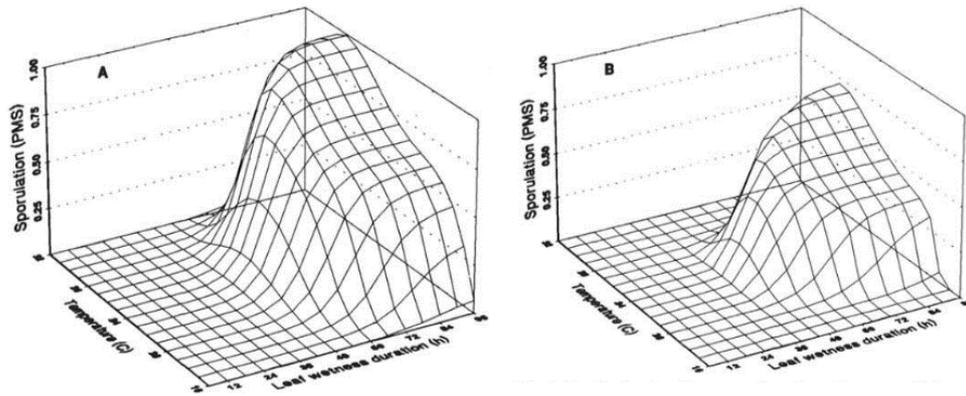
sendiri-sendiri atau secara bersamaan sebagai interaksi antara dua faktor. Untuk menganalisis pengaruh suhu dan periode kebasahan permukaan daun tersebut digunakan teknik analisis regresi, baik dengan menggunakan persamaan polinomial biasa maupun dengan menggunakan model tertentu. Sebagai contoh, Carisse & Kushalappa (1992) menganalisis pengaruh suhu, kebasahan permukaan daun terinterupsi dan kontinyu, dan kelembaban nisbi udara terhadap infeksi dan Carisse et al. (1993) menganalisis pengaruh suhu, periode kebasahan permukaan daun, kelembaban udara nisbi tinggi terhadap sporulasi jamur *Cercospora carotae* pada tanaman wortel.

Untuk memodelkan pengaruh suhu, kebasahan permukaan daun terinterupsi dan kontinyu, dan kelembaban nisbi udara terhadap infeksi, Carisse & Kushalappa (1992) mencoba menganalisis persamaan regresi polinomial. Model yang mereka peroleh menunjukkan bahwa infeksi oleh jamur *Cercospora carotae* pada tanaman wortel dipengaruhi oleh suhu, kebasahan permukaan daun awal, dan kelembaban udara nisbi dengan persamaan polinomial interaksi antara suhu dan kelembaban nisbi udara yang berbeda untuk infeksi dengan dan tanpa

periode awal kebasahan daun. Untuk memodelkan pengaruh suhu, periode kebasahan permukaan daun, kelembaban udara nisbi tinggi terhadap sporulasi, Carisse et al. (1993) mencoba menyuai persamaan logistik non-linier dan persamaan regresi polinomial. Keduanya dapat menghasilkan model yang dapat menjelaskan pengaruh suhu, periode kebasahan permukaan daun, kelembaban udara nisbi tinggi terhadap sporulasi, tetapi model regresi polinomial menghasilkan pengaruh yang lebih tinggi untuk suhu 16 dan 32°C. Pengaruh terhadap infeksi dan sporulasi tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.6. Hubungan antara proporsi jumlah bercak maksimum penyakit bercak daun *Cercospora carotae* pada tanaman wortel dengan suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban udara nisbi. Kiri: tanpa periode kebasahan daun dan kanan: dengan periode kebasahan daun. (Leach, 2014)



Gambar 3.7. Kurva tiga dimensi hubungan antara sporulasi *Cercospora carotae* pada tanaman wortel dengan suhu, periode kebasahan daun, dan kelembaban nisbi tinggi. Kiri: pada kondisi awal kebasahan daun dan kanan: pada kondisi awal kelembaban udara 96%. (Leach, 2014)

Pengamatan terhadap suhu lazimnya dilakukan setiap selang waktu tertentu, padahal pengaruh suhu berlangsung secara kontinyu. Misalnya, pengaruh suhu diamati sebagai suhu maksimum dan minimum dalam satu hari, padahal sebenarnya pengaruh suhu berlangsung secara terus menerus setiap jam, menit, dan detik. Dengan demikian, menggunakan data suhu hasil pengamatan hanya pada jam-jam tertentu menjadi tidak realistis. Untuk mengatasi masalah ini, sebelum digunakan dalam analisis untuk mengetahui pengaruh suhu, data suhu biasanya terlebih dahulu dianalisis untuk menentukan:

- Perubahan suhu harian (*daily course of temperature*), dihitung dengan menggunakan persamaan $T_i =$

$[(T_{\text{mak}}+T_{\text{min}})/2] + [(T_{\text{mak}}-T_{\text{min}})/2]*\sin(a*\text{RAD}_i + b)$, di mana T_i =suhu pada jam ke- i , T_{mak} =suhu maksimum, T_{min} =suhu minimum, a dan b =tetapan, dan RAD_i =radian.

- Frekuensi suhu (*frequency of temperature*), merupakan jumlah satuan waktu dengan suhu rata-rata tertentu yang dilalui oleh suatu t dengan suhu dalam Δ proses, dihitung sebagai jumlah satuan waktu kisaran T_1 - T_2 selama selang waktu t .
- Jumlah suhu (*temperature sums*), dihitung sebagai derajat hari (*degree days, DD*) atau derajat jam (*degree hours, DH*) dengan menggunakan persamaan $\text{DD/DH} = \sum\{[(T_{\text{mak}}+T_{\text{min}})/2] - T_{\text{acuan}}\}$, di mana T_{mak} dan T_{min} =suhu maksimum dan minimum berlangsungnya suatu proses dan T_{acuan} =suhu minimum yang memungkinkan suatu proses dapat berlangsung.
- Fungsi tanggapan suhu (*temperature response function*), ditentukan di antaranya dengan menggunakan model BETE: $Y=[p*X^n(1-X)^m]$, di mana $X=[(T_i-T_{\text{min}})/(T_{\text{mak}}-T_{\text{min}})]$, p =faktor proporsional sehingga laju proses menjadi bernilai 1 pada suhu optimum, serta m dan n =parameter bentuk kurva.

Persamaan BETE dapat dilinierkan menjadi $\ln(Y) = b_0 + b_1\ln(X) + b_2\ln(1-X)$.

Untuk melihat pengaruh suhu, periode kebasahan permukaan daun, dan kelembaban nisbi udara pada tataran polisiklik, data suhu (atau data suhu setelah dianalisis sebagaimana tersebut di atas), periode kebasahan permukaan daun, atau kelembaban nisbi udara atau ketiga-tiganya sekaligus dapat diregresikan terhadap parameter perkembangan penyakit (LDBK atau laju intrinsik perkembangan penyakit). Misalnya, bila pengamatan penyakit dilakukan dalam wilayah yang luas, data suhu dan kelembaban udara nisbi dapat diperoleh dari stasiun cuaca terdekat (biasanya di ibukota kecamatan terdapat stasiun cuaca). Data suhu juga dapat diaproksimasi dengan menggunakan data ketinggian tempat yang dapat diukur dengan menggunakan altimeter. Data suhu atau ketinggian tempat dapat terlebih dahulu dianalisis dengan menggunakan jumlah suhu atau fungsi tanggapan suhu. Hasil analisis data suhu atau ketinggian tempat tersebut kemudian digunakan untuk memodelkan LDBK atau laju intrinsik

perkembangan penyakit r dalam bentuk fungsi $LDBK/r = f$ (suhu, kelembaban nisbi udara).

Analisis data yang kompleks untuk menentukan pengaruh virulensi patogen, kerentanan inang, dan kesesuaian faktor lingkungan tentu saja memerlukan program aplikasi statistika. Kema *et al.* (1996), Carisse & Kushalappa (1992), dan Carisse *et al.* (1993) menggunakan program aplikasi statistika SAS untuk menganalisis data mereka. Mereka dapat menggunakan program aplikasi statistika yang mahal tersebut karena universitas tempat mereka bekerja menyediakannya dengan cara membayar lisensi institusi. Untuk universitas-universitas di negara-negara berkembang hanya dapat menggunakan program aplikasi yang tersedia gratis, di antaranya R.

D. Dasar penyakit tanaman: Segitiga penyakit tanaman

Penyakit tanaman dapat dianalisis dengan menggunakan konsep yang disebut 'Disease Triangle'. Hal ini menempatkan tiga faktor yang menyebabkan penyakit tanaman pada tiga sudut segitiga. Ketiga faktor tersebut adalah:

- Host yang rentan

- Pathogen
- Lingkungan yang menguntungkan untuk penyakit

Tuan rumah adalah tanaman itu sendiri. Beberapa bisa menjadi korban banyak penyakit, yang lain hanya menderita penyakit tertentu. Jadi semua tanaman memiliki berbagai kerentanan terhadap berbagai penyakit. Patogen adalah penyakitnya. Penyakit tanaman paling sering disebabkan oleh jamur tapi ada beberapa bakteri patogen tanaman dan virus.

Tanpa host yang tepat dalam kondisi yang tepat, patogen tidak membahayakan. Beberapa patogen spesifik hanya untuk satu atau beberapa tanaman inang, ada pula yang memiliki kemampuan luas untuk menyerang hampir semua hal. Lingkungan yang menguntungkan pada dasarnya berarti kondisi cuaca yang dibutuhkan patogen untuk berkembang, ini adalah poin penting dan merupakan lingkungan yang tidak menguntungkan bagi tanaman.

Penyakit terjadi ketika ketiga hal tersebut terjadi secara simultan. Jika satu atau lebih faktor tidak ada, maka penyakit tidak akan terjadi. Segitiga penyakit ini mungkin pertama kali dikenali pada awal abad ke-20 dan telah menjadi salah satu

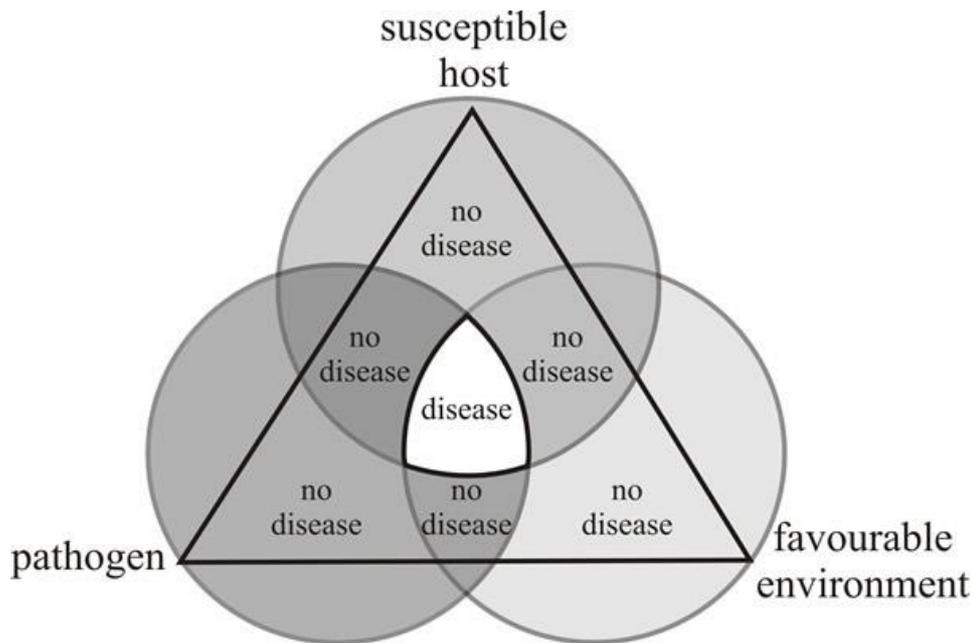
paradigma patologi tanaman. Ini memegang posisi dalam patologi tanaman yang mirip dengan yang dipegang oleh Hukum Ohm (yang menghubungkan arus, hambatan, dan voltase) dalam rekayasa listrik dan elektronik.

Ini adalah paradigma karena terjadinya suatu penyakit yang disebabkan oleh agen biologis mutlak membutuhkan interaksi dari host yang rentan dengan patogen yang mematikan dalam kondisi lingkungan yang menguntungkan untuk perkembangan penyakit. Mekanisme yang berkontribusi terhadap patogenesis semuanya dapat dianggap memodifikasi segitiga penyakit dengan mengurangi atau menghilangkan salah satu sudut segitiga. Contoh (dari antara banyak) meliputi:

- Kurangnya pertahanan host
- Penyebaran spora yang efisien oleh patogen
- Kondisi cuaca yang mendukung produksi spora
- Metode pengendalian penyakit (lagi dari antara banyak)

meliputi:

- berkembang biak untuk ketahanan di inang,
- mengaplikasikan pestisida untuk menghambat patogen,
- irigasi untuk meringankan tekanan air



Gambar 3.8. Segitiga Penyakit. (Newton, 2012)

Segitiga penyakit menggambarkan fenomena penyakit tanaman dengan tiga faktor penting (host yang rentan, lingkungan yang menguntungkan untuk penyakit, dan patogen). Variasi 'kekuatan' kontribusi faktor-faktor ini terhadap hubungan ('kekuatan' ditunjukkan oleh ukuran lingkaran) secara kuantitatif akan mengubah tingkat keparahan penyakit, yang akan ditunjukkan oleh perubahan di area pusat penyakit. Diagram ini dimaksudkan untuk digunakan secara dinamis. Segitiga penyakit statis memungkinkan ilustrasi kontinum reaksi inang dari kerentanan menyeluruh terhadap kekebalan, dan tingkat virulensi patogen, dan kesesuaian lingkungan untuk penyakit. Jika salah satu elemen dikurangi menjadi nol, segitiga

berubah menjadi garis dan area yang diduduki oleh penyakit runtuh menjadi nol. Perubahan yang kurang dramatis dalam faktor apapun mengubah area envelope penyakit pusat yang merupakan indikator intensitas penyakit (kejadian atau tingkat keparahan). Sebagai contoh, host dengan beberapa tingkat resistensi akan memiliki lingkaran kerentanan yang lebih kecil, dan akibatnya daerah yang lebih rendah tumpang tindih dan penyakit yang kurang parah. Contoh lain bisa menjadi patogen dengan virulensi yang sangat meningkat, yang akan ditunjukkan sebagai lingkaran patogen yang lebih besar dan akibatnya lebih luas tumpang tindih dan penyakit yang lebih parah.

Biasanya disebutkan bahwa hubungan segitiga ini unik karena patogen tanaman dengan imobilitas tanaman mencegahnya keluar dari lingkungan yang tidak ramah, tanaman memiliki sedikit kapasitas penyimpanan panas dan oleh karena itu tahan pada tekanan suhu lebih banyak daripada hewan (bahkan hewan poikilothermic dapat 'berjemur di Matahari' atau beristirahat di tempat teduh yang sesuai), dan sistem kekebalan tubuh dari vertebrata memainkannya dengan mekanisme yang canggih untuk mengenali dan menetralkan

patogen. Selain itu, dominasi jamur dalam menyebabkan penyakit tanaman memperkuat keunikan segitiga penyakit tanaman karena jamur juga sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Namun, hubungan segitiga ini hanya unik untuk tanaman jika Anda mengabaikan fakta bahwa anggota kerajaan Jamur juga menderita penyakit, dan tingkat keparahan penyakit itu juga bergantung pada tiga faktor penting: host yang rentan dalam lingkungan yang menguntungkan penyakit yang ditantang oleh Ppatogen jahat.

Beberapa ahli patologi tanaman menyarankan untuk menguraikan segitiga penyakit dengan menambahkan parameter tambahan, seperti aktivitas manusia, vektor penyakit, dan waktu. Manusia berkontribusi terhadap penyakit segitiga karena aktivitas manusia di bidang pertanian sangat meresap dan, jika Anda memikirkannya, dampak pada ketiga faktor yang telah dibahas, sehingga sangat mempengaruhi kejadian dan tingkat keparahan penyakit tanaman. Ini berarti bahwa manusia sudah terwakili secara implisit dalam konfigurasi segitiga dasar dan ini adalah argumen utama

melawan aktivitas manusia sebagai simpul baru dalam 'kotak penyakit.

Hewan dan vektor lainnya tidak penting untuk semua penyakit tanaman meskipun mereka memainkan peran penting dalam banyak penyakit. Karena itu, vektor hanya bernilai termasuk dalam kasus-kasus khusus tersebut, di mana hubungan segitiga dapat dimodifikasi dengan menempatkan vektor pada sisi segitiga penyakit yang menghubungkan inang dan patogen, pengaturan ini menekankan ketergantungan patogen pada vektornya.

Waktu adalah dimensi penting dan telah ditambahkan pada segitiga penyakit oleh beberapa penulis, terutama untuk menyampaikan gagasan bahwa onset dan intensitas penyakit dipengaruhi oleh durasi bahwa tiga faktor utama selaras. Beberapa durasi kesesuaian yang baik diperlukan agar penyakit terjadi, namun lamanya waktu bergantung pada tingkat analisis Anda. Peristiwa fisiologis di inang yang menentukan infeksi bisa terjadi dalam hitungan menit atau jam. Gejala penyakit di lapangan bisa memakan waktu sehari-hari atau berminggu-minggu untuk muncul. Menunjukkan waktu sebagai dimensi

pada segitiga (mungkin mengubahnya menjadi piramida) bisa menjadi penyesuaian diagram yang lebih realistis.

E. Pengaruh Waktu Terhadap Segitiga Penyakit

Menghindari pertemuan berbahaya antara host, patogen, dan lingkungan berarti menyadari bahwa setiap faktor berubah dari waktu ke waktu. Hal ini dapat berguna untuk memikirkan dimensi ketiga dimana segitiga penyakit berlapis seiring musim tanam berlangsung.

Misalnya, bahkan jika seseorang memiliki kultivar yang dapat terinfeksi oleh patogen yang terjadi secara lokal, hanya perlu memisahkannya bila lingkungan menguntungkan untuk penyakit. Dengan demikian, menanam blewah di North Carolina sehingga spora patogen, yang meniup dari selatan, tidak ada sampai panen lebih tua dan kurang rentan, dapat membantu mencegah embun tepung.

Beberapa faktor penting yang berkaitan dengan elemen waktu adalah masa laten dan masa infeksi. Bila tanaman telah terinfeksi namun tidak memiliki gejala, penyakitnya laten dan tidak dapat diamati, tetapi hanya masalah waktu sebelum

penyakit terjadi, diikuti banyak patogen pada periode ketika inokulum tambahan (seperti spora) diproduksi dan dapat disebarkan ke host lain untuk memulai infeksi baru. Masa infeksi ini penting, karena beberapa mungkin terjadi pada tanaman dalam satu musim, menciptakan pertumbuhan eksponensial pada penyakit ini. Setiap spora dapat menghasilkan lesi yang sendirinya membuat ribuan spora baru, masing-masing menciptakan infeksi serupa, dan seterusnya sampai tidak ada jaringan sehat yang tersisa untuk menginfeksi!

Dengan demikian kita memiliki epidemi, dan studi tentang penyebaran penyakit ini disebut epidemiologi. Ini dapat dipelajari pada skala dari tingkat lapangan selama satu musim, seperti bintik daun awal kacang dalam plot di North Carolina. Atau dapat dipelajari di wilayah geografis yang jauh lebih luas dan dalam jangka waktu yang lebih lama, seperti penyakit penyakit *beech-bark* yang menyebar dari bagian Maine yang terisolasi pada tahun 1935 sampai ke seluruh Timur Laut dan sebagian Michigan dan Tennessee pada tahun 2001.

Salah satu contoh epidemi bencana yang paling terkenal di mana unsur-unsur segitiga penyakit bersatu dalam "badai

badai" langka adalah kelaparan kentang Irlandia pada tahun 1845-1846. Epidemi yang kurang terkenal namun sama-sama mengubah sejarah termasuk bintik coklat beras di Bengal pada tahun 1943, yang menewaskan lebih dari dua juta orang, atau wabah karat kopi pada tahun 1869, yang menggeser industri kopi dari Asia selatan ke Amerika Selatan dan memaksa Inggris masuk ke dalam Budaya minum teh.

F. Kelaparan kentang asal Irlandia

Terdapat beberapa contoh pertemuan antara host, patogen, dan lingkungan yang sama menariknya dengan kelaparan kentang Irlandia pada tahun 1845-46. Itu adalah patologi tanaman yang setara dengan "badai yang sempurna." Meskipun bahan kimia tidak digunakan saat itu, praktik kultur kentang jauh dari organik, penyimpangan tertentu adalah kurangnya keanekaragaman hayati.

Host ada di mana-mana, karena populasi, kemiskinan, dan penindasan yang melonjak menciptakan ketergantungan total pada kentang produktif dan bergizi di antara petani. Selanjutnya, tanaman itu sangat seragam secara genetis, semua

bahan tanam berasal dari beberapa umbi yang diimpor dari Amerika Selatan pada tahun 1600-an dan diperbanyak secara vegetatif. Ini memberikan sedikit variasi dalam ketahanan terhadap patogen - semuanya rentan secara seragam.

Patogen, *Phytophthora infestans*, hadir dalam tumpukan dan puing-puing karena sanitasi yang buruk dan sedikit pemahaman tentang biologi. Tingkat penyakit yang rendah yang diakibatkannya, penyakit daun busuk, mungkin sebagian besar tidak diperhatikan di latar belakang, bahkan di awal epidemi.

Kunci dari bencana tersebut adalah cuaca sejuk dan basah yang terjadi tepat pada waktu yang tepat untuk pengembangan penyakit dan infeksi di beberapa daerah. Sayangnya hal itu terulang pada tahun 1846, sehingga bidang yang terhindar pada tahun 1845, menyerah pada tahun 1846.

Pada akhirnya, setidaknya satu juta orang Irlandia meninggal dan dua juta bermigrasi ke tempat-tempat seperti A.S., Kanada, dan Australia untuk mencari kehidupan baru. Hari ini kita memiliki pemahaman yang jauh lebih baik tentang penyakit busuk daun kentang dan bagaimana mengendalikannya, namun tetap menjadi salah satu penyakit

terpenting dan mahal di seluruh dunia. Sekarang seperti pada tahun 1865, kita terus menemukan pertemuan tuan rumah, patogen, dan lingkungan yang sempurna.

G. Bekerja dengan berdasarkan Segitiga Penyakit

Dua hal tersirat dalam pendekatan berbasis segitiga penyakit ini. Pertama, pencegahan penyakit sebelum mendapat pijakan sejauh ini adalah cara termudah untuk mengelola tanaman Anda. Terapi, atau pengobatan setelah patogen telah memantapkan dirinya dan Anda dapat melihat tanda dan gejalanya, mahal dan seringkali tidak efektif, bahkan dalam sistem konvensional. Kedua, pengetahuan tentang patogen yang mungkin dihadapi di pertanian tertentu, serta nuansa tanah dan cuaca di sana, memungkinkan seorang petani untuk menyesuaikan strategi yang akan menggagalkan pertemuan tuan rumah, patogen, dan lingkungan yang ditakuti.

Strategi apa yang tersedia untuk mengelola penyakit secara organik? Kita dapat mempertimbangkan pilihan sesuai dengan kerangka waktu di mana petani harus memikirkan dan menerapkannya.

- Strategi jangka panjang terjadi selama beberapa tahun, seperti pemilihan lokasi, pemilihan sistem irigasi, dan perencanaan sistem tanam (rotasi, tutupan tanaman pangan, dll.).
- Strategi jangka menengah adalah kegiatan pra musim seperti pilihan kultivar, sanitasi, dan waktu dan pola tanam
- Strategi jangka pendek dapat ditentukan dan diterapkan selama musim tanam, seperti semprotan fungisida, mulsa dan waktu irigasi.

Cara utama untuk menentukan penyakit apa pun adalah dengan memberi nama patogen atau agen yang secara negatif mempengaruhi kesehatan organisme inang. Penanda penyakit lain yang diasumsikan, namun sering diabaikan, adalah lingkungan, yang mencakup efek fisik dan sosial yang merugikan pada umat manusia. Segitiga penyakit adalah model konseptual yang menunjukkan interaksi antara lingkungan, pembawa acara dan agen infeksius (atau abiotik). Model ini dapat digunakan untuk memprediksi hasil epidemiologi kesehatan tanaman dan kesehatan masyarakat, baik di masyarakat lokal maupun global. Di sini, kelaparan kentang Irlandia pada pertengahan abad

kesembilan belas digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan bagaimana segitiga penyakit, yang pada awalnya dirancang untuk menafsirkan hasil penyakit tanaman, dapat diterapkan pada kesehatan masyarakat. Secara paralel, malaria digunakan untuk membahas peran lingkungan dalam penularan dan pengendalian penyakit. Dalam kedua contoh, segitiga penyakit digunakan sebagai alat untuk membahas parameter yang mempengaruhi hasil sosioekonomi sebagai hasil interaksi host-patogen yang melibatkan tanaman dan manusia.

BAB 4

Penerapan Konsep Segitiga Penyakit

Penerapan konsep segitiga penyakit dapat dilakukan dengan melaksanakan penelitian dimana peneliti mengukur mengenai pengaruh unsur-unsur iklim terhadap perkembangan suatu penyakit, juga dapat dengan melihat pengaruh inang dengan memperhatikan varitas-varitas inang yang akan berpengaruh terhadap perkembangan penyakit. Penjelasan berikut merupakan hasil penelitian mengenai perkembangan pathogen *P. oryzae* penyebab penyakit Blast pada beberapa varietas padi yaitu Inpari7, Ciherang dan Cibogo.

A. Ketahanan Inang

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap perkembangan intensitas serangan patogen *P. oryzae* pada varietas Inpari7, Ciherang dan Cibogo tiap minggunya diperoleh hasil bahwa penggunaan varietas yang berbeda

berpengaruh terhadap tingkat serangan patogen *P. oryzae* pada daun dari pengamatan selama 12 minggu. Varietas yang paling tahan terhadap laju infeksi penyakit blast adalah varietas Ciherang dan varietas yang paling rentan adalah varietas Inpari7 dan Cibogo. Pada varietas Ciherang serangan terjadi pada minggu ke 4 dengan intensitas serangan 3% dan terus meningkat perkembangan laju infeksi penyakit blast sampai 23,4% sampai minggu ke 12. Varietas Ciherang masih memiliki ketahanan terhadap serangan patogen *P. oryzae* walaupun jenis padi ini dari golongan tidak berbulu dan anakan produktif yang sedikit dimana spora lebih mudah melakukan sporulasi pada permukaan daun tapi dengan pengaturan jarak tanam yang baik dapat memiliki ketahanan terhadap penyakit blast. Penyakit tanaman muncul karena adanya pengaruh lingkungan, praktek budidaya dapat menimbulkan penyakit maka pada daun akan tampak bintik kecil yang lama kelamaan membesar menyerupai jajaran genjang.

B. Pengaruh Lingkungan

Laju infeksi penyakit blast pada varietas Inpari7 dan Cibogo lebih rentan bahwa pada minggu 1 setelah tanam, tanaman menunjukkan adanya serangan penyakit sebesar 5% dan 3,6% dan terus meningkat sampai minggu ke 12 menjadi 82,1% dan 56,6%. Perkembangan penyakit yang sangat tinggi dikarenakan kondisi tanaman yang semakin rapat menimbulkan tingkat kelembapan yang semakin tinggi yang mendukung perkembangan penyakit semakin cepat melakukan pembentukan apresoria. Selain itu kondisi sawah yang jarang tergenang air atau kekurangan air karena merupakan sawah tadah hujan serta pH tanah yang masam mendorong perkembangan penyakit. *P. oryzae* muncul pada pertanaman yang kekurangan air. Perkembangan laju infeksi penyakit blast pada 1-12 minggu setelah tanam.

Selanjutnya penerapan segitiga penyakit pada penelitian juga dapat dilakukan dengan melihat pengaruh unsur-unsur iklim terhadap perkembangan penyakit.

Penyakit tanaman muncul karena adanya varietas yang peka terhadap patogen dan peka terhadap pengaruh faktor

suhu. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Kecamatan Samarinda Utara laju infeksi penyakit blast pada varietas Inpari7 dan Cibogo pada suhu 22,3⁰C – 35,6⁰C dimulai pada saat pengamatan minggu ke 2 . Pada varietas Ciherang laju infeksi penyakit blast blast pada suhu 22,3⁰C-29,4⁰C dimulai pada saat pengamatan minggu ke 4 baru menunjukkan gejala penyakit. Semakin rendah suhu setiap minggunya maka semakin besar laju infeksi penyakit blast.

Perbedaan perkembangan laju infeksi penyakit blast dapat dipengaruhi oleh ketahanan varietas padi yang berbeda terhadap penyakit serta pengaturan jarak tanam yang berbeda-beda sehingga jarak tanam padi yang semakin rapat maka kelembapan tinggi sehingga memicu perkembangan penyakit blast. Perkembangan penyakit blast yang dipengaruhi oleh kelembapan dapat disimpulkan bahwa kelembapan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap laju infeksi penyakit blast pada beberapa varietas padi. Demikian pula pengaruh laju infeksi penyakit blast pada daun varietas Inpari, Ciherang dan Cibogo yang dipengaruhi oleh faktor curah hujan. Curah hujan selama penelitian di Kecamatan Samarinda Utara berkisar 7mm

- 93mm. Perbedaan laju infeksi penyakit blast varietas Inpari7, Ciherang dan Cibogo dapat dipengaruhi oleh ketahanan varietas padi yang berbeda, laju infeksi penyakit blast varietas Ciherang dimulai pada minggu ke 4 lebih lambat dibandingkan varietas Inpari7 dan Cibogo yang sudah muncul gejalanya diminggu ke 1. Semakin sering hujan maka semakin besar perkembangan laju infeksi penyakit blast karena dapat meningkatkan kelembapan udara. Curah hujan yang tinggi dan kelembapan yang tinggi merupakan faktor pemicu serangan penyakit *P. Oryzae*.

Berdasarkan hasil penelitian faktor iklim (suhu, kelembapan dan curah hujan) di Kecamatan Samarinda Utara diperoleh hasil bahwa pada varietas Inpari7 dan Cibogo laju infeksi penyakit blast lebih tinggi bila dibandingkan dengan varietas Ciherang. Perbedaan laju infeksi penyakit blast dapat dipengaruhi oleh ketahanan varietas padi yang berbeda terhadap penyakit bisa dilihat dari umur tanaman pada saat terinfeksi penyakit. Varietas Ciherang termasuk varietas yang tahan terhadap serangan patogen *P. oryzae* bila dibandingkan dengan varietas Inpari7 dan Cibogo dikarenakan pada varietas Ciherang patogen menyerang pada saat tanaman sudah

berumur tua dimana kandungan silika sudah relatif tinggi. Kepekaan daun padi terhadap infeksi *P. oryzae* berhubungan dengan kandungan silika pada dinding sel epidermis daun. Semakin rendah suhu serta semakin tinggi kelembapan dan curah hujan semakin tinggi dapat mempengaruhi tingginya laju infeksi penyakit blast. Kelembapan, suhu dan curah hujan yang berlebihan, berlangsung lama atau terjadi berulang kali, baik dalam bentuk hujan, embun atau kelembapan relatif merupakan faktor yang sangat membantu perkembangan penyakit.

C. Perkembangan Patogen

Perkembangan penyebab penyakit atau patogen dapat dilihat dari gejala yang timbul pada tanaman yang diserang. Untuk lebih spesifiknya yang dipaparkan berikut adalah penelitian mengenai perkembangan bercak yang disebabkan oleh cendawan *Pyricularia oryzae* pada beberapa varietas tanaman padi.

Cendawan *Pyricularia oryzae* membentuk bercak pada tanaman padi, bentuk khas dari bercak blast daun secara morfologi adalah belah ketupat dengan 2 ujungnya kurang lebih

runcing. Bercak yang telah berkembang bagian tepi berwarna coklat berwarna hijau gelap, abu-abu sedikit kebiru-biruan. Bercak ini terus membesar pada varietas yang rentan khususnya bila dalam keadaan yang lembab. Bercak yang telah berkembang penuh mencapai panjang 1-2,2 cm dan lebar 0,3-0,7 cm dengan tepi berwarna coklat. Bercak pada daun yang rentan tidak membentuk tepi yang jelas. Bercak tersebut dikelilingi oleh warna kuning (halo area) terutama pada lingkungan yang lembab, selain itu perkembangan bercak juga di pengaruhi oleh kerentanan varietas dan umur bercak itu sendiri. Bercak tidak akan berkembang dan tetap seperti titik kecil pada varietas yang tahan. Hal ini karena proses perkembangan konidia dan cendawan *P. oryzae* dalam jaringan inangnya terhambat. Bercak akan berkembang sampai beberapa millimeter berbentuk bulat dan elips dengan tepi berwarna coklat pada varietas. Varietas yang peka dan kondisi lembab bercak berkembang terus hingga mencapai 1-1,5cm dan lebar 0,3-0,5cm dengan tepi berwarna coklat tidak membentuk tepi yang jelas dan dikelilingi oleh warna kuning pucat, sedangkan bercak pada varietas yang tahan tidak berkembang dan tetap seperti titik kecil.

Pada lingkungan kondusif blast daun dapat menyebabkan kematian keseluruhan tanaman varietas rentan yang masih muda sampai stadia anakan. Bila bercak hanya berupa titik sebesar ujung jarum dan tidak berkembang lagi, berarti bercak hanya berupa titik sebesar ujung jarum dan tidak berkembang lagi. Berarti varietas yang terserang tersebut sangat tahan. Perbedaan bentuk, warna, dan ukuran dari bercak digunakan untuk membedakan ketahanan varietas.



Gambar 4.1. Pengamatan serangan patogen *Pyricularia oryzae* di Lapangan (a) Bercak daun berupa titik pada varietas Ciherang, (b) Bercak daun tidak membentuk tepi yang jelas pada varietas Inpari7 dan (c) kematian keseluruhan tanaman varietas rentan (Inpari7)

Penyakit tanaman muncul karena adanya varietas yang peka terhadap patogen dan peka terhadap pengaruh faktor iklim, praktek budidaya yang dapat menimbulkan penyakit pada daun akan tampak gejala seperti bintik-bintik kecil yang lama kelamaan membesar berbentuk belah ketupat. Pada varietas

Inpari7 dan Cibogo perkembangan laju luas bercak penyakit blast lebih cepat bila dibandingkan dengan varietas Ciherang. Perbedaan perkembangan laju luas bercak penyakit blast pada daun dapat dipengaruhi oleh ketahanan varietas masing-masing yang berbeda terhadap penyakit. Varietas Ciherang termasuk varietas yang tahan terhadap serangan patogen *P. oryzae* yang memiliki luas bercak yang paling lambat perkembangannya.

Faktor iklim terhadap penyakit blast (*Pyricularia oryzae*) pada beberapa varietas padi sawah (*Oryza sativa*), dapat disimpulkan bahwa faktor kelembapan merupakan faktor yang paling dominan terhadap jumlah spora *P. Oryzae*. Varietas padi yang paling tahan terhadap penyakit blast adalah varietas Ciherang dibandingkan dengan varietas Inpari7 dan Cibogo. Pemahaman siklus penyakit dan segitiga penyakit sangat penting dalam memberikan kontribusi terhadap wacana keilmuan dalam perlindungan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. Academic Press, New York. 803 pages.
- Alemu,K. 2015. The Role and Application of Bioinformatics in Plant Disease Management. Adv. Lif. SciTech., p.28.
- Bostock, R.M., Pye, M.F., Roubtsova,T.V. 2014. Predisposition in Plant Disease: Exploiting the nexus in abiotic and biotic stress perception and response. Annu. Rev. Phytopathol., 52, 517–549.
- Ellis SD, Boehm MJ, and Coplin D. 2008. Bacterial Diseases of Plants. Fact Sheet Agriculture and Natural Resources, Department of Plant Pathology, Ohio State University. PP-401.06
- Fry, W. E. 1982. Principles of Plant Disease Management. Academic Press, New York, NY. 378 pages
- Holdenrieder, O., Pautasso, M., Weisberg, P.J., Lonsdale, D. 2004. Tree diseases and landscape processes: The challenge of landscape pathology. Trends Ecol. Evol., 19, 446–452
- Lannou,C.2012.Variation and Selection of Quantitative traits in Plant Pathogens. Annual Review of Phytopathology 50,319–338.
- Leach, JE., Leung,H.,Tisserat, NA. 2014. Plant Disease and Resistance. USA Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Elsevier Volume 4. P1-23

- Leonberger, K., Jackson, K., Smith, R., Ward Gauthier, N. 2016. Plant Disease Kentucky Master Gardener Manual Chapter 6; Agriculture and Natural Resources Publications. 182.
- Madden, L. V. 2006. Botanical epidemiology: some key advances and its continuing role in disease management. *Eur. J. Plant Pathol.* 115, 3–23.
- Newton, A.C., Torrance, L., Holden, N., et al., 2012. Climate change and defense against pathogens in plants. *Advances in Applied Microbiology* 81, 89–132.
- Ristaino, J. B. 2002. Tracking historic migrations of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Microbes Infect.* 4, 1369–1377.
- Schumann, G. L. 1991. *Plant Diseases: Their Biology and Social Impact*. APS Press, St. Paul, MN.
- 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.

DAFTAR SINGKATAN

H_2O_2	:	Hidrogen Peroksida
O_2^-	:	Anion Superoksida
OPT	:	Organisme Pengganggu Tumbuhan
ZPT	:	Zat Pengatur Tumbuh