

Dr. Ir. Nurhayati, M.Si

Epidemiologi Penyakit Tumbuhan

Inang

Patogen

Lingkungan



Unsri

Dr. Ir. Nurhayati, M.Si

EPIDEMIOLOGI PENYAKIT TUMBUHAN

Design Cover : Maryati, A.Md
Setting & Lay Out Isi : Maryati, A.Md



Hak penerbitan pada Penerbit Universitas Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139
Telp. (0711) 360969-373422, Fax. (0711) 360969

Edisi Pertama, 2011

viii + 102 hlm, illus : 24 cm
ISBN : 979-587-401-2

Dicetak di Percetakan Universitas Sriwijaya
Isi diluar tanggung jawab percetakan

**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

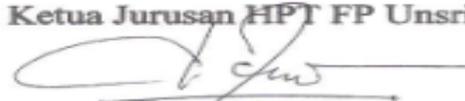
KATA SAMBUTAN

Di Perguruan Tinggi, setiap tenaga pengajar berkewajiban melaksanakan tiga bidang dharma yang dikenal dengan istilah tri dhama perguruan tinggi. Tri dharma tersebut adalah Pendidikan dan Pengajaran, Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Menulis buku dalam bidang ilmu yang ditekuni merupakan kegiatan ilmiah yang merangkum ketiga tri dharma perguruan tinggi tersebut. Mengapa? Karena buku seperti itu sangat bermanfaat dalam bidang Pendidikan dan Pengajaran, serta menjadi tempat menuliskan hasil-hasil penelitian yang bersangkutan. Buku tersebut juga menjadi tempat untuk menyebarkan ilmu pengetahuan kepada masyarakat luas.

Sebagai ketua Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Unsri saya menyambut baik penerbitan buku “Epidemiologi Penyakit Tumbuhan” oleh Dr. Nurhayati, M.Si. Setelah saya baca buku ini ditulis dengan baik sebagai buku referensi tentang Epidemiologi Penyakit Tumbuhan. Saya berkeyakinan bahwa upaya mulia yang dilakukan Dr. Nurhayati ini dapat diikuti oleh teman-teman lain dalam rangka meningkatkan mutu pengabdian setiap tenaga pengajar di jurusan HPT FP Unsri maupun di Universitas Sriwijaya pada umumnya.

Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan penghargaan dan rasa bangga kami terhadap penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat diterima dan digunakan oleh semua kalangan- mulai dari mahasiswa, peneliti, petani dan masyarakat yang tertarik dengan bidang ilmu penyakit tanaman, khususnya bidang Epidemiologi Penyakit Tumbuhan. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa memberkahi semua usaha kita dalam rangka ikut serta mencerdaskan kehidupan berbangsa. Aamin.

Indralaya, OI, Sumatera Selatan,
Ketua Jurusan HPT FP Unsri,



Dr. Ir. H. Chandra Irsan, M.Si.

KATA PENGANTAR

Buku ini ditulis sebagai upaya penulis untuk memperbanyak khazanah buku teks untuk mahasiswa dan praktisi yang terlibat langsung atau tidak langsung dengan epidemiologi penyakit tumbuhan. Syukur penulis sampaikan kepada Allah Yang Maha Kuasa berkat hidayah dan petunjukNya penulisan buku ini dapat diselesaikan dengan baik.

Buku ini mencoba untuk menguraikan secara lengkap tentang epidemiologi dalam perspektif yang menyeluruh. Dimulai dari sejarah ilmu, prose dan istilah, dinamika hubungan antara pathogen dengan tanaman inang, faktor lingkungan dan perkembangan penyakit, penyakit dan kehilangan hasil, model pendugaan kehilangan tanaman serta pengelolaan penyakit berdasarkan prinsip-prinsip epidemiologi .

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulisan dan penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat dan menjadi rujukan bagi pihak-pihak yang menggeluti bidang ini atau para manajer lapangan yang bergelut dengan permasalahan epidemiologi penyakit tumbuhan.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA SAMBUTAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	Xi
1.PENDAHULUAN.....	1
1.1 Sejarah Perkembangan Epidemiologi	1
1.2. Pengertian Epidemiologi.....	3
1.3. Epidemiologi dan Ilmu-ilmu pendukungnya.....	4
1.4. Arti penting epidemiologi dalam pertanian	5
2. PROSES-PROSES DAN ISTILAH DALAM EPIDEMIOLOGI.....	11
3. DINAMIKA HUBUNGAN PATOGEN DAN POPULASI INANG	17
3.1.Reproduksi patogen dan perkembangan epidemi	18
3.2.Tipe-tipe patogen dan epidemi	19
3.3.Keparahan penyakit.....	24
3.4.Grafik/kurva yang menggambarkan epidemi	24
3.5.Model perkembangan penyakit	27
3.6.Estimasi parameter model	34
3.7.Model dan strategi pngelolaan penyakit.....	39
4. FAKTOR LINGKUNGAN DAN PERKEMBANGAN PENYAKIT TANAMAN.....	44
4.1. Faktor lingkungan	44
4.1.1. Komponen ruang	45
4.1. 2. Faktor lingkungan fisik.....	46
4.1.3.Faktor lingkungan fisik-kimia	46
4.1.4. Faktor lingkungan biotik	47
4.2. Pengaruh faktor lingkungan terhadap perkembangan penyakit	47
5. PENYAKIT DAN KEHILANGAN HASIL.....	59
5.1. Epidemi dan kehilangan hasil	59
5.2. Macam-macam kehilangan hasil.....	60
5.3. Hasil dan terminologi kerugian	66
5.4. Penilaian penyakit.....	68
5.5. Metoda penilaian secara visual.....	72

6. MODEL PENDUGAAN KEHILANGAN TANAMAN DARI KEPARARAHAN PENYAKIT	76
6.1. Model-model pendugaan	77
6.2. Penilaian kritikal tentang metodologi kerugian tanaman.....	81
6.3. Fisiologi kerugian tanaman.....	82
6.4. Interaksi antara agen-agen berbahaya.....	84
7. PENGELOLAAN PENYAKIT BERDASARKAN PRINSIP-PRINSIP EPIDEMIOLOGI.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	93
DAFTAR INDEX.....	96

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Pengaruh faktor cuaca terhadap fase perkembangan patogen dan penyakit tanaman	49
Tabel 4.1. Hubungan terjadinya epidemi <i>Colletotrichum gleosporoide</i> Dengan kondisi iklim pada tanaman karet tahun 1970-1998 di Sumsel	55
Tabel 7.1. Prinsip-prinsip pengendalian penyakit berdasarkan US National Academic Science.....	87
Tabel 7.2. Taktik pengelolaan penyakit berdasarkan epidemiologikal.....	90

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Hubungan inang-patogen- lingkungan dalam segitiga penyakit	6
Gambar 1.2. Tetra hedron penyakit tanaman.....	9
Gambar 3.1 . Dinamika populasi patogen polisiklik.	21
Gambar 3.2. Proporsi populasi elm duct dengan penyakit elm dalam beberapa tahun epidemic.	23
Gambar 3.3. Perkembangan penyakit busuk akar pada wheat dalam satu musim. Tipe kurva perkembangan penyakit yang disebabkan oleh patogen monosiklik	25
Gambar 3.4. Perkembangan penyakit late blight pada kentang dalam satu musim. Kurva berbentuk sigmoid untuk penyakit yang disebabkan oleh patogen polisiklik	27
Gambar 3.5. Peningkatan penyakit pada kapas akibat terinfeksi <i>Verticilium dahliae</i> selama satu musim	31
Gambar 3.6. Transformasi logit. Grafik (A) dan (C) mewakili pertumbuhan logistik penyakit yang disebabkan oleh patogen monosiklik dan polisiklik. Transformasi yang tepat, $\ln 1/(1-x)$ untuk monosiklik (B) dan $\ln x/(1-x)$ untuk polisiklik (D) . Slope dan intercep pada grafik (B dan D) dapat dihitung.....	36
Gambar 3.7. Intensitas tanaman timun yang terinfeksi CMV selama musim Tanaman.	37
Gambar 3.8 Intensitas busuk akar kapas yang disebabkan oleh <i>Phymatotrichum omnivorum</i>	38
Gambar 3.9. intensitas lahan kacang yang terinfeksi <i>F. oxysporum</i> f sp. Pisi. epidemik.....	39
Gambar 3.10. grafik pertumbuhan eksponensial sebagai suatu fungsi dari perubahan x_0 dan r	41
Gambar 4.1. siklus penyakit scab pada tanaman apel.....	45
Gambar 5.1. Standar diagram pertumbuhan sereal (Skala Feekes).....	70
Gambar 5.2. Diagram standar untuk estimasi keparahan penyakit karat dan batang sereal	74

Gambar 6.1. Model umum peningkatan keparahan penyakit.....	77
Gambar 6.2. Teori waktu kritis untuk memprediksi kehilangan berdasarkan pada model titik tunggal, dengan asumsi slope peningkatan penyakit selalu sama.....	78
Gambar 6.3. Teori tingkatan kritis menggunakan model titik tunggal dengan asumsi slope konstan.....	78
Gambar 6.4. teori bebas penyakit menggunakan titik tunggal.....	79
Gambar 6.5. Model titik ganda untuk memprediksi kehilangan menggunakan beberapa titik.....	80

1

PENDAHULUAN

1.1 Sejarah Perkembangan Epidemiologi.

Epidemiologi merupakan ilmu yang telah dikenal sejak lama bahkan berkembang sejalan dengan ilmu-ilmu lainnya seperti kedokteran dan tentu saja pertanian. Pengusahaan tanaman akan terus berlangsung selama manusia masih menjalani roda kehidupan, hal ini disebabkan karena tanaman dibutuhkan oleh manusia dalam memenuhi hajat hidupnya. Dalam budidaya tanaman haruslah diusahakan agar tanaman selalu dalam keadaan sehat sehingga dapat memberikan produksi yang maksimal baik dalam hal kualitas ataupun kuantitas. Namun demikian pada kenyataannya banyak faktor pembatas dalam usaha budidayanya, salah satunya adanya serangan penyebab penyakit atau patogen. Patogen dapat mengakibatkan kerusakan tanaman sehingga produksi tanaman menjadi rendah atau bahkan dapat tidak berproduksi sama sekali.

Apabila suatu penyebab penyakit telah menyerang suatu pertanaman dan mampu menyebar dan menyerang banyak tanaman dalam populasi dalam suatu areal yang luas dalam waktu singkat maka keadaan ini kita kenal dengan epidemi. Dalam proses ini diketahui epidemi hanya akan dapat terjadi apabila terjadi interaksi antara patogen yang virulen dengan inang yang rentan dan

didukung oleh lingkungan yang menguntungkan patogen daripada tanaman. Lahirnya usaha untuk pengendalian tanaman dengan mempelajari tingkah laku patogen dan lingkungannya bermula dengan adanya serangan epidemik penyakit tumbuhan yang mengakibatkan dampak kelaparan, ekonomi, ekologi dan pertanian itu sendiri. Dampak epidemi penyakit terhadap kelaparan antara lain serangan hawar pada kentang yang disebabkan oleh oleh *Phytophthora infestan* yang menyebabkan kelaparan di eropa (1845-1846) dimana diperkirakan mengakibatkan terbunuhnya satu juta penduduk Irlandia, hawar singkong yang disebakan oleh *Xanthomonas compestris pv manihotis* menyebabkan kelaparan di Zaire tahun 1970-1975; dan bercak coklat padi yang disebabkan oleh *Helminthosporium oryzae* yang menyebabkan kelaparan di India tahun 1942-1943, yang mengakibatkan sekitar 2 juta penduduk mati kelaparan.

Epidemi juga dapat mengakibatkan dampak kerugian ekonomi seperti serangan penyakit panama pada pisang oleh *Fusarium oxysporum f.sp cubense* di Amerika tengah tahun 1930 dan epidemi karat kopi yang disebabkan oleh *Hemilia vastatrix* di Srilanka tahun 1870 mengakibatkan kerugian ekonomi yang sangat besar karena telah menghancurkan sebanyak empat ratus tujuh belas perkebunan kopi sehingga menyengsarakan rakyat Srilanka pada waktu itu.

Timbulnya epidemi penyakit pada pertanian sesungguhnya berhubungan erat dengan ulah manusia sebagai motor penggerakannya, walaupun sebenarnya tidak disengaja. Contoh epidemi penyakit hawar daun jagung (souther corn leaf blight) yang disebabkan oleh *Bipolaris maydis*, yang pada awalnya hanya dijumpai di Florida (bagian selatan Amerika serikat).

Bermula dari usaha para pemulia tanaman yang ingin menghasilkan jagung hibrida yang bersifat male sterile cytoplasm yang tahan penyakit dan berproduksi tinggi. Namun dalam perjalanannya ternyata jagung tersebut hanya memiliki beberapa gen tahan, sehingga mengakibatkan timbulnya strain jamur baru yang lebih virulen sehingga merusak pertanaman jagung. Contoh lain yang mengakibatkan dampak negatif terhadap pertanian adalah serangan *Monilia roleri* pada kakao di Equador. Epidemi penyakit ducth elm yang disebabkan oleh *Ceratocytis ulmi* di Eropa, yang merupakan akibat terbawanya patogen oleh para buruh yang datang ke Belanda dengan peti dari pohon elm yang mengandung patogen dan vektornya, sehingga dapat menyebarkan penyakit tersebut dengan cepat. Hal yang sama juga terjadi di

Amerika Serikat, dimana mereka mengimport balok atau gelondongan kayu yang ternyata mengandung patogen dan vektor penyakit tersebut sehingga mengakibatkan musnahnya ratusan ribu pohon elm yang digunakan sebagai pohon peteduh di negeri ini.

Adalah Vanderplank orang yang pertamakali mempublikasikan analisis quantitative dan interpretasi dari perkembangan populasi patogen. yang pada akhirnya menjadi suatu ide yang mampu menstimulasi perkembangan epidemiologi dikemudian hari.

I.2. Pengertian Epidemiologi

Istilah epidemi berasal dari Gerika Yunani, dimana epi artinya yang mengenai atau merusak dan demos artinya masyarakat atau orang banyak.

Epidemiologi dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang epidemi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dengan kata lain Epidemiologi adalah ilmu pengetahuan yang membahas tentang sifat dan perkembangan suatu patogen, interaksi antara patogen dan inang serta faktor lingkungan yang mempengaruhinya. Epidemiologi merupakan suatu ilmu yang dapat dijadikan dasar dalam pengendalian penyakit tanaman. Dengan mempelajari epidemiologi orang dapat menentukan langkah langkah apa saja yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya kerugian akibat serangan patogen.

Epidemiologi terdiri dari suatu konsep yang kompleks, definisi dan prosedur analitik. Menurut Vanderplank epidemiologi merupakan ilmu penyakit tumbuhan pada suatu populasi. Nelson mendefinisikan bahwa epidemiologi sebagai ilmu yang mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan perkembangan penyakit. Sedangkan menurut Kranz epidemiologi adalah ilmu yang mempelajari dinamika populasi baik dari aspek numerik, pertumbuhan dan pengaturan populasi patogen dan tumbuhan. Yang paling penting dalam hal ini adalah epidemiologi lebih menitik beratkan pada fenomena populasi.

Populasi yang terpenting dalam hal ini adalah tanaman disatu sisi dan patogen di sisi lainnya. Akan tetapi dalam perkembangannya epidemiologi juga menaruh perhatian terhadap interaksi antara inang dan patogen yang kemudian dapat mengakibatkan penyakit dan kehilangan hasil. Interaksi tersebut seringkali bergantung dengan lingkungannya. Jadi dalam hal ini epidemiologi juga berhubungan dengan pengaruh faktor lingkungan biotik dan abiotik. Manusia juga berperan penting dalam interaksi inang –patogen – dan lingkungannya. Hal ini karena manusia yang mengelola lingkungan tersebut.

1.3. Epidemiologi dan Ilmu ilmu Pendukungnya

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa epidemiologi merupakan ilmu yang membahas penyakit dalam populasi. Populasi adalah suatu integrasi dari tingkatan tingkatan ilmu kehidupan, berada diantara level organisme dan komunitas. Setiap tingkatan merupakan kumpulan interaksi dari semua proses-proses pada tingkatan yang lebih bawah. Oleh karenanya berdasarkan pada fenomena populasi dan pengaruh faktor lingkungan dalam prosesnya, epidemiologi sangat mementingkan ekologi. Dengan menggunakan konsep ekologi dan metodologi, epidemiologi dapat menjelaskan interaksi pada beberapa tingkatan dan menghasilkan pemahaman suatu proses penyakit. Epidemiologi dalam mempelajari itegrasi dua tingkatan atas yaitu populasi dan komunitas harus mengerti proses- proses yang membantu pada tingkatan tingkatan yang lebih rendah. Ada tiga integrasi dalam epidemiologi yaitu: proses organisme (inang dan patogen), proses populasi (inang dan patogen) serta proses komunitas (ekosistim).

Dalam mempelajari epidemiologi seseorang sewajarnya juga memahami beberapa ilmu pengetahuan lainnya seperti: taksonomi; fisiologi tanaman, genetika dan mikologi. Disamping itu Fisika lingkungan berperan penting dalam epidemiologi adalah meteorologi dan mikrometeorologi. Pemahaman matematika, kalkulus dan statistik serta ilmu komputer juga sangat membantu dalam epidemiologi.

1.4. Arti penting epidemiologi dalam pertanian

Pemahaman Epidemiologi paling tidak mempunyai dua tujuan yaitu aturan ilmiah atau intelektual dan aturan praktisi. Sebagai ilmu pengetahuan epidemiologi membawahi teknologi manajemen penyakit. Keduanya penting dimana yang pertama pemahaman dari tingkah laku penyakit dalam waktu dan ruang sedangkan yang lainnya dengan menggunakan pemahaman pertama untuk mengatur/mengelola penyakit .

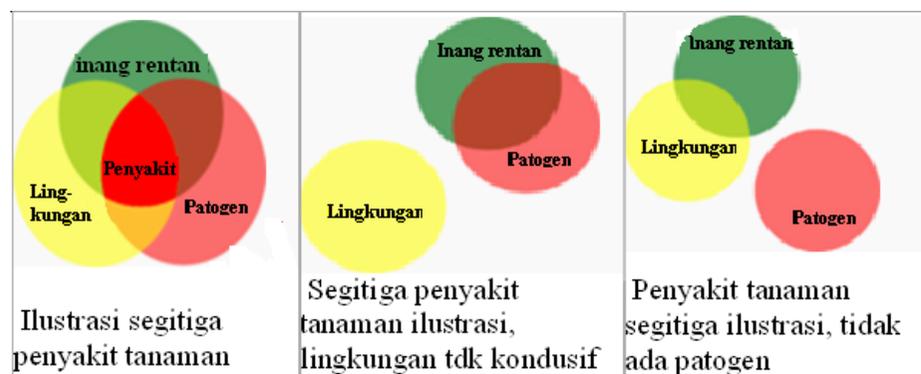
Penyakit tanaman dapat dikelola dengan berbagai cara seperti penghindaran, eksklusi patogen, eradikasi patogen, perlindungan tanaman, tanaman resisten, dan terapi tanaman sakit. Determinasi yang mana yang akan digunakan untuk penyakit tertentu tergantung pada pengetahuan tingkah laku/behavior penyakit tersebut. Pilihan kombinasi dapat digunakan untuk pengelolaan yang berkelanjutan dari suatu penyakit atau yang lebih penting untuk kekuatan dan manajemen ekonomi dari beberapa penyakit tanaman yang berikutnya dengan menggunakan prinsip epidemiologi.

Dipahami bahwa penyakit tanaman adalah bagian dari alam yang tidak mungkin dihalau, oleh karenanya pengetahuan tentang mereka sangat dibutuhkan untuk tujuan agar supaya tidak terjadi epidemi yang dapat merugikan. Manajemen penyakit kita perlukan untuk mengetahui berapa banyak kerugian dan seberapa efektif strategi pengendalian dapat mengurangi kerugian dan produksi. Epidemiologi menyediakan dasar-dasar untuk evaluasi kebutuhan pengendalian, efisiensi pengendalian dan stabilitas pengendalian.

Sebelum mempelajari lebih jauh epidemiologi seseorang haruslah terlebih dulu memahami bagaimana terjadinya penyakit tanaman. Unsur unsur yang terlibat dalam terjadinya epidemi penyakit adalah: Patogen/penyebab penyakit, tanaman inang dan faktor lingkungan biotik dan abiotik. Penyakit tanaman terjadi diawali dengan terjadinya kontak antara tanaman yang rentan dan patogen pada waktu yang tepat, dimana lingkungan sesuai bagi perkembangan patogen. Apabila lingkungan lebih menguntungkan patogen maka perkembangan penyakit dapat dengan pesat dan berulang kali serta dalam waktu yang lama sehingga terjadi epidemi penyakit.

Jika semua kriteria tidak dipenuhi, seperti inang yang rentan dan patogen yang virulen ada, tetapi lingkungannya tidak kondusif bagi patogen menginfeksi dan menyebabkan penyakit, penyakit tidak dapat terjadi. Misalnya, jagung ditanam di lapangan yang mengandung sisa atau residu jagung yang terinfeksi jamur *Cercospora zea-maydis*, penyebab bercak daun pada jagung, tetapi jika cuaca terlalu kering dan tidak ada kebasahan pada permukaan daun maka spora dari jamur dalam residu tidak dapat berkecambah dan memulai infeksi. Sebaliknya apabila cuaca terlalu basah sehingga terjadi kebasahan daun dalam periode panjang juga dapat mengakibatkan gagalnya infeksi oleh patogen.

Demikian pula, jika tanaman inang (host) rentan dan lingkungan cocok bagi perkembangan patogen, tetapi tidak ada sumber inokulum atau patogen maka tidak ada penyakit (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Hubungan inang-patogen- lingkungan dalam segitiga penyakit (Sumber: www.Wikipedia.org)

Di lapangan, selain faktor lingkungan ketahanan tanaman terhadap penyakit juga ditentukan oleh faktor internal tanaman itu sendiri. Faktor-faktor tersebut antara lain tingkat keragaman genetik, umur tanaman serta tipe tanaman. Keragaman genetik akan sangat mempengaruhi ketahanan tanaman inang terhadap patogen. Umumnya pada tanaman yang mempunyai gen yang seragam lebih mudah terjadi epidemi apalagi bila tanaman ditanam pada areal yang sangat luas. Hal ini karena pada tanaman yang memiliki gen seragam kemungkinan timbulnya ras baru itu lebih besar dibanding tanaman yang gennya beragam. Contoh pada kejadian epidemi hawar *helminthosporium* pada oat atau pada kasus southern corn leaf blight pada jagung.

Beberapa tanaman tahan terhadap penyakit pada saat muda sedangkan beberapa tanaman lainnya tahan terhadap penyakit pada saat telah tua. Contoh beberapa tanaman rentan terhadap damping off, busuk akar *phytium* ataupun infeksi virus dan bakteri pada saat masih muda tetapi bila telah tua tanaman menjadi tahan terhadap penyakit-penyakit tersebut. Tanaman lainnya misalnya pada kentang, tanaman ini rentan terhadap *Phytophthora infestan* pada awal priode pertumbuhan, kemudian agak tahan pada priode awal fase perkembangan dewasa dan kemudian rentan kembali setelah fase pematangan. Pada tanaman semusim seperti sayuran, jagung umumnya epidemi berkembang jauh lebih cepat dibanding dengan tanaman tahunan.

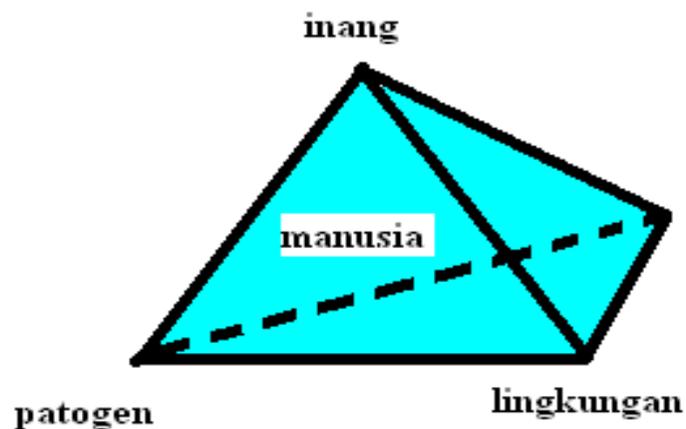
Faktor yang sangat mempengaruhi patogen dalam terjadinya epidemi antara lain: jumlah inokulum, virulensi patogen, tipe reproduksi patogen, cara penyebaran patogen dan ekologi patogen. Umumnya patogen yang mampu menghasilkan inokulum dalam jumlah banyak lebih berpeluang

untuk menimbulkan epidemi demikian juga patogen yang mempunyai virulensi yang tinggi akan mampu menginfeksi inangnya dengan cepat. Selain itu patogen tersebut juga mempunyai kemampuan sporulasi yang tinggi. Patogen yang tergolong dalam patogen polisiklik lebih berpeluang menimbulkan epidemi dibanding patogen monosiklik. Hal ini dikarenakan patogen polisiklik dapat menghasilkan inokulum lebih banyak dan siklusnya dapat terjadi berulang kali, sedangkan patogen monosiklik sumber inokulum utamanya hanyalah inokulum awal, serta siklus hidupnya hanya satu kali. Patogen polisiklik seperti penyebab penyakit gugur daun karet *Corynespora cassiicola*, dan *Fusarium sp* mampu menghasilkan daur reproduksi sampai beberapa kali dalam satu musim sehingga sumber inokulum akan semakin banyak sehingga terjadi epidemi apabila lingkungannya cocok.

Patogen yang menghasilkan inokulum pada permukaan tanaman akan lebih berpeluang mengakibatkan terjadinya epidemi penyakit. Hal ini karena spora dapat diterbangkan oleh angin dan dapat mencapai jarak yang jauh. Sementara patogen yang menghasilkan inokulum dalam tumbuhan penyebarannya akan lambat. Demikian juga Patogen yang menghasilkan inokulum di dalam tanah. Beberapa patogen penyebarannya sangat tergantung dengan keberadaan vektor. Penyebaran patogen dapat melalui angin, serangga, air, binatang ataupun manusia. Patogen yang bersifat airborne seringkali mengakibatkan epidemi yang meluas demikian juga patogen yang disebarkan oleh serangga vektor.

Dimasukkannya faktor manusia ke dalam segitiga penyakit karena pengaruh kegiatan manusia pada timbulnya penyakit di bidang pertanian dan, mungkin ke tingkat yang lebih rendah, dalam sistem masukan rendah seperti kehutanan dan rentang manajemen. Memang, sulit untuk mengabaikan unsur-unsur tersebut sebagai praktek-praktek budidaya yang mempengaruhi siklus hidup patogen, manipulasi genetika tanaman inang melalui pembiakan dan rekayasa genetika, penanaman yang luas tanaman yang homogen secara genetik populasi, dan berbagai manipulasi lingkungan seperti irigasi, rumah

kaca, dan hidroponik. Faktor-faktor ini dapat sangat mempengaruhi terjadi epidemi penyakit tertentu. Manusia merupakan bagian dari lingkungan pathosystem dalam arti bahwa kita di luar host-parasit interaksi Gambar (1.2)



Gambar 1.2. Tetra hedron penyakit tanaman

Hewan dan vektor lainnya mungkin tidak penting untuk semua penyakit tapi jelas memainkan peran penting dalam banyak hal. Vektor merupakan kasus khusus untuk modifikasi dari hubungan segitiga. . Dalam beberapa kasus, sebenarnya mengalikan patogen dalam sel-sel dari sebuah vektor dan penularan penyakit sehingga akan sangat terhambat tanpa tahap dalam siklus hidup. Namun, jika patogen tidak mampu menginfeksi inangnya tanpa vektor, piramida memadai gagal untuk menunjukkan sifat perantara vektor dalam hubungan patogen-inang dengan menggambar sambungan langsung dan menghindari vektor. Mungkin alternatif yang menerangi diagram vektor akan memiliki penyakit yang menduduki sisi segitiga yang menghubungkan simpul inang dan patogen.

Buku ini ditulis dengan tujuan untuk membantu mahasiswa memahami aspek-aspek penting yang berkaitan dengan terjadinya epidemi penyakit tumbuhan, mengingat masih sangat terbatasnya buku epidemiologi tumbuhan dalam bahasa Indonesia. Dalam buku ini juga diuraikan beberapa hal penting yang berpengaruh terhadap terjadinya epidemi penyakit tumbuhan. Semoga kehadiran buku ini dapat membantu para mahasiswa pertanian pada umumnya.

PROSES DAN ISTILAH DALAM EPIDEMIOLOGI

Suatu epidemi penyakit adalah peningkatan penyakit dalam suatu ruang dan waktu tertentu, dalam suatu areal populasi tanaman. Epidemi merupakan suatu proses biologi yang memproses suatu kisaran yang dapat dideterminasi.

Proses terjadinya epidemi sangat kompleks oleh karenanya tidaklah mungkin untuk menghentikan ataupun mengenyakkan suatu penyakit di areal pertanaman yang kita miliki. Namun demikian penyakit tersebut dapat dikelola sehingga tidak mencapai ambang ekonomi yang dapat merugikan. Kita dapat mencegah, menunda ataupun memperlambat proses epidemi penyakit dengan mengetahui proses proses dan mekanisme yang terjadi serta efek dari lingkungan terhadap mekanisme proses tersebut.

Proses epidemi penyakit terdiri dari beberapa sub proses. Sub proses yang terbesar adalah yang diperoleh dari unit penyebaran patogen yang dapat melalui tahap pertumbuhan dan perbanyakkan pada generasi berikutnya dari unit-unit dispersal disebut *Rantai infeksi* atau *siklus infeksi*. Siklus infeksi adalah proses berulang, mampu memperbanyak dirinya beberapakali dalam banyak waktu. Proses monosiklik terjadi dalam rentang waktu satu siklus infeksi tunggal. Sedangkan polisiklik berkembang dari beberapa siklus infeksi.

Disamping itu kita mengenal juga apa yang dinamakan dengan unit dispersal yang sangat erat hubungannya dengan proses infeksi. Suatu patogen, misalnya jamur untuk hidup dan bertahan hidup harus mampu berpindah dari

satu inang ke inang lainnya pada waktu yang tepat untuk mendapatkan makanannya. Suatu unit dispersal dapat berupa spora tunggal, kumpulan spora, potongan hifa, atau suatu bentuk hifa yang dibentuk untuk suatu tujuan. Infeksi terjadi apabila kontak antara bagian tanaman inang yang rentan dengan unit dispersal patogen. Apabila lingkungan menguntungkan maka unit dispersal tersebut akan berubah menjadi suatu unit infeksi. Unit infeksi adalah struktur miselia yang sesungguhnya berasal dari satu unit dispersal; dapat dikenal secara visual, dihitung dan diukur. Dapatlah disimpulkan bahwa satu unit dispersal dapat mencapai satu unit infeksi. Satu unit infeksi mungkin dapat menjadi beberapa unit dispersal.

Proses infeksi dimulai apabila terjadi kontak antara satu unit dispersal dengan tanaman inang yang rentan dibawah kondisi lingkungan yang cocok. Kombinasi tersebut diprakarsai oleh aktivitas biokimia tertentu yang menghasilkan perubahan morfologi pada unit dispersal menjadi unit infeksi. Contoh : spora berkecambah dan mencapai unit infeksi membentuk tabung kecambah, appresorium, hifa penetrasi dan lain lain.

Unit infeksi dapat menghasilkan suatu gejala awal pada tanaman yang terinfeksi yang berupa lesio. Lesio adalah hilangnya warna disekitar areal tempat terjadi penetrasi. Selanjutnya gejala gejala lain juga dapat muncul,. Pada beberapa jamur lesionya dapat lokal akan tetapi pada penyakit sistemik seluruh bagian tanaman dapat terserang.

Beberapa jenis patogen mungkin menyelesaikan satu atau hanya sebagian siklus penyakitnya dalam satu tahun. Keadaan demikian disebut dengan *patogen monosiklik* atau *patogen daur tunggal*. Contoh penyakit yang patogennya termasuk monosiklik antara lain: jamur karat (black stem rust). Jamur ini menghasilkan spora pada akhir musim. Spora yang dihasilkan jamur tersebut akan bertindak sebagai inokulum primer atau sumber infeksi pada musim tanam berikutnya. Contoh lain patogen yang monosiklik adalah patogen busuk akar dan layu vascular.

Pada kasus patogen monosiklik inokulum primer merupakan satu satunya sumber infeksi yang ada pada musim bersangkutan, akan tetapi jumlahnya

lebih banyak atau melimpah dibanding dengan yang ada pada awal musim. Pada monosiklis walaupun inokulum skunder dan tersier tidak dihasilkan tetapi jumlah inokulum primer yang dihasilkan setiap akhir musim terus meningkat.

Umumnya ada tiga tipe penyakit tanaman yang cenderung menghasilkan satu siklus infeksi per satu siklus inang yaitu: penyakit pasca panen, penyakit yang disebabkan oleh oleh soil borne patogen dan penyakit karat yang tidak menghasilkan urediospora.

Epidemi berhubungan dengan populasi. Populasi ini meliputi populasi patogen dan populasi inang. Suatu populasi adalah beberapa set dari elemen-elemen yang paling tidak mempunyai satu atribut. Dalam suatu populasi biologi syarat minimum adalah semua unsur dimiliki oleh species yang sama dan berada dalam waktu dan tempat tertentu. Peneliti atau researcher harus Mengidentifikasi populasi tertentu yang mereka teliti dengan definisi yang relevan dengan atribut yang spesifik. Operasional definisi dapat dinyatakan sebagai berikut: *Priode perkecambahan* adalah periode dalam jam yang diperlukan oleh satu unit infeksi untuk perkecambahan mulai dari awal dengan kondisi lingkungan yang mantap sampai pembentukan tabung kecambah dengan panjang paling tidak sama dengan diameter terpendek dari spora. Dalam suatu populasi spora, perkecambahan mempunyai suatu nilai tengah dan variance.

Siklus infeksi dan Rantai infeksi

Suatu proses polisiklik merupakan suatu proses dengan aturan tersendiri. Aturan tersebut dapat digambarkan dalam suatu persamaan matematik. Gaeumann (1946), memberikan istilah rantai infeksi untuk urutan infeksi yang tidak pernah berakhir. Suatu rantai infeksi mungkin saja homogen atau heterogen, bercabang atau tak bercabang. Suatu rantai yang homogen terdiri dari suatu suksesi yang tak berakhir dari siklus infeksi yang identik, seperti didapat pada penyakit kuning belang berkarat yang disebabkan oleh *Puccinia striiformis*.

Pada rantai infeksi heterogen, bentuk spora berbeda terbentuk dalam siklus infeksi berperanan, berhubungan satu sama lainnya. Contohnya penyakit karat/scab pada apel yang disebabkan oleh *Venturia inaequalis*. Askospora yang keluar dari daun apel yang jatuh ketanah dapat menginfeksi daun-daun muda setelah akhir musim dingin. Selama masa pertumbuhan pada musim semi dan panas, infeksi terjadi berkali-kali oleh konidiopora. Selanjutnya pada musim gugur, pada daun-daun yang jatuh ketanah patogen membentuk peritesia untuk kemudian menghasilkan askospora kembali. Dalam hal ini dalam satu tahun rantai infeksinya terdiri dari satu kali infeksi seksual yaitu dengan askospora terjadi pada musim dingin dan beberapa kali dengan infeksi aseksual yaitu dengan konidiopora yang terjadi pada musim semi dan panas. Proses rantai infeksi ini tidak pernah berakhir mengikuti inang, patogen dan lingkungannya.

Epidemi polisiklik terjadi bila ada infeksi yang komplisit dan berulang mulai dari infeksi yang diikuti dengan perkembangan patogen, pembentukan inokulum baru, pemencaran serta infeksi baru selama satu musim tanam. Contoh siklus penyakit hawar daun kentang dapat menghasilkan sepuluh kali lipat sporangia yang kemudian dapat dipencarkan dan mendarat pada permukaan inang yang rentan sehingga terjadi ledakan penyakit (epidemi).

Terjadinya epidemi penyakit tanaman seperti telah dijelaskan terdahulu akan selalu melibatkan faktor inang dan patogen dalam populasi. Dalam konsep biologi populasi secara menyeluruh meliputi tingkatan seperti komunitas, populasi, individu, jaringan dan sel, molekul dan lainnya., akan tetapi dalam epidemiologi yang lebih berperan /ditekankan adalah komunitas, populasi dan individu.

Sifat populasi ini dapat dibedakan menjadi dua golongan. Pertama Sifat populasi temporal yaitu dinamika populasi yang memperhitungkan waktu sebagai faktor yang penting. Kecepatan kelahiran atau penambahan individu persatuan waktu (N/T) dan kecepatan kelahiran relative (KK/P). Sebagai contoh populasi 10.000 , penambahan penduduk (KK): 500 maka Kecepatan

kelahiran relatifnya (KKR) adalah $500/10.000 = 0.05$. Pertambahan penduduk juga dipengaruhi oleh imigrasi, kecepatan kematian dan kecepatan emigrasi yaitu jumlah penduduk yang hilang dalam populasi per satuan waktu.

Kedua sifat populasi spatial yaitu penyebaran dalam suatu area yang meliputi eksistensi (area, penyebaran, agregasi) yang menjelaskan populasi secara kualitatif dan intensitas yang menjelaskan populasi dalam suatu area secara kuantitatif. Area penyebaran dapat mengelompok atau regular. Agregasi maksudnya bagaimana suatu individu masuk kedalam suatu area yang sangat penting dan berhubungan erat dengan kompetisi.

Intensitas menggambarkan secara kuantitatif, meliputi kepadatan atau density yaitu jumlah individu per area, jumlah individu per volume. Populasi penyakit dicirikan oleh kepadatan/density mencakup disease incidence/insiden penyakit, diseases severity/keparahan penyakit dan prevalensi.

Disease incidence Didefinisikan sebagai proporsi atau persentase tanaman atau jumlah bagian tanaman yang sakit seperti: seluruh tanaman, daun, buah, umbi, ranting, cabang dan lainnya., Diseases incidence(DI) dapat diukur dengan membandingkan jumlah tumbuhan atau bagian tumbuhan yang sakit (n) terhadap jumlah seluruh tanaman yang diamati (N).

$$DI = \frac{n}{N} \times 100 \%$$

Disease severity/keparahan penyakit didefenisikan sebagai proporsi atau persentase luas atau bagian tanaman yang sakit. Ini biasanya secara tepat dinyatakan sebagai area atau area dan volume dari bagian tanaman yang terinfeksi misalnya daun atau buah yang sakit yang biasanya dinyatakan sebagai berikut.

$$DS = \frac{\sum l_i}{L} \times 100\%$$

Dimana l adalah luas/vol bagian sakit tiap N bagian tanaman yang diamati, L adalah luas keseluruhan N bagian tanaman yang diamati.

Prevalensi penyakit adalah persentase luas areal tanaman sakit. Zadoks dan Schein mempertimbangkan ukuran yang berarti ganda dan mengusulkan penggunaannya dengan hati-hati.

Prevalensi penyakit telah berasosiasi dengan skala pengukuran disease insiden yang besar, sehingga dipertimbangkan sama dengan insiden. Masih banyak istilah-istilah yang berhubungan erat dengan terjadinya epidemiologi ini, namun demikian tidak akan dibahas dalam bab ini secara keseluruhan akan tetapi akan langsung dibahas pada setiap bab yang berhubungan dengan penggunaannya.

3

DINAMIKA HUBUNGAN PATOGEN DAN POPULASI INANG

Pada BAB ini akan dicoba membahas dinamika penyakit dalam populasi tanaman sebagai teori dasar dalam management penyakit tanaman.

Insidensi penyakit secara sendiri-sendiri dan keparahan penyakit dalam populasi, dalam waktu yang bervariasi dan berkembang cepat dan timbul lebih parah hampir secara mendadak. Kita akan mencoba mengidentifikasi tingkah laku yang bervariasi dari cara reproduksi patogen mempengaruhi populasinya dan perkembangan penyakit. Pengetahuan mengenai perkembangan penyakit dalam populasi akan memudahkan untuk identifikasi strategi management penyakit yang cocok. Model matematik yang sederhana akan membantu untuk mengembangkan strategi umum mengelola penyakit.

Epidemi menunjukkan peningkatan penyakit dalam populasi. Epidemii terbatas pada kasus-kasus dimana populasi inang parah oleh penyakit atau terjadi peningkatan yang cepat dalam jumlah penyakit.

Banyak macam patogen dapat mengakibatkan penyakit yang parah dalam populasi, seperti *Phytophthora infestans*, yang hanya tumbuh dibawah kondisi yang khusus. *Ceratocystis ulmii* memperbanyak diri lambat dan mempunyai kisaran inang sedikit, patogen ini menyebabkan penyakit yang parah (swollen shoot) pd cacao tanpa menyebar jauh dan dalam jumlah besar. Patogen ini ditularkan oleh sejenis kumbang dari pohon ke pohon.

Penyakit merupakan hasil interaksi antara patogen dengan inang yang rentan dalam lingkungan yang cocok dalam suatu waktu. Apabila inang rentan berada pada lingkungan yang cocok suatu patogen yang agresif akan dapat menimbulkan penyakit yang parah. Prediksi mengenai keparahan penyakit memerlukan data yang akurat dan kemampuan untuk menginterpretasikannya. Hubungan alami dari penyakit ditunjukkan penyakit dalam waktu (D_t), kemampuan menyebabkan penyakit dan ukuran populasi (p_i), Kerentanan, distribusi dan ukuran populasi (h_i), lingkungan abiotik dan biotik, kimia dan waktu (e_i), atau dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$D_t = \sum f(p_i, h_i, e_i, \dots) \quad (1)$$

3. 1. REPRODUKSI PATOGEN DAN PERKEMBANGAN EPIDEMI

Waktu yang diperlukan untuk reproduksi dan perkembangan penyakit serta model penyebaran keturunannya secara langsung mempengaruhi dinamika penyakit. Semua patogen menghasilkan propagul yang dapat disebarkan dan populasinya dapat meningkat. Propagul dihasilkan secara seksual dan/atau aseksual serta menyumbang terhadap peningkatan populasi dan penyebarannya. Reproduksi pada beberapa patogen terjadi satu kali dalam satu kali musim tanam dan beberapa patogen lainnya dapat lebih dari satu kali dalam semusim. Reproduksi beberapa patogen dapat terjadi lebih sering dan terus menerus.

Apabila reproduksi terjadi hanya satu kali , setiap propagul berpartisipasi hanya dalam satu siklus patogenesis per musim. Satu siklus patogenesis termasuk penyebaran propagul ketanaman atau jaringan inang yang sehat, menetap, menghasilkan propagul dan penyebaran. Siklus tunggal

dari patogenesis ekuivalen dengan satu generasi patogen. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus sangat dipengaruhi oleh dinamika penyakit.

3.2. TIPE- TIPE PATOGEN DAN EPIDEMI

PATOGEN MONOSIKLUS DAN PROSES EPIDEMI

Patogen monosiklus menyelesaikan sebagian atau seluruh dari satu siklus patogenesis dalam satu musim tanam dan mempunyai satu generasi maximum per musim. Umumnya ada tiga tipe penyakit tanaman yang cenderung menghasilkan hanya satu siklus infeksi per satu siklus inang yaitu: penyakit pasca panen, penyakit yang disebabkan oleh soil borne patogen dan penyakit karat yang tidak menghasilkan urediospora. Beberapa patogen monosiklik antar lain adalah *Verticillium dahliae* penyebab layu pada kapas. Jamur bertahan hidup dari satu musim ke musim berikutnya dalam bentuk mikro sklerotia (sel yang berdinding tebal dan tahan) pada ranting atau akar yang rusak yang kemudian dibebaskan di tanah. Pada awal musim populasi *Verticillium* dalam bentuk mikroseklerotia di tanah, apabila ada akar tanaman kapas tumbuh mendekati maka eksudat dari akar dapat menstimulasi perkecambahan dan apabila lingkungan cocok, jamur akan mempenetrasi tanaman.

Invasi pertama adalah kortek kemudian secara selektif menginvasi xyleem. *Verticillium* menginvasi tanaman melalui pertumbuhan hifa dan transformasi konidia secara pasif melalui xyleem. Infeksi dapat terjadi kapanpun dalam musim tersebut. Pada akhir musim jamur membentuk mikrosklerotia pada kapas yang sakit. Fungsi inokulum tersebut akan terstimulasi apabila ada akar kapas yang mendekati pada musim berikutnya.

Beberapa patogen tanah (*Fusarium solani*, *f.sp. phaseoli*) merupakan contoh monosiklik lainnya dimana biasanya terbatas pada satu generasi semusim.

Beberapa patogen lain karena siklusnya paling tidak satu kali semusim dan tidak ada tahapan /stadia yang berulang. Contoh *Gymnosporangium juniperi-virginianae* penyebab karat pada apel . Jamur

mempunyai siklus yang pendek dengan inang alternatifnya adalah cedar. Jamur pada akhir musim dingin berada dalam gall pada tanaman cedar merah dan apel kira-kira 21 bulan untuk berkembang dan dewasa. Pada saat apel berbunga, gall mengeluarkan telia yang sangat lengket. Ketika hujan menghasilkan basidiospora yang dapat terbawa oleh angin ke daun apel yang rentan dan infeksi terjadi pada priode lembab. Jamur berkembang lambat didalam jaringan, memproduksi pycnia dimana perkawinan terjadi pada akhir musim panas terbentuk aecia. Aeciospora disebarkan ke cedar merah dimana infeksi mulai berkembang membentuk gall. Semua inokulum pada apel yang rentan dan infeksi terjadi pada priode lembab. Semua inokulum pada apel berasal dari cedar merah pada musim semi dan semua inokulum pada cedar berasal dari apel pada akhir musim panas. Dalam hal ini tidak ada tahap yang berulang walaupun siklus hidupnya memerlukan waktu dua tahun.

PATOGEN POLISIKLIK DAN EPIDEMI

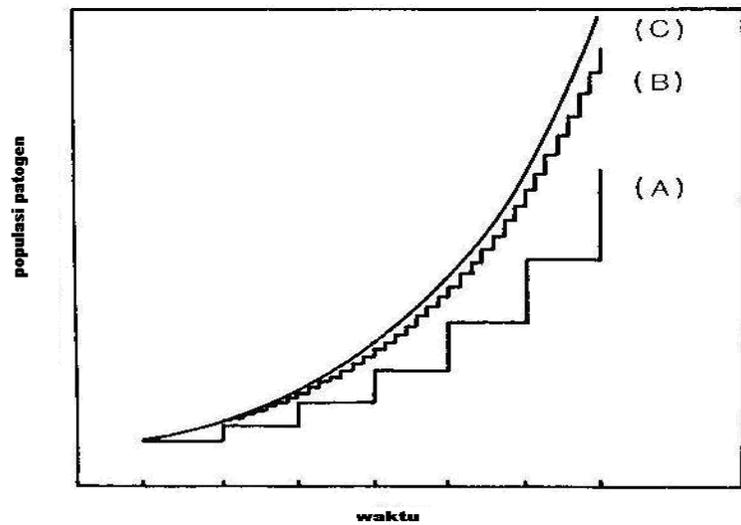
Patogen polisiklik mempunyai lebih dari satu generasi per musim tanam. Epidemik terjadi apabila terjadi infeksi yang lengkap dan berulang mulai infeksi diikuti perkembangan patogen, pembentukan inokulum baru dan infeksi baru selama satu musim. Beberapa patogen mempunyai banyak generasi per tahun sehingga propagul di produksi hampir setiap saat (sesuai dengan cuaca).

Contoh kasus untuk kejadian ini adalah *P. infestan* penyebab late blight pada kentang dapat mempunyai beberapa generasi per musim. *P. infestan* bertahan hidup dari musim ke musim pada umbi kentang sakit yang tertinggal setelah panen. Inokulum awal terdiri dari sporangia yang dihasilkan pada umbi yang terinfeksi, disebarkan oleh angin dan jika hinggap pada jaringan rentan ada terdapat air bebas serta temperatur cocok, maka akan berkecambah dan penetrasi inang terjadi sehingga dihasilkan lesio. Pada temperatur dan kelembaban yang ideal, jamur akan menghasilkan sporangia pada jaringan yang terinfeksi antara 4-6 hari.

Jamur pada lesio akan terus berkembang, akibatnya lesio membesar dan kembali memproduksi sporangia yang baru yang siap disebarkan oleh angin dan percikan air untuk memulai siklus skunder. *P. infestan* mampu menghasilkan lebih dari 100 ribu sporangia per lesio. Lesio berkembang

sangat cepat sehingga jamur dapat bersporulasi dari lesio yang baru muncul sedangkan lesio yang lama tetap mensupport terjadinya sporulasi, sehingga dapat terjadi overlapping generasi.

Produksi sporangia terutama dipengaruhi oleh cuaca. Walaupun hanya ada proporsi kecil dari sporangia yang menyebabkan infeksi, namun inokulum akan meningkat dengan cepat dan late blight muncul dengan cepat. Apabila generasi mempunyai ciri tersendiri dan tidak overlap, suatu peningkatan populasi terjadi. Jika populasi patogen overlap, reproduksi terjadi terus dan populasi patogen meningkat secara terus menerus/kontinue seperti digambarkan pada Gambar 3.1 Populasi dapat meningkat secara eksponensial.



Gambar 3.1 . Dinamika populasi patogen polisiklik. Peningkatan populasi (Q) dari patogen polisiklik dimana peningkatan populasi dihitung setiap tahun (A), beberapa kali setiap generasi (B) dan kontinue (C). Unit-unit waktu diekspresikan pada generasi (Sumber: Fry,1982).

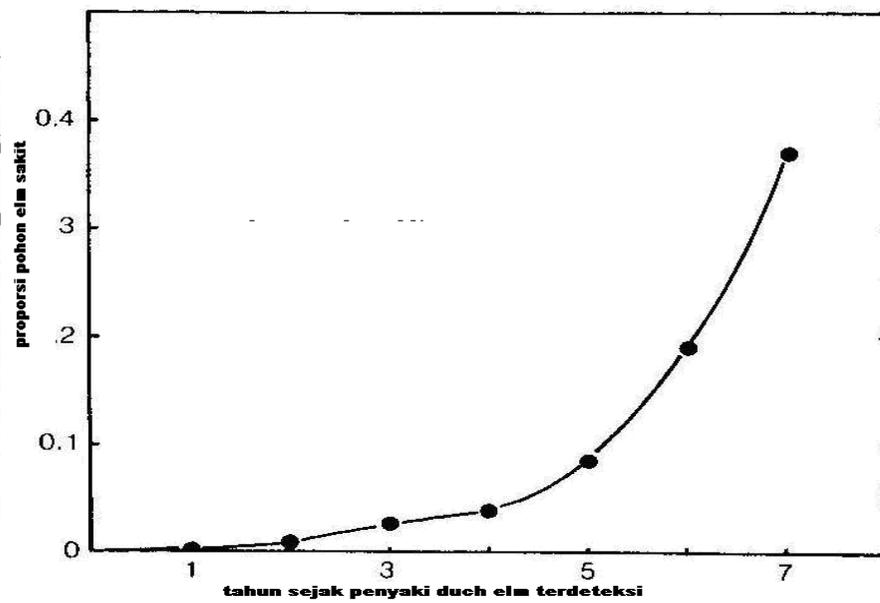
PATOGEN POLIETIK DAN EPIDEMI

Pada patogen monosiklik dan polisiklik biasanya terjadi dalam satu musim. Pada beberapa patogen penting perlu untuk mempertimbangkan dinamika populasi dan perkembangan penyakit pada beberapa musim. Apabila patogen dapat bertahan hidup pada priode yang panjang pada suatu populasi yang besar, kemudian inokulum pada akhir musim setara dengan jumlah inokulum pada awal musim. Apabila inokulum meningkat dari tahun ke tahun, perkembangan patogen dalam sejumlah musim menjadi eksponensial tanpa memperhatikan perkembangannya dalam suatu musim, maka disebut patogen POLIETIK.

Suatu deskripsi peningkatan populasi patogen polietik disajikan pada gambar 3.1 (A). skala waktu berakhir dalam tahunan. Contoh *Ceratocystis ulmi* (termasuk juga penyakit duch elm) adalah monosiklik dalam suatu musim, tetapi penyakit duch elm meningkat secara ekponensial apabila dalam beberapa musim.

Jamur bertahan pada musim dingin pada tanaman yang terinfeksi dan mati karena elm. Kumbang elm yang terkontaminan dengan konidianya ketika mereka hinggap pada bagian ini dapat memindahkannya ke tanaman yang sehat saat mereka makan. Kebanyakan infeksi terjadi pada akhir musim semi dan awal musim panas ketika patogen telah siap mengkolonisasi tanaman yang tumbuh dengan cepat. Dinamika penyakit tersebut pada beberapa tahun adalah eksponensial (Gambar 3.2)

Mekanisme penyebaran demikian memudahkan patogen bertahan antara tanaman ataupun antar musim. Miselium dapat bertahan dalam inang hidup, beberapa patogen bertahan dalam bentuk konidia atau klamidospora pada tanaman debris, yang lain dalam bentuk sklerotia pada tanah ataupun tanaman debris. Patogen lain seperti nematoda dapat bertahan dalam bentuk telur, cysta dalam gall atau dalam bentuk dorman. Virus dan bakteri umumnya bertahan dengan berasosiasi dengan jaringan tanaman.



Gambar 3.2. Proporsi populasi elm duct dengan penyakit elm dalam beberapa tahun epidemi. Insiden pada pear yang terinfeksi meningkat eksponensial selama awal phase epidemi.(polietik) (Van Sickler dan Sterner, 1979 dalam Fry, 1982).

Tidak semua patogen bertahan dari musim ke musim dalam proporsi yang besar, dan untuk ini patogen tidak berkembang eksponetial apabila dipertimbangkan dalam beberapa tahun. Contoh *Puccinia graminis f. sp. Tritici* tidak setiap akhir musim dalam proporsi besar.

3.3.KEPARAHAN PENYAKIT

Keparahan penyakit dan patogen monosiklik atau polisiklik.

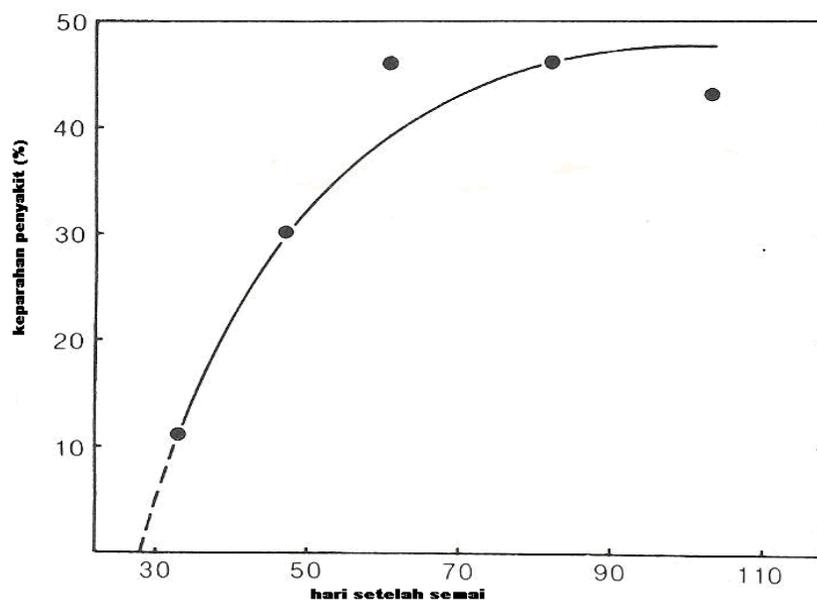
Baik monosiklik ataupun polisiklik menyebabkan penyakit yang sangat berarti dan parah. Walaupun hal itu dapat timbul awal tetapi patogen polisiklik dapat lebih berbahaya dalam pertanian. Karena banyak menghasilkan siklus, secara general tidak lah Demikian. Contoh wheat terinfeksi oleh banyak patogen, dan walaupun rust (polisiklik) mungkin paling buruk, penyakit yang disebabkan patogen tanah umumnya menyebabkan kehilangan hasil yang paling besar. Penyakit yang disebabkan oleh patogen bunga, umumnya menarik perhatian karena dapat dilihat dan karena patogen polisiklik umumnya meningkat dalam populasi secara dramatic melalui reproduksi yang terus-menerus . Penyakit akar tidak begitu diperhatikan karena mereka tidak terlihat dan patogen cenderung mempunyai waktu generasi yang panjang. Populasi patogen monosiklik meningkat karena unit reproductive yang panjang (laju kematiannya lambat) dan populasi meningkat dalam suatu priode waktu yang panjang. Keparahan penyakit merupakan akibat dari populasi yang besar Tanpa memperhatikan kecepatan peningkatan populasi, oleh karenanya keparahan penyakit dapat diakibatkan oleh patogen monosiklik ataupun polisiklik.

3.4.Grafik/kurva yang menggambarkan Epidemi

Grafik yang menggambarkan intensitas penyakit sepanjang waktu diilustrasikan berbeda antara tipe monosiklik dan polisiklik (Gambar 3.3 dan 3.4). Pada Kedua tipe, jumlah penyakit berhubungan (tetapi tidak sama) dengan ukuran populasi patogen. Seringkali, penyakit dianalisa daripada populasi patogen karena penyakit lebih siap untuk diamati dan diukur daripada populasi patogen dan karena penyakit juga langsung berhubungan dengan penurunan hasil. Jumlah jaringan penyakit seringkali ditunjukkan oleh suatu proporsi total jaringan tanaman (Sehat ditambah penyakit) dan diplot sepanjang waktu. Grafik demikian disebut dengan *kurva peningkatan penyakit* . karena epidemi dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dapat berbeda sesuai lokasi dan waktu, bentuk kurva penyakit bervariasi tergantung lokasi

dan waktu. Namun Demikian apabila penyakit diakibatkan oleh patogen monosiklik diplot sepanjang waktu, hasil kurva penyakit biasanya menyerupai suatu kurva **saturasi/jenuh**. Apabila penyakit disebabkan oleh patogen polisiklik diplot dalam satuan waktu, kurva hasil biasanya **sigmoid**.

. Sebagai contoh Perbandingan kurva perkembangan penyakit busuk akar wheat yang disebabkan oleh patogen monosiklik *Cochliobolus sativus* (Gambar 3.3) dengan penyakit late blight pada kentang yang disebabkan oleh pathogen polisiklik *Phytophthora infestans* (Gambar 3.4).



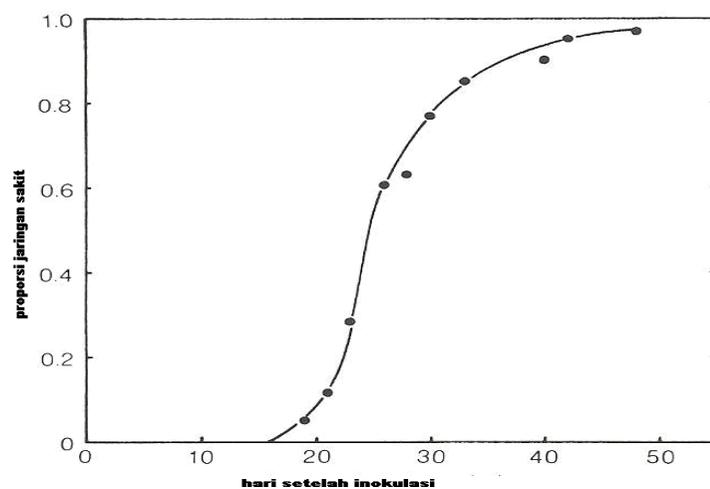
Gambar 3.3. Perkembangan penyakit busuk akar pada wheat (gandum) dalam satu musim. Tipe kurva perkembangan penyakit yang disebabkan oleh patogen monosiklik (Fry, 1982).

Kadangkala kurva perkembangan diperoleh dari analisis langsung populasi patogen. Grafik populasi patogen sepanjang waktu mirip dalam bentuk dengan kurva perkembangan penyakit yang berkoreseponden dan dapat dianalisis. Dalam beberapa Kasus, patogen lebih siap untuk dihitung dari

pada penyakit yang disebabkan. Contoh, cysta dari nematode kentang *Globodera rostochiensis* dalam tanah atau akar kentang lebih mudah diukur daripada nematoda-nematoda yang umumnya mempengaruhi pertumbuhan kentang. Dalam kasus lain perangkap dan pengukuran urespora pada karat yang berpencair/tersebar dari plot sereal memungkinkan para peneliti untuk memonitor epidemi tanpa mengganggu tanaman yang terinfeksi.

Kurva perkembangan penyakit berguna karena kita dapat mempelajari tentang dinamika penyakit, menafsir pengaruh strategi pengelolaan penyakit, dan meramal peningkatan penyakit melalui analisis kurva tersebut.

Kita dapat menggolongkan kisaran laju peningkatan penyakit untuk penyakit tertentu pada suatu lokasi, dan memilih strategi pengelolaan/management yang kemungkinan besar untuk meningkatkan suatu investment dalam Pengendalian. Analisa kita mengenai perkembangan penyakit difasilitasi oleh model peningkatan penyakit. Pertamakali kita akan menguji beberapa model dan kemudian menggunakannya dengan kurva perkembangan penyakit untuk mengembangkan strategi pengelolaan penyakit.



Gambar 3.4. Perkembangan penyakit late blight pada kentang dalam satu musim. Kurva berbentuk sigmoid untuk penyakit yang disebabkan oleh patogen polisiklik (Fry, 1982).

3.5. MODEL PERKEMBANGAN PENYAKIT

Dinamika perkembangan penyakit itu bersifat sangat kompleks. Ahli patologi tanaman menggunakan model matematika untuk membantu dalam analisis dan memahami dinamika penyakit. Model tersebut dicoba untuk menggambarkan dinamika perkembangan penyakit dalam suatu persamaan. Model adalah penyederhanaan dari reality dan digunakan dalam berbagai jalan: untuk menghasilkan hipotesis, untuk mengidentifikasi pertanyaan penting guna investigasi percobaan, dan untuk mengembangkan peramalan yang umum. Menurut Van der Plank model matematik yang mantap adalah alat penting bagi analisis epidemiologikal.

Model untuk penyakit monosiklik

Jumlah penyakit akibat patogen monosiklik dalam satu musim adalah suatu fungsi dari beberapa interaksi faktor (Persamaan 1) . Beberapa faktor patogen adalah ukuran dan distribusi populasi patogen dan kemampuan patogen dalam menyebabkan penyakit. Faktor inang. Termasuk ukuran dan distribusi dari populasi dan ketahanan. Pengaruh lingkungan biotik dan abiotik. Apabila tidak cocok bagi perkembangan patogen, inokulasi dan infeksi tidak akan terjadi, atau penyakit terhambat. Akhirnya lama waktu interaksi antara patogen dan inang pada lingkungan yang mempengaruhinya juga akan berpengaruh terhadap penyakit.

Persamaan berikut menjelaskan bagaimana penyakit dihasilkan dari interaksi inang, lingkungan dan patogen monosiklik dalam suatu waktu.

$$X_t = QRt \dots (2)$$

Dimana: X_t adalah jumlah penyakit pada waktu t , Q adalah jumlah inokulum awal, R adalah efisiensi dari inokulum awal (diukur sebagai laju perkembangan penyakit) dan kesimpulan dari efek lingkungan, ketahanan inang, praktek pertanian, dan kemampuan patogen dalam menyebabkan penyakit, t adalah lama interaksi antara inang dan patogen dalam suatu lingkungan.

Ilustrasi tersebut mengekspresikan beberapa karakter penting dari interaksi antara patogen monosiklik dan populasi inang. Patogen tidak menghasilkan inokulum tambahan yang efektif menyebabkan penyakit selama musim yang sama, sehingga populasi patogen (R) awal tidak bertambah selama musim tersebut. Faktor yang menjelaskan efisiensi patogen (Q) dapat berkisar dari nol sampai nilai positif. Apabila baik Q maupun $R = 0$ maka tidak akan ada penyakit. Lama interaksi antara inang dan patogen (t) dapat mempengaruhi jumlah penyakit walaupun hal tersebut biasanya tidak dapat dimanipulasi.

Analisis selanjutnya dari model menyediakan wawasan dalam management penyakit. Kisaran peningkatan penyakit selama musim digambarkan oleh

$$d_x / d_t = QR \dots\dots\dots (3)$$

Peningkatan penyakit (d_x) selama suatu periode waktu pendek (d_t) adalah suatu fungsi inokulum awal (Q) dan effikasinya (R, suatu kisaran). Dalam analisis ini jumlah penyakit (x) diwakilkan sebagai proporsi populasi inang yang sakit dan proporsi tersebut dapat berdasarkan baik pada total jumlah jaringan inang atau total jumlah inang. Nilai untuk proporsi jaringan inang sakit harus berkisar dari 0 sampai 10. Pers 3 mengabaikan suatu faktor penting (jumlah jaringan sehat) yang dapat mempunyai pengaruh besar terhadap peningkatan penyakit.. Untuk patogen yang diberikan pada suatu lingkungan tertentu kisaran peningkatan penyakit tampaknya lebih besar apabila terdapat sejumlah besar jaringan tanaman (jaringan sehat) daripada jika ada sejumlah kecil. Oleh karena itu persamaan 3 dikoreksi untuk menjelaskan pengaruh jaringan sehat tersebut. (Persamaan 4)

$$d_x / d_t = QR (1-x) \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan dapat dibuat lebih berguna bila kita mengatur kembali menjadi pers 5 dan 6

$$d_x / (1-x) = QR d_t \dots\dots\dots (5)$$

$$\ln (1/(1-x)) = QR_t + k \dots\dots\dots (6)$$

Ln menunjukkan lagoritme alami . Sehingga sebelah kiri persamaan 6 adalah logaritma alami dari $1/ (1-x)$, k adalah konstanta yang dihasilkan dari integrasi ($k = \ln (1/(1-x_0))$ dimana x_0 adalah jumlah penyakit pada $t = 0$)

Kita dapat menggunakan persamaan 6 untuk meramal pengaruh suatu management penyakit yang dikehendaki untuk mencapai suatu penekanan jumlah penyakit yang diharapkan. Contoh Seandainya kita ingin membatasi level akhir Verticillium wilt pada lahan kapas yang dijelaskan pada gambar 3.5 sampai 10%. Pendekatan kita untuk menurunkan populasi awal dari *V. dahliae* dalam tanah. Untuk tujuan ini kita asumsikan R, t dan k menjadi sama setelah penurunan populasi awal seperti sebelumnya. Karena itu

$$\ln (1/(1-x_1)) / \ln (1/(1-x_2)) = Q_1 / Q_2$$

dimana $x_1 = 0,9$, $x_2 = 0,1$ dan $Q_1 = 24$ mikrosklerotia per gram tanah dan Q_2 akan dideterminasi. Dengan substitusi maka akan didapat

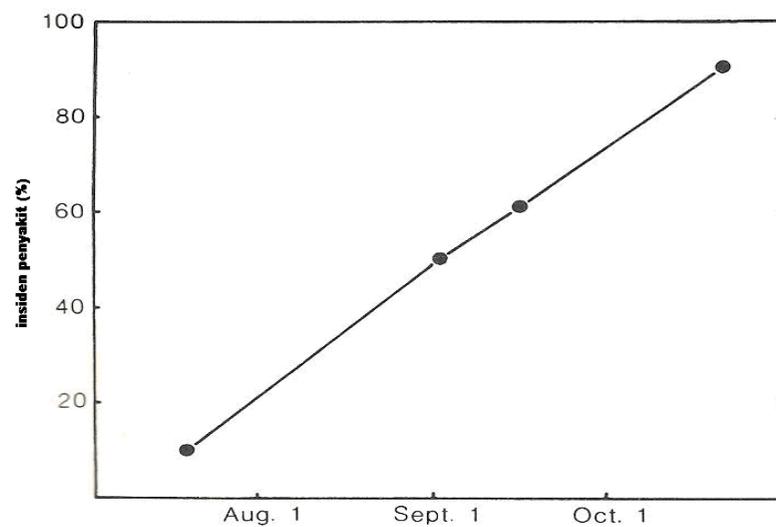
$$\ln (1/(1-0,9)) / \ln (1/(1-0,1)) = 24 / Q_2$$

$$Q_2 = (24) (0,095/2,302) = 1.098$$

Dari hal tersebut kita tahu bahwa untuk membatasi proporsi tanaman kapas yang terinfeksi sampai 10 persen pada akhir musim, maka kita harus menekan populasi awal microslerotia dari 24 menjadi 1 per gram tanah.

Persamaan 6 sangat penting karena mencakup pembatasan pengaruh jaringan sehat terhadap perkembangan penyakit. Pada level penyakit yang tinggi (populasi patogen tinggi), ada sedikit jaringan sehat yang tersedia untuk diinfeksi. Sebagaimana populasi patogen menjadi sangat padat, perkembangannya selanjutnya terbatas oleh jaringan sehat yang tersedia, sehingga pertumbuhannya berikutnya tergantung pada kepadatannya. Karena ketergantungan kepadatan belum termasuk maka kita prediksi bahwa populasi awal perlu diturunkan sampai $(1/9 \times 24)$ atau 2.7 microslerotia per gram. Karena patogen monosiklik tidak menghasilkan inokulum yang infeksiif selama musim yang berjalan, Van der plank menunjukkan untuk menurunkan

penyakit dengan **bunga sederhana**. **Bunga** (inokulum) dihitung hanya pada akhir musim. *Verticillium wilt* adalah contoh patogen berbunga sederhana.



Gambar 3.5. Peningkatan penyakit pada kapas akibat terinfeksi *Verticillium dahliae* selama satu musim. Peningkatan penyakit hampir linear dengan waktu dan tidak eksponensial. Populasi patogen awal adalah 24 microslerotian/gram tanah (Ashworth *et al*, 1979 dalam Fry, 1982).

Model untuk penyakit polisiklik

Penyakit yang diakibatkan oleh patogen polisiklik dipengaruhi oleh faktor-faktor yang sama seperti ditunjukkan oleh persamaan 1. yaitu yang mempengaruhi patogen monosiklik dan juga oleh kontribusi produksi inokulum tambahan dan efektif dalam suatu musim. Penyakit akibat polisiklik dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi populasi patogen awal, kemampuannya menimbulkan penyakit, ketahanan inang, faktor lingkungan, manipulasi pertanian, waktu selama interaksi patogen dan inang dan laju reproduksi patogen.

Suatu ekspresi matematika sederhana akan membantu kita memahami implikasi peningkatan penyakit dari reproduksi patogen selama satu musim.

Pada interval waktu yang pendek (dt) selama musim, laju penyakit meningkat (dx/dt) sebagai suatu fungsi perubahan ukuran populasi patogen, efisiensi dari populasi tersebut dalam menyebabkan penyakit dan proporsi jaringan inang yang tersedia bagi patogen. Ukuran populasi patogen adalah suatu fungsi dari jumlah penyakit (x) karena patogen pada jaringan memproduksi inokulum dan jumlah jaringan sakit yang besar akan memungkinkan produksi propagul lebih banyak dari pada jumlah yang sedikit. Hubungan antara jaringan sakit dan inokulum adalah termasuk dalam suatu faktor (r) yang juga menjelaskan efisiensi inokulum. Laju peningkatan penyakit ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$Dx/dt = xr(1-r) \dots\dots\dots (7).$$

Dx/dt = laju peningkatan penyakit pada waktu yang spesifik, x adalah proporsi jaringan sakit, r adalah laju/kisaran dimana infeksi baru terjadi (laju infeksi). Ekspresi yang menjelaskan peningkatan penyakit oleh polisiklik (persamaan 7) mirip dengan yang menjelaskan monosiklik (pers. 4) dimana keduanya mempunyai faktor ketergantungan kepadatan ($1-x$). Pada monosiklik inokulum konstan (Q) tetapi fungsi variabel jaringan sakit (x) untuk polisiklik. Persamaan 7 dapat disederhanakan apabila jumlah jaringan sakit sangat kecil (misal $< 0,01$). Dan ($1-x$) menjadi 1. sehingga persamaan 7 menjadi

$$dx/dt = xr \dots\dots\dots (8)$$

Dan dapat disusun kembali menjadi

$$dx/x = r dt \dots\dots\dots(9)$$

dan diintegrasikan menjadi

$$\ln x = rt + k$$

Apabila $t = 0$, integrasi konstan = x_0 , nilai x pada awal periode dipertimbangkan maka

$$x = x_0 e^{rt} \dots\dots\dots (11)$$

dimana:

x adalah jumlah penyakit pada waktu t , x_0 adalah jumlah penyakit awal (pada $t=0$), e adalah laogaritme dasar (=2.73), r adalah laju pertumbuhan eksponensial, jadi pada level rendah penyakit akibat polisiklik meningkat secara eksponensial (Gambar 3.1 C). Pada tingkat penyakit yang tinggi laju peningkatan dibatasi oleh pengurangan ketersediaan jaringan yang belum terinfeksi, sehingga laju peningkatan penyakit menurun, dan kurva perkembangan penyakit mendekati batas tertinggi (Gambar 3.4). Model tersebut diakibatkan oleh polisiklik (persamaan 7 serta grafiknya) sangat membantu untuk memperjelas epidemi penyakit tanaman.

Pertumbuhan eksponensial adalah suatu fenomena dramatik. Pada saat populasi patogen rendah, peningkatan absolut populasi patogen /penyakit adalah kecil, tetapi pada saat populasi patogen tinggi, peningkatan populasi patogen/penyakit dapat sangat besar. Contoh suatu jumlah penyakit yang sangat kecil dihasilkan dalam suatu jumlah penyakit yang kecil, tetapi penggandaan penyakit jika sebagian jaringan sudah terinfeksi akan mengakibatkan semua jaringan terinfeksi. Persamaan ini adalah eksponensial alami dari penyakit polisiklik meningkat yang mengakibatkan petani

menganggap late blight pada kentang dan southern leaf blight pada jagung sebagai peledakan. Karena polisiklik menghasilkan inokulum efektif dari jaringan tanaman sakit selama epidemik maka van de plank menunjukkannya sebagai **penyakit berbunga majemuk**.

Ketergantungan kepadatan dan pertumbuhan logistik.

Eksresi yang digunakan untuk menggambarkan ketergantungan kepadatan (sisa jaringan inang yang tersedia untuk infeksi, $(1-x)$ adalah suatu bentuk spesial model pertumbuhan logistik. Kurva pertumbuhan untuk suatu pertumbuhan populasi secara logistik adalah sigmoid (Gambar 3.6 C). Model ini telah sejak lama digunakan dalam teori dinamika populasi dan lebih umum dalam bentuk

$$Dx/dt = rx (K-x)/K$$

Dx/dt adalah peningkatan laju populasi yang diamati, r = laju pertumbuhan, x adalah ukuran populasi dan K adalah tingkat kejenuhan/daya dukung lingkungan.

Untuk penyederhanaan kita menggunakan x (penyakit) sebagai suatu total proporsi (populasi inang) dan $K = 1$, karena semua jaringan inang dapat terinfeksi. Model pertumbuhan logistik berguna karena dapat memberikan analisis yang memuaskan pada seksi berikutnya.

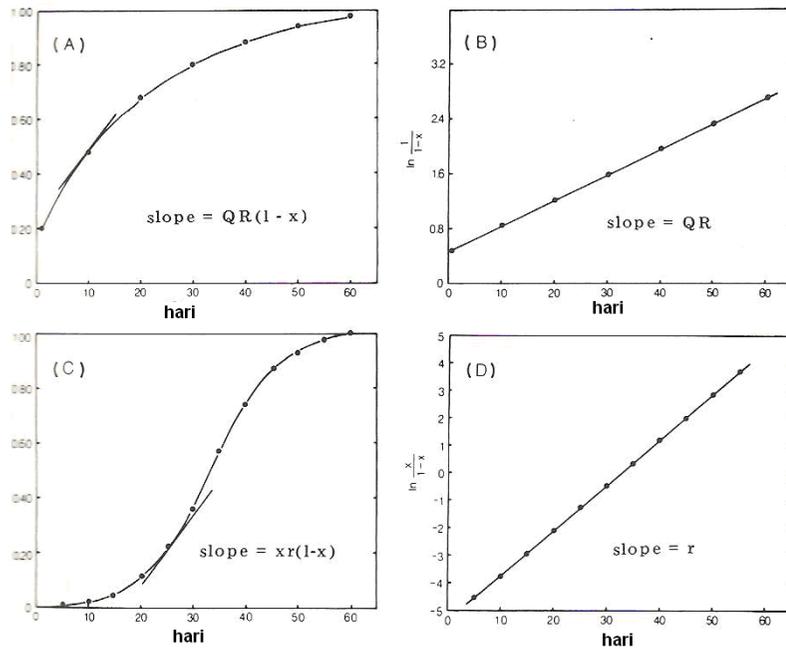
3.6. ESTIMASI PARAMETER MODEL

Untuk menginvestigasi epidemi dengan model penyakit monosiklik dan polisiklik, kita perlu mengestimasi parameter-parameternya (Q dan R , x_0 dan r ; lihat persamaan 6 dan 11).

Sebagai contoh untuk membandingkan epidemi kita dapat mengestimasi efisiensi inokulum awal (R) untuk patogen monosiklik atau laju peningkatan penyakit (r) untuk polisiklik.

Langkah yang pertama adalah mengobservasi suatu epidemik dalam suatu waktu/musim. Kita catat proporsi jaringan yang terinfeksi dan construct suatu kurva peningkatan penyakit. Bentuk untuk penyakit monosiklik adalah kurva jenuh/saturation sedang polisiklik adalah sigmoid (Gambar 3.6 A dan C) jika sebagai pengganti (x) kita plot $\ln (1/(1-x))$ untuk monosiklik dan $\ln (x/(1-x))$ untuk penyakit polisiklik.

Kita dapat meluruskan garis secukupnya untuk dapat menghitung slope dan intercept menggunakan analisis regresi (Gambar 3.6 B dan D). Kita menggunakan $1/(1-x)$ untuk penyakit monosiklik karena inokulum tidak meningkat selama semusim, dan menggunakan $x/(1-x)$ untuk penyakit polisiklik karena inokulum meningkat selama musim. Slope dihasilkan dari suatu plot $\ln (1/(1-x))$ versus waktu untuk polisiklik adalah r , sebagai laju infeksi. Penghitungan R atau r dapat menyediakan dasar-dasar untuk banyak perbandingan. Contoh seseorang dapat menggunakan R atau r untuk membandingkan efektivitas berbagai perlakuan untuk menekan patogen, atau membandingkan kemampuan dua isolat patogen yang berbeda untuk menyebabkan penyakit.



Gambar 3.6. Transformasi logit. Grafik (A) dan (C) mewakili pertumbuhan logistik penyakit yang disebabkan oleh patogen monosiklik dan polisiklik. Transformasi yang tepat, $\ln 1/(1-x)$ untuk monosiklik (B) dan $\ln x/(1-x)$ untuk polisiklik (D) (Vander Plank, 1963 dalam Fry, 1982).

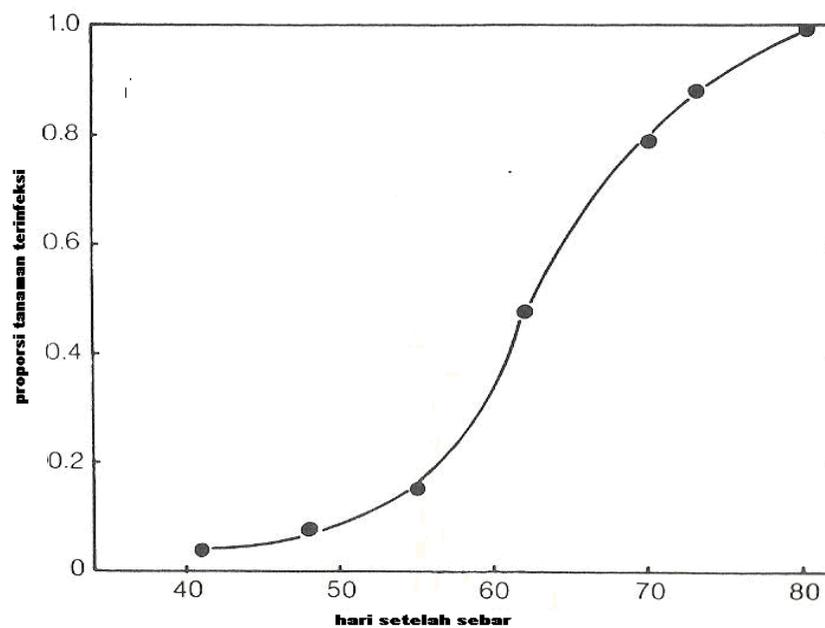
Hubungan antara kepadatan inokulum awal dan intensitas penyakit pada akhir musim diukur seseringkali untuk monosiklik karena inokulum awal sangat kritis. Laju peningkatan penyakit untuk monosiklik kurang umum digunakan untuk perbandingan, namun demikian untuk polisiklik laju peningkatan penyakit (sering dihitung sebagai laju infeksi) umum diukur. Parameter lain yang digunakan untuk menjelaskan epidemik termasuk tingkat akhir penyakit, waktu yang diperlukan untuk 50% dari populasi inang yang sakit dan areal dibawah kurva peningkatan penyakit.

Model-model umum

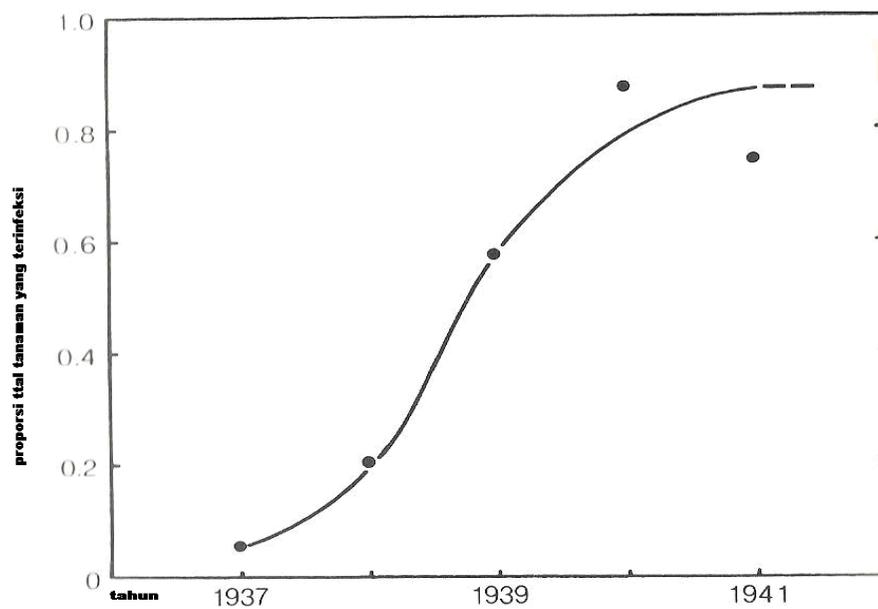
Walaupun model yang telah diilustrasikan dengan penyakit yang disebabkan jamur, mereka dapat juga digunakan untuk epidemi yang disebabkan

penyakit *Epidemiologi Penyakit Tumbuhan. Nurhayati 2011*
nonpersisten

36



Gambar 3. 7. Intensitas tanaman timun yang terinfeksi CMV selama musim tanam. Intensitas meningkat secara eksponetial selama awal musim sampai tanaman sehat terbatas (Loebenstein *et al*, 1966 dalam Fry, 1982).

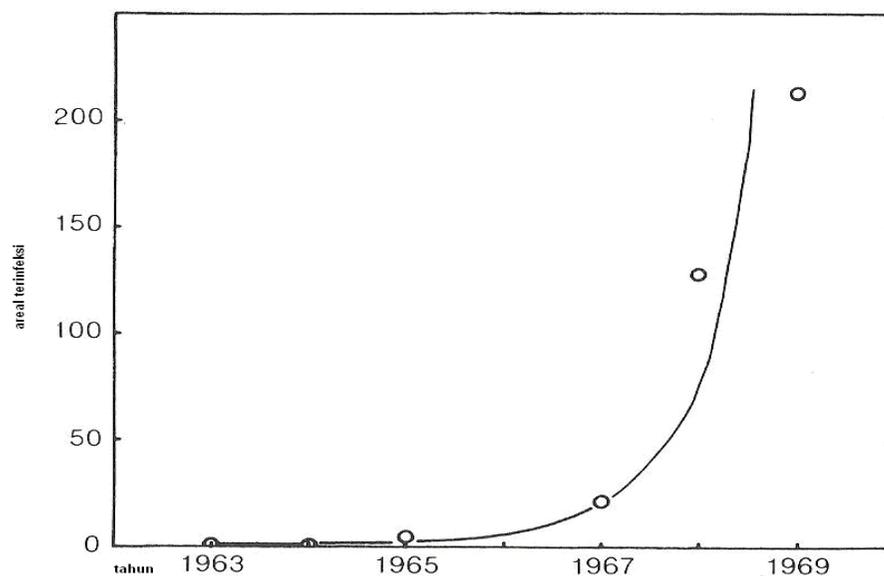


Gambar 3.8 Intensitas busuk akar kapas yang disebabkan oleh *Phymatotrichum omnivorum* (Jordan *et al*, 1948 dalam Fry, 1982) .

Berbagai aplikasi dari model-model ini, cocok untuk pengamatan dinamika penyakit. Contoh untuk patogen yang hidupnya panjang maka model eksponensial atau logistik menjelaskan peningkatan penyakit pada suatu lahan yang spesifik atau lokal sepanjang tahun. Busuk akar pada kapas oleh *Phymatotrichum omnivorum* adalah monosiklik tetapi sklerotianya dapat bertahan hidup dari musim ke musim dan populasi patogen meningkat setiap akhir tahun (polyetic) pada lahan yang mempunyai kapasitas dukung sehingga suatu plot dari intensitas penyakit pada akhir versus waktu menjadi sigmoid (Gambar 3.8).

Seseorang bahkan dapat menggunakan model untuk menjelaskan peningkatan jumlah lahan yang terinfeksi sepanjang periode beberapa tahun. Contoh plot dengan sejumlah lahan terinfeksi *F. oxysporum f. sp. Pisi* pada

daerah pertanaman kacang pea adalah eksponensial (Gambar 3.9). Kedua contoh diatas mengilustrasikan bahwa patogen soil borne dapat meningkat secara mendadak sepanjang periode tahun dan peningkatan penyakit dapat melaju dengan cepat walaupun pada awal tahun lambat. Dalam Kasus ini model memungkinkan kita untuk membuat prediksi umum dari analisis peningkatan penyakit pada tahun tersebut.



Gambar 3.9. intensitas lahan kacang yang terinfeksi *F. oxysporum* f sp. Pisi. Jumlah lahan penanaman kacang yang terinfeksi meningkat secara eksponensial selama awal tahun epidemi (Huglund and Jasmin, 1978 dalam Fry, 1982).

3.7. Model dan strategi pengelolaan penyakit

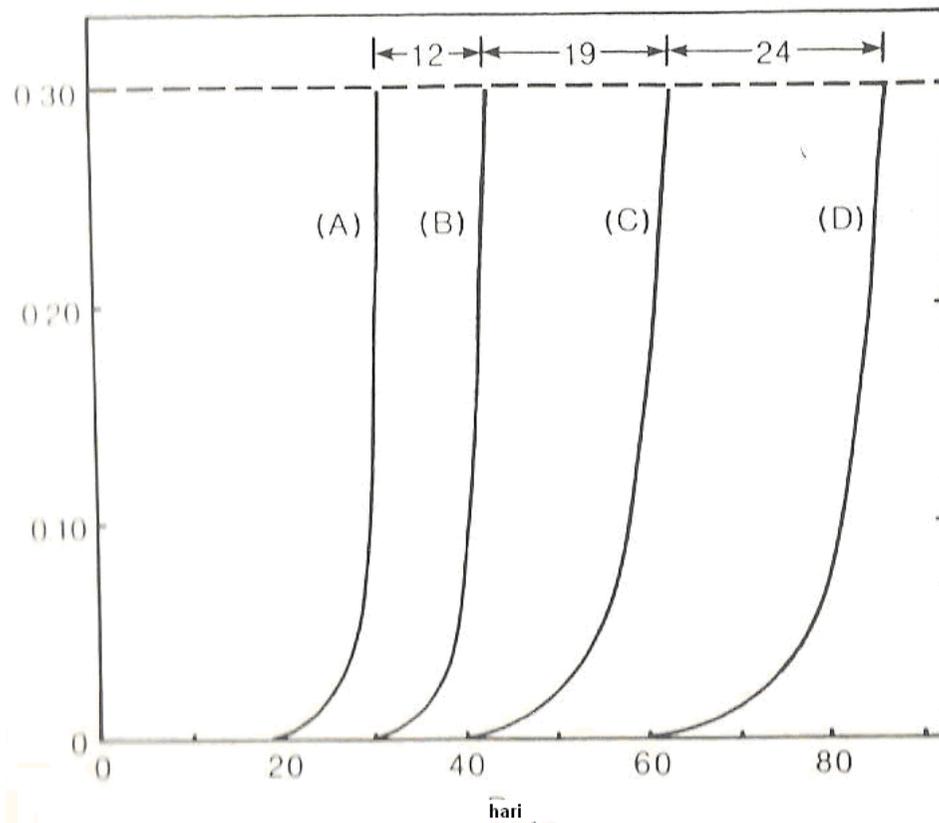
Analisis tentang patogen dan dinamika penyakit telah secara jelas mengidentifikasi suatu perbedaan penting antara monosiklik dan polisiklik. Perbedaan tersebut akan berpengaruh terhadap strategi yang digunakan dalam menekan penyakit monosiklik dan polisiklik. Untuk

patogen monosiklik, penyakit langsung berhubungan dengan usuran populasi diawal musim (Q pada Persamaan 2), karena propagul dihasilkan selama musim tidak menimbulkan penyakit baru pada musim yang sama. Baik populasi patogen maupun peningkatan penyakit tidak secara eksponensial. Oleh sebab itu terdapat hubungan langsung antara populasi patogen awal dan penyakit pada akhir musim. Kontras dengan polisiklik yang menghasilkan inokulum efektif selama musim yang sama dan penyakit yang disebabkan meningkat secara eksponensial (Persamaan 11) atau secara logistik (Persamaan 7).

Strategi yang digunakan untuk menekan perkembangan penyakit harus diseleksi berdasarkan hubungan antara inokulum awal dan perkembangan penyakit. Untuk penyakit yang disebabkan oleh patogen monosiklik pada satu musim, aktivitas yang menurunkan populasi (Q pada Persamaan 2) atau menurunkan efisiensi penyakit (R pada Persamaan 2) lebih diutamakan.

Strategi untuk menangani penyakit akibat patogen polisiklik tergantung pada jumlah inokulum awal dan laju karakteristik dari peningkatan eksponensial patogen tertentu. Menurut Van der Plank dengan penurunan penyakit awal (x_0), penurunan laju pertumbuhan eksponensial (R) atau penurunan waktu (t) selama terjadi interaksi antara patogen dan inang. Model tersebut hanya digunakan pada tingkat penyakit rendah ($x < 0.3$) agar ketergantungan kepadatan tidak berpengaruh besar terhadap hasil.

Apabila kita atur/set $x_0 = 1 \times 10^6$ dan $r = 0.4$ sebagai nilai khas beberapa penyakit, epidemik mencapai $x = 0.3$ kira-kira 32 hari setelah awal terjadi penyakit timbul (Gambar 3.10 A). Apabila kita turunkan level awal penyakit dengan suatu faktor dari 100 ($x_0 = 1 \times 10^8$), epidemik mencapai 0.3 kira-kira 12 hari kemudian (44 hari setelah inokulasi awal) (gambar 3.10 B). Jika kita menurunkan laju peningkatan dari $r = 0.2$ dan mengatur $x_0 = 1 \times 10^6$, epidemik terjadi 66 hari setelah timbulnya penyakit (3.10 C). karenanya apabila laju pertumbuhan eksponensial tinggi, penurunan inokulum adalah suatu nilai batas dalam menekan penyakit dan laju peningkatan penyakit perlu diturunkan.



Gambar 3.10. grafik pertumbuhan eksponensial sebagai suatu fungsi dari perubahan x_0 dan r . Kurva menggunakan formula pertumbuhan eksponensial ($x = x_0 e^{rt}$). Nilai x_0 dan r untuk setiap kurva adalah (A) 10^{-6} , 0.4; (B) 10^{-8} , 0.4; (C) 10^{-6} , 0.2; (D) 10^{-8} , 0.2. (Fry, 1982).

Apabila laju pertumbuhan eksponensial adalah moderat (misal $r = 0.2$) atau lambat, penurunan jumlah inokulum awal cukup dapat menekan penyakit. Bila $r = 0.2$, suatu penurunan penyakit awal dari $x_0 = 1 \times 10^{-6}$ menjadi $x_0 = 1 \times 10^{-8}$ berarti bahwa penyakit mencapai dari 0.3 pada 86 hari daripada 63 hari setelah timbul penyakit (Gambar 3.10 C dan D). Dengan

demikian penurunan jumlah penyakit awal lebih efektif menunda epidemik daripada yang cepat. Apabila jumlah inokulum awal tinggi, baik laju pertumbuhan eksponensial maupun jumlah inokulum awal harus diturunkan.

Dua prinsip dasar dalam management penyakit adalah

1. Penyakit monosiklik lebih efisien ditekan dengan penurunan jumlah atau efisiensi inokulum awal
2. Penyakit polisiklik lebih efisien dengan penurunan sejumlah besar inokulum awal dan/atau dengan membatasi laju potensial peningkatan penyakit.

Berdasarkan model perkembangan penyakit tersebut diatas maka dapat disusun 3 strategi utama pengelolaan penyakit tumbuhan yaitu

- a. Mengurangi inokulum awal (Q untuk monosiklik, X_0 untuk polisiklik)
- b. Mengurangi laju infeksi (R untuk monosiklik, r untuk polisiklik)
- c. Mengurangi periode epidemik penyakit (t).

Dalam model epidemi monosiklik terlihat bahwa peranan Q, R dan t terhadap X_0 setara, suatu pengurangan inokulum awal atau laju infeksi akan menyebabkan penurunan level intensitas penyakit dengan proporsi yang sama pada waktu t selama periode epidemik. Jika t dapat diturunkan (misal dengan menanam lebih awal atau menggunakan tanaman umur genjah) maka jumlah penyakit akan menurun secara proporsional.

Selanjutnya untuk model epidemi polisiklik maka:

1. Bila r sangat tinggi, pengaruh nyata dari penurunan X_0 adalah penundaan epidemik
2. Bila r sangat tinggi, X_0 harus diturunkan hingga tingkat yang sangat rendah agar dapat diperoleh hasil yang signifikan.

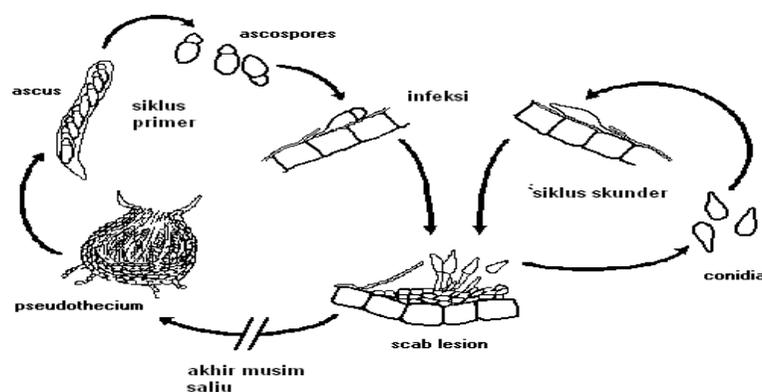
3. Penurunan r akan memberikan dampak pengendalian penyakit yang lebih besar dibanding dengan penurunan X_0
4. Penurunan X_0 merupakan strategi yang tepat bila r rendah atau dilakukan bersamaan dengan penekanan r .

Dari uraian diatas jelas sekali bahwa untuk pengelolaan penyakit tumbuhan dengan tepat sangat diperlukan pengetahuan yang memadai mengenai ekobiologi patogen, inang dan interaksinya dengan lingkungan biotik dan abiotik. Pengetahuan dan penguasaan faktor-faktor yang berperan dalam epidemi sangat lah penting agar mampu memperkirakan/meramalkan terjadinya penyakit per satuan waktu dan populasi tertentu. Selain itu penguasaan dalam mendiagnosis dan identifikasi penyakit, pengetahuan mengenai faktor penting yang dapat mempengaruhi setiap penyakit serta kemampuan mengukur intensitas penyakit secara kualitatif maupun kuantitatif sangat diperlukan. Dengan demikian akan dapat ditetapkan prakiraan perkembangan penyakit dengan akurat dan mampu merekomendasikan strategi pengelolaan penyakit yang kompatibel serta efektif dan efisien. Pengelolaan penyakit yang berdasarkan epidemiologi harus selalu mempertimbangkan agroekosistem secara menyeluruh. Tiga strategi major pengelolaan penyakit diatas dapat dimodifikasi untuyk mendapatkan strategi penyakit yang lebih handal untuk merefleksikan dampak kuantitatif dari suatu tindakan bukan efek pemusnaan yang absolut. Adapun strategi tersebut dapat meliputi penghindaran, eklusi, eradikasi, proteksi, resistensi dan terapi.

FAKTOR LINGKUNGAN DAN PERKEMBANGAN PENYAKIT TANAMAN

4.1. Faktor Lingkungan

Keterkaitan faktor lingkungan dengan perkembangan suatu penyakit tanaman sangat jelas. Hal ini mengingat tanaman tumbuh pada suatu media tumbuh, pada suatu ruang/wilayah, di mana membutuhkan cahaya, kelembaban dan udara serta berhubungan erat dengan keberadaan organisme lain. Dengan kata lain penyakit tanaman membutuhkan unsur lingkungan berupa komponen ruang, lingkungan fisik, lingkungan fisik-kimia dan lingkungan biotik serta waktu. Pada Bab ini akan diuraikan secara rinci yang secara langsung atau tidak langsung keterkaitan antara faktor lingkungan dengan unsur-unsur selama berlangsung perkembangan penyakit tanaman. Pada Gambar 4.1. disenaraikan contoh siklus perkembangan penyakit apple scab yang menggambarkan keterkaitan antara faktor2 tersebut.



Gambar 4.1. siklus penyakit scab pada tanaman apel

(Sumber:www.apsnent.org, 2010).

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa suatu patogen mengalami daur hidup yang merupakan perkembangan dari suatu keadaan menjadi keadaan yang lain. Luka awal pada tanaman apel mempunyai konidiopora yang menghasilkan konidia. Konidia tersebut selanjutnya terdistribusi melalui faktor air dan faktor angin. Konidia yang terdispersi tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti hujan, angin, kelembaban dan temperatur. Spora yang terdampar pada suatu tempat di tanah selanjutnya berkecambah. Perkecambahan tersebut dipengaruhi secara langsung maupun tidak langsung oleh faktor-faktor kelembaban daun, temperatur, kelembaban udara dan cahaya matahari. Perkecambahan konidia selanjutnya mempengaruhi infeksi penyakit pada tanaman inang. Infeksi tersebut dipengaruhi secara nyata oleh faktor temperatur dan kepekaan tanaman inang. Infeksi penyakit pada tanaman akan berlangsung menurut masa inkubasi tertentu. Luka yang subur setelah mengalami masa inkubasi akan mengikuti daur hidupnya.

Lebih jauh akan dijelaskan bahwa komponen lingkungan satu mempunyai keterkaitan yang erat dengan yang komponen lingkungan lainnya.

4.1.1.Komponen Ruang

Ruang merupakan tempat terjadinya proses perkembangan penyakit tanaman. Secara keruangan proses perkembangan penyakit terjadi dalam lingkungan mikro, meso dan makro.

Ruang mikro adalah ruang tingkat sel dan organ tempat terjadinya perkembangan suatu penyakit. Misalnya phyllosphere adalah lingkungan mikro dari daun, termasuk lapisan udara sangat tipis sekelilingnya setebal 1 mm, jadi berdimensi tiga. Sedangkan phylloplane berdimensi dua, sebab hanya permukaan daun saja yang menjadi pusat perhatian.

Ruang meso dibentuk oleh pertanaman itu sendiri termasuk lingkungan disekitarnya, yang berdimensi tiga. Suatu pertanaman meliputi luasan tertentu yang terdiri dari panjang, lebar dan tinggi. Panjang areal pertanaman bisa dari hanya beberapa meter hingga beberapa kilometer. Tinggi pertanaman yang merupakan ruang terdiri dari hanya beberapa sentimeter hingga beberapa puluh meter.

Ruang makro adalah udara di atas tanaman hingga jauh ke troposfir yang berkisar 16-18 km di atas permukaan laut. Proses perkembangan suatu penyakit pada ruang makro ini misalnya dispersi jarak jauh spora. Contohnya spora penyakit karat pada kopi *Hemileia vastatrix*, datang ke Indonesia dari Sri Lanka melalui udara mengikuti aliran angin, yang menghancurkan kopi Arabika pada tahun 1876.

4.1.2. Faktor Lingkungan Fisik.

Faktor lingkungan fisik senantiasa berubah. Proses fisik tidak ubahnya dengan sesuatu yang mengalir (fluks). Fluks tersebut mempunyai kepadatan tertentu yang dapat diekspresikan dengan pengaliran sesuatu materi dalam jumlah tertentu per satuan waktu melewati luas permukaan tertentu pula. Fluks dimaksud misalnya aliran energi.

Faktor lingkungan yang diketahui banyak pengaruhnya terhadap perkembangan penyakit meliputi: suhu, cahaya, kelembaban, irigasi, aliran gas, debu, spora patogen dan lain-lain.

4.1.3 Faktor Lingkungan Fisik-Kimia

Lingkungan fisik-kimia yang mempengaruhi perkembangan suatu penyakit tanaman adalah lingkungan fisik dan kimia yang terdapat di luar dan di dalam tanaman itu sendiri. Sebagai contoh eksudat yang keluar dari bagian tanaman mengandung zat-zat yang dapat digunakan sebagai medium oleh

suatu patogen tertentu. Eksresi yang keluar dari akar bersifat merangsang, menekan atau membunuh nematoda.

Pupuk kimia, zat perangsang dan pestisida merupakan lingkungan kimia bagi suatu penyakit tanaman dan perkembangannya. Fungisida tertentu terkadang merangsang pertumbuhan tanaman; sejenis senyawa karbamat yang berfungsi memberantas penyakit-penyakit daun ternyata dapat meningkatkan hasil tanaman (bila tidak ada penyakit) karena umur daun menjadi lebih panjang beberapa hari hingga lebih banyak asimilat yang dapat mengisi biji. Fungisida seperti itu sesungguhnya lebih berfungsi sebagai tonik. Pupuk urea yang berlebihan ternyata dapat menjadikan tanaman lebih rentan terhadap serangan patogen.

4.1.4.Faktor Lingkungan Biotik

Lingkungan biotik mencakup spesies makhluk hidup lainnya selain tanaman inang-patogennya, terutama mikroorganisme. Permukaan tanaman seperti batang, cabang, ranting dan daun umumnya dihuni oleh sejumlah spesies mikroorganisme yang memanfaatkan energi dari eksudat bagian tanaman tersebut. Pengaruh organisme ini terhadap perkembangan patogen dapat bersifat positif, negatif maupun netral. Sebagai contoh, *Mycosphaerella musicola* yang menyerang daun pisang hanya bisa menginfeksi sehari atau dua hari setelah daun mengembang, sebelum daun muda tersebut dikolonisasi penuh oleh mikroorganisme lainnya.

4.2.PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN TERHADAP PERKEMBANGAN PENYAKIT TANAMAN

Faktor lingkungan fisik yang berpengaruh terhadap penyakit tanaman seperti disebutkan sebelumnya meliputi temperatur, radiasi matahari, kelembaban, irigasi dan angin. Masing-masing faktor secara sendiri-sendiri maupun secara bersama-sama mempengaruhi perkembangan suatu penyakit (Tabel 4.1)

Tabel 4.1 terlihat bahwa faktor suhu, kelembaban dan kebasahan daun merupakan faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi perkembangan patogen dan penyakit tanaman. Suhu mempunyai peranan penting dalam perkembangan penyakit tanaman pada umumnya.

Temperatur mempengaruhi penyakit tanaman karena temperatur ada yang bersifat minimum, ada pula yang optimum dan bahkan ada yang bersifat maksimum. Penyakit akan mengalami perkembangan yang tercepat terjadi pada saat temperatur optimal, tetapi di bawah ataupun di atas temperatur tersebut perkembangannya menjadi terhambat.

Jika temperatur minimum, optimum dan maksimum dari patogen sama dengan temperatur untuk tanaman inangnya, maka pengaruh temperatur terhadap patogen menjadikannya sangat aktif dibandingkan inangnya. Jadi meskipun inangnya berada pada kondisi pertumbuhan optimumnya tetap saja mengalami gangguan serius. Hal ini dikarenakan pada kondisi tersebut patogen masih lebih aktif untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya .

Pada kasus tertentu penyakit tertentu berkembang pada temperatur di bawah temperatur optimum inang maupun patogennya. Misalnya penyakit busuk akar hitam pada tanaman tembakau yang disebabkan oleh *Thielaviopsis basicola*. Penyakit ini mengalami perkembangan secara optimal pada temperatur 17 sampai 23 °C, sedangkan temperatur optimalnya untuk tembakau adalah 28-29 dan untuk patogennya adalah 22-28 oC. Karena tembakau tumbuh sangat lemah pada temperatur yang jauh di bawah optimalnya, sehingga patogen lemahpun masih bisa menyerang tanaman tersebut.

Tabel 4.1. Pengaruh faktor cuaca terhadap fase perkembangan patogen dan penyakit tanaman

Faktor cuaca	Fase
Kelembaban bebas daun dari hujan, embun/kabut, irigasi dan gutasi, lama suhu tertentu dalam priode tersebut	Infeksi dan perkecambahan
Lama suhu udara yang sesuai dan tidak sesuai, suhu daun	Inkubasi, periode laten, dan perkembangan gejala
Kelembaban bebas daun, kelembaban relatif yang tinggi, suhu, cahaya dan radiasi	Sporulasi
Kecepatan angin, suhu, kelembaban relatif, kelembaban bebas daun, hujan atau percikan air hujan	Penyebaran spora
Suhu, kelembaban relatif, radiasi (UV)	Daya tahan hidup spora

Sumber: Rapidly, 1983 *dalam* Friesland dan Schrodter, 1988.

Patogen lain ada juga yang berkembang pesat pada temperatur di bawah temperatur optimum inang dan patogennya. Contoh kasus ini adalah pada jagung yakni penyakit busuk akar oleh *Gibberella zae*. Pada gandum kasusnya lain lagi. Penyakit ini justru berkembang maksimum pada temperatur di atas temperatur optimum gandum dan patogennya. Dalam konteks tersebut, mengingat jagung tumbuh lebih baik pada temperatur tinggi dan gandum tumbuh lebih baik pada temperatur rendah, maka perbedaan pengaruh temperatur pada penyakit yang sama pada inang berbeda lebih disebabkan oleh faktor tanaman inangnya.

Di Indonesia perbedaan temperatur yang nyata hanya terdapat antara dataran rendah yang bersuhu lebih tinggi dan dataran tinggi yang bersuhu lebih rendah di mana masing-masing lokasi ini mempunyai pola perkembangan penyakit yang biasanya berbeda. Sebagai contoh tingkat keparahan penyakit gugur daun karet *Corynespora*. Pada perkebunan karet yang terletak di tempat yang lebih tinggi yang bersuhu lebih rendah, meskipun mengalami serangan namun pengguguran daun tanaman jarang terjadi. Keadaan suhu yang lebih rendah diduga merupakan faktor penghambat bagi perkembangan patogen. Beberapa hasil pengamatan menunjukkan bahwa cuaca lembab atau mendung dengan curah hujan merata sepanjang hari serta suhu udara 26-29 °C akan membantu perkembangan penyakit gugur daun *Corynespora* di lapangan, sedangkan pada suhu, 30 dan 35 °C akan terhambat perkembangannya. Infeksi dapat terjadi pada kisaran suhu 20-35 °C dengan suhu optimum 25 °C. Jika udara jenuh, infeksi dapat terjadi tanpa adanya air.

Selain temperatur udara, temperatur tanah berperan penting dalam perkembangan penyakit yang patogennya hidup dalam tanah (soil borne patogen). Itulah sebabnya mengapa jamur *Rhizoctonia solani* dan nematoda *Meloidogyne incognita* menyerang inangnya pada temperatur tanah yang kritis dan jumlah inokulum banyak.

Faktor fisik lingkungan lainnya adalah irigasi. Irigasi berpengaruh terhadap perkembangan penyakit melalui berbagai hal. Adanya irigasi dapat berpengaruh terhadap perkembangan suatu penyakit baik secara langsung ataupun tidak langsung. Secara langsung irigasi akan menyebabkan tanaman lebih rentan terhadap patogen. Sebagai contoh serangan jamur *Phytophthora infestans* akan sangat berat pada kondisi tanaman tergenang air irigasi. Secara tidak langsung adanya irigasi dapat menurunkan temperatur disekitar tanaman dan meningkatkan kelembaban sehingga memungkinkan perkembangan suatu penyakit lebih cepat.

Kelembaban mempengaruhi perkembangan penyakit, dalam proses infeksi/penetrasi, germinasi spora dan dispersi/penyebaran spora. Sumber kelembaban ini dapat berasal dari hujan, irigasi dan juga kelembaban relatif

udara. Kelembaban sangat berpengaruh terhadap perkembangan penyakit, karena patogen umumnya memerlukan adanya lapisan air atau kelembaban tertentu untuk dapat melakukan infeksi atau penetrasi pada inangnya. Beberapa penyakit yang disebabkan oleh jamur sangat memerlukan adanya lapisan air ataupun kelembaban tersebut untuk sporulasi dan germinasi spora, bahkan beberapa jamur memerlukannya untuk pelepasan spora.

Adanya air bebas atau kelembaban relatif ini kebutuhannya tergantung pada patogen. Beberapa patogen memerlukan air bebas/ kelembaban udara relatif sepanjang hidupnya tetapi ada juga yang hanya memerlukannya pada awal terjadi infeksi bahkan beberapa patogen tidak begitu menghendaki keadaan yang basah untuk perkembangannya. Patogen yang memerlukan air bebas dan kelembaban yang tinggi sepanjang siklus hidupnya antara lain adalah *Phytophthora infestans* penyebab penyakit late blight pada tanaman kentang. Beberapa bakteri seperti *Erwinia* dan *Pseudomonas* memerlukan keadaan basah dan kelembaban yang cukup tinggi, tetapi ada juga patogen yang hanya memerlukan air bebas dan kelembaban tinggi saat awal penetrasi saja. Patogen tanah seperti *Rhizoctonia*, *Sclerotium* juga memerlukan kelembaban tanah yang cukup tinggi walaupun jamur tersebut tidak menghendaki penggenangan.

Kelembaban, baik sebagai kelembaban udara relatif maupun sebagai air bebas pada permukaan daun tanaman, memegang peranan yang sangat penting dalam epidemi penyakit tanaman pada umumnya. Kelembaban yang tinggi akan mengakibatkan tanaman inang menjadi sukulen dan rentan terhadap patogen. Kelembaban terutama sangat mempengaruhi perkecambahan spora dan penetrasi inang oleh tabung kecambah. Lama dan tingkat kelembaban serta kebasahan daun mempengaruhi produksi spora, perkecambahan spora, pertumbuhan, dan daya tahan hidup patogen sehingga akan memperluas tingkat serangan patogen .

Beberapa patogen akan mengakibatkan kerusakan lebih parah pada daerah yang cukup basah atau lembab. Pada keadaan tersebut perkembangan ras patogen lebih cepat. Kelembaban sangat berpengaruh terhadap perkembangan biologi *C. cassiicola*. Pelepasan konidia maksimum berlangsung pada kelembaban sekitar 86% pada siang hari. Kelembaban optimum untuk perkecambahan spora adalah > 96-100% atau daun basah, sedangkan kelembaban rendah < 90% akan menghambat perkecambahan maksimum berlangsung pada kelembaban 100%, sedangkan pada kelembaban 50% tidak terjadi perkecambahan konidia setelah 24 jam. Miselia patogen tumbuh lebih baik pada kelembaban >95% dan akan tertekan pertumbuhannya pada kelembaban <80% .

Cuaca berkabut dan lembab pada malam hari yang diikuti oleh sinar matahari yang cerah di pagi hari dapat menstimulasi pembentukan konidia dalam jumlah besar pada daun yang terinfeksi cendawan ataupun pathogen lainnya. Keadaan ini bila terjadi terus menerus dapat memicu terjadinya epidemi.

Hujan mempunyai peranan penting dalam perkembangan epidemi penyakit Pada umumnya epidemi penyakit timbul pada awal musim hujan karena patogen udara memerlukan kelembaban tinggi dan kebasahan daun untuk perkembangannya. Hujan dapat membantu pembebasan atau penyebaran patogen melalui percikan hujan dan pencucian spora patogen dari permukaan tanaman dan tanah. Tetapi hujan yang terus menerus sehingga tanah menjadi terlalu lembab dapat mematikan atau menekan perkembangan patogen dan sebaliknya pada musim kemarau tanah menjadi kering sehingga patogen menjadi mati. Pada kasus pada spora-spora yang berada pada permukaan tanaman seperti daun, pelepasan dan penyebaran konidia patogen biasanya terjadi setelah ada hujan dan ada angin. penyebarannya lebih sedikit pada musim hujan daripada musim kemarau.

Hujan merupakan faktor penting dalam mempengaruhi timbulnya serangan patogen. Seperti pada kasus terjadinya epidemi gugur daun karet *corynespora* yang disebabkan oleh *C. cassiicola*. Di Sumsel dan Lampung

tahun 2004. Di perkebunan karet Sembawa maupun di Lampung epidemi penyakit gugur daun *Corynespora* akan terjadi jika kondisi cuaca agak lembab (terjadi hujan panas secara terus menerus).

Di daerah yang mempunyai curah hujan yang merata sepanjang tahun atau di daerah dimana batas musim hujan dan musim kemarau tidak begitu jelas, *C. cassiicola* menimbulkan kerusakan yang berat dan tanaman akan meranggas sepanjang tahun. Namun di daerah dengan batas musim hujan dan kemarau yang lebih jelas serangan patogen juga terjadi tetapi tanaman tidak mengalami kerusakan berat dan perenggasan sepanjang tahun. Tanaman tersebut mampu membentuk daun kembali setelah mengalami serangan berat.

Terjadinya ledakan penyakit daun *Colletotrichum* di Sumatera tahun 1973-1974, Kalimantan 1984-1985, Sumatera dan Kalimantan tahun 1989 serta tahun 1993 dan 1996/1997 di Sumatera Selatan merupakan akibat terjadinya musim hujan yang panjang (Tabel 4.2).

Hal tersebut umumnya terjadi pada priode pembentukan daun muda yang merupakan kondisi kritis bagi patogen, adanya hujan yang terus menerus yang menyebabkan tingginya kelembaban atau kebasahan daun yang sangat sesuai dengan perkembangan penyakit.

Cahaya berpengaruh terhadap proses infeksi, sporulasi, pelepasan spora, serta penyebaran spora. Banyak patogen yang memerlukan cahaya dengan gelombang tertentu untuk bersporulasi dan untuk pelepasan spora. Radiasi dan cahaya mempunyai peranan bagi perkembangan epidemi dan biologi patogen. Siklus hidup patogen dapat berubah dengan berubahnya priode cahaya terang dan gelap. Infektivitas konidia beberapa patogen dipengaruhi oleh intensitas cahaya. Sinar ultraviolet (UV) dapat menekan perkembangan patogen dalam waktu tertentu dan dapat mengakibatkan pembentukan spora patogen.

Angin sangat berperan untuk membantu pelepasan dan penyebaran konidia. Dengan arus angin atau tekanan turbulensi konidia akan terlepas dari konidiofor. Selanjutnya dengan arus angin tersebut konidia akan terangkut ke tempat jauh dan disebar ke wilayah yang luas. Hal ini dapat dilihat bahwa patogen ini terdapat diseluruh wilayah Indonesia bahkan meluas di berbagai negara di dunia. Selain itu dengan arus angin berputar atau turbulensi konidia yang terdapat pada tanaman karet yang rentan atau dipermukaan tanah dapat diangkut ke tajuk tanaman yang tingginya dapat mencapai 13-15 meter.

Angin berpengaruh terhadap perkembangan penyakit melalui perannya dalam penyebaran inokulum. Bertiupnya angin dapat menyebarkan spora jamur dan serangga vektor sampai jarak yang sangat jauh, bisa sampai antar wilayah, antar provinsi, antar Negara bahkan antar benua. Spora patogen yang terdapat diudara sangat bergantung pada kecepatan dan arah angin untuk dapat menemukan inangnya. Angin yang kencang juga dapat menyebabkan terjadinya luka mekanik yang menguntungkan patogen-patogen luka dan air borne untuk menginfeksi inangnya.

Hembusan angin sangat menguntungkan bagi patogen seperti jamur yang menghasilkan spora kering dimana letak sporofornya agak menonjol dipermukaan. Adanya hembusan angin yang turbulen dapat menghembuskan spora spora tersebut mencapai tanaman inang. Contoh konidiospora *Helminthosporium maydis* penyebab penyakit hawar daun jagung. Namun demikian hembusan angin yang terlalu kencang juga diketahui dapat mempercepat keringnya permukaan tanaman sehingga bila ada patogen yang sedang dalam proses infeksi dapat menggagalkan proses tersebut.

Faktor fisik lain yang berpengaruh terhadap perkembangan suatu penyakit adalah mulsa. Pengaruh mulsa umumnya terhadap iklimat, dan juga terhadap hama, penyakit dan gulma. Mulsa organik dapat menurunkan tanah selama musim panas di daerah beriklim sub-tropika dan menaikannya selama musim dingin. Keadaan demikian akan dapat mempengaruhi

perkembangan suatu penyakit. Selain mulsa organik diketahui juga jenis mulsa plastik baik yang berwarna transparan ataupun hitam. Umumnya mulsa plastik digunakan para petani di daerah Jawa untuk meningkatkan temperatur sehingga bersifat sebagai alat solarisasi patogen-patogen yang soil borne.

Tabel 4.2. Hubungan terjadinya epidemi *Colletotrichum gloeosporioides* dengan kondisi iklim pada tanaman karet tahun 1970-1998 di Sumsel.

Tahun	Jenis musim	Kondisi serangan
1970-1971	Normal	
1972	kering	
1973	basah	Epidemi
1974	basah	Epidemi
1975 s/d 1979	kering	
1980	normal	
1981	kering	
1982	basah	
1983	kering	
1984	kering	
1985	basah	Epidemi
1986	basah	Epidemi
1987	normal	
1988	kering	
1989	kering	
1990	basah	epidemi
1991	normal	
1992	kering	
1993-1994	normal	
1995	kering	
1996	normal	
1997	basah	epidemi
1998	kering	

Sumber: Situmorang, 2004

Derajat keasaman (pH) tanah, nutrisi tanaman dan pestisida. Derajat keasaman tanah berpengaruh terhadap perkembangan penyakit karena dapat menciptakan keadaan yang tidak disukai patogen. Di daerah segunung Cipanas Jawa barat pada pH netral (6,5-7,0) intensitas serangan kudis yang disebabkan oleh *Streptomyces scabies* pada umbi kentang akan lebih berat. Sebaliknya apabila pH tanah cukup masam (5,2 kebawah) maka tanaman akan terbebas dari serangan pathogen tersebut. Sebaliknya patogen karat kubis (*Plasmodiophora brassicae*) akan berkembang pesat pada pH masam dan tertekan apabila pH tanah netral atau basa. *Rhizoctonia sp* akan berkembang dengan pesat kemasaman tanah antara 5,8 sampai 8,1 dengan suhu tanah 15-18C.

Nutrisi tanaman berperan dalam perkembangan penyakit tanaman . Pengaruh nutrisi lebih pada pengaruhnya terhadap ketahanan tanaman terhadap patogen. Hal ini karena pada kondisi tanaman kekurangan nutrisi, akan menguntungkan patogen yang merupakan parasit lemah sebaliknya kondisi nutrisi yang baik juga dapat menguntungkan beberapa jamur biotropik. Beberapa unsur makro yang diketahui sangat esensial bagi tanaman adalah N, P, dan K disamping unsur lainnya termaksud unsur hara mikro. Pada beberapa kasus kelebihan ataupun kekurangan suatu unsur tertentu dapat meningkatkan ketahanan terhadap patogen atau sebaliknya bahkan menurunkan ketahanan tanaman terhadap patogen. Beberapa unsur makro yang diketahui sangat esensial bagi tanaman adalah N, P, dan K disamping unsur lainnya.

Pemberian unsur nitrogen yang berlebihan akan mengakibatkan tanaman tumbuh subur dan sukulen sehingga lebih rentan terhadap serangan patogen, seperti misalnya penyakit fire blight pada pear yang disebabkan oleh *Erwinia amylovora* akan meningkat apabila dipupuk dengan nitrogen dalam jumlah yang tinggi. Demikian juga serangan *Puccinia striiformis* penyebab penyakit karat pada gandum. Namun demikian pada kasus serangan *C. Cassicola*, penambahan unsur N akan mempercepat pertumbuhan daun-daun karet yang baru muncul sehingga dapat terhindar dari serangan patogen tersebut.

Sebaliknya pada tanaman tomat kekurangan nitrogen akan mengakibatkan serangan *Alternaria solani* meningkat. Pemupukan nitrogen dalam jumlah yang tinggi yang disertai dengan pemberian unsur fosfor dalam jumlah rendah dapat menekan penyakit yang disebabkan oleh *A. solani* pada pertanaman kentang. Umumnya pemberian unsur hara yang seimbang akan membantu pertumbuhan tanaman yang optimal sehingga tanaman lebih mampu mempertahankan diri dari serangan patogen.

Penggunaan pestisida pada umumnya adalah untuk menekan perkembangan penyakit tanaman, namun pada kenyataannya saat ini penggunaan pestisida tersebut mengakibatkan timbulnya strain-strain patogen yang baru yang lebih virulen sehingga membuka peluang terjadinya epidemi. Sampai saat ini pestisida masih digunakan tetapi hanya terbatas pada pilihan terakhir. Efek lainnya penggunaan pestisida ini mengakibatkan tidak saja matinya patogen tertentu tetapi juga musnahnya mikroorganisme yang bermanfaat bagi tanaman.

Faktor lingkungan biotik mempunyai pengaruh terhadap perkembangan penyakit tanaman. Lingkungan biotik itu meliputi mikroorganisme seperti mikroflora. Keberadaan mikroorganisme pada permukaan suatu daun berpengaruh terhadap perkembangan patogen yang menyerang tanaman tersebut. Mikroorganisme tersebut menggunakan eksudat daun tersebut. Meskipun keberadaan mikroorganisme ada yang bersifat negatif ada juga yang bersifat positif dan ada juga yang bersifat netral. Keberadaan organisme di sekitar tanaman yang bersifat negatif bagi patogen merupakan prinsip yang digunakan oleh para ahli dalam pengendalian penyakit tanaman secara biologis (biological control). Interaksi negatif antara patogenesis, kompetisi, antibiosis atau antagonisme. Prinsip ini digunakan untuk mengendalikan populasi suatu patogen atau suatu musuh tanaman.

Dalam perkembangan ilmu penyakit tanaman yang paling akhir telah dibuktikan secara meyakinkan bahwa suatu organisme dapat mempengaruhi secara negatif tingkatan populasi suatu populasi yang bersifat patogenik. Contohnya adalah bakteriophage dan bakteri vibroid melawan bakteri; virus melawan jamur; jamur melawan jamur; jamur melawan fanerogam parasitic dan gulma; bakteri melawan jamur; dan jamur melawan virus.

Di Inggris telah dilakukan pengendalian biologis terhadap *Fomes annosus*. Bagian yang penting sebagai unit dispersal jamur ini yakni basidiospora dapat menyebabkan pembusukan akar, kayu heartwood dan sapwood dari jenis-jenis pinus tertentu. Infeksi utama dari jamur ini biasanya pada luka batang yang baru.

Pada tahun 1963 Rishbeth mengembangkan suatu teknik di mana konidia yang diproduksi di laboratorium dari *Peniophora gigantean* dicampur dengan talk dan selanjutnya dibentuk tablet selanjutnya dikeringkan. Setiap tablet, dilarutkan ke dalam 100 ml air, menghasilkan suatu suspensi 10^6 konidia yang hidup setiap ml, jumlah tersebut cukup untuk menginokulasi 100 luka pada batang berukuran 40 cm diameternya. *Peniophora* menjadi pioneer dominan pada permukaan luka tersebut. Jamur *Fomes* merupakan kompetitor lemah, infeksi dan pertumbuhannya dihambat oleh *peniphora* yang aktif.

5

PENYAKIT DAN KEHILANGAN HASIL

5.1. Epidemi dan Kehilangan hasil

Terjadinya epidemi penyakit akan mengakibatkan kerusakan dan tentu saja kerugian bagi petani secara khusus dan juga konsumen secara umum. Hal ini Karena bila terjadi epidemik maka petani harus mengeluarkan biaya extra untuk penanggulangannya atau tidak panen sama sekali. Disisi lain juga dapat mengakibatkan menurunnya jumlah barang yang tersedia di pasar sehingga harga menjadi mahal, hal ini berarti konsumen juga mendapat imbas dari kejadian tersebut. Kehilangan hasil merupakan pengurangan hasil baik secara kualitas ataupun secara kuantitas. Kehilangan hasil ini akibat adanya serangan patogen pada tanaman. Beberapa peneliti mendefinisikan kehilangan hasil ini sebagai penyusutan kualitas dan kuantitas hasil tanaman yang disebabkan oleh berbagai faktor. Kehilangan hasil ini dapat diukur dengan membandingkan hasil potensial dengan hasil aktual yang diperoleh .

5.2. Macam-macam Kerugian

Epidemi memberikan gambaran tentang kerugian. Pencegahan terhadap kerugian panen adalah pertimbangan ekonomis dalam patologi tanaman pada umumnya dan khususnya epidemiologi. Tetapi bagaimana kita menilai kehilangan yang disebabkan oleh patogen tanaman, pada hal banyak faktor lain yang menyebabkan kehilangan hasil? Tentunya pencegahan kehilangan dengan cara perlindungan tanaman pada dosis yang tepat dapat diterapkan hanya bila kehilangan diketahui dengan tingkat ketepatan yang memadai.

Banyak metode-metode untuk menentukan nilai intensitas penyakit. Penggunaan metode-metode ini melibatkan banyak tenaga kerja, namun demikian sangat berguna dalam mempelajari kehilangan hasil.

Macam-macam bentuk kerugian atau kehilangan hasil dapat dikelompokkan seperti berikut.

A. Kerugian/kehilangan hasil Potensial dan Aktual

Kerugian /kehilangan hasil potensial adalah suatu kehilangan yang diakibatkan karena tidak adanya tindakan pengendalian. Dapat dibayangkan apa yang akan terjadi apabila pengendalian diabaikan. Contoh kasus penyakit bercak daun angular yang disebabkan *Xanthomonas malvacearum* pada tanaman kapas di Uganda menghancurkan setengah dari hasil yang dapat diperoleh. Padahal hasil tersebut dapat diperoleh dengan kombinasi antara varitas resisten S 47 dan seed treatment menggunakan senyawa merkuri. Contoh lain di Suriname pengabaian pengendalian dengan bahan kimia walaupun dalam waktu yang singkat untuk mencegah penyakit sigatoka (*Mycosphaerella musicola*) mengakibatkan kehilangan hasil sampai 100%.

Pada masa yang akan datang untuk pertimbangan kehilangan potensial apa yang mungkin terjadi apabila terjadi serangan penyakit yang baru? Banyak contoh yang telah terjadi di masa yang lalu, seperti terjadi tahun 1950 serangan penyakit mildew pada anggur (*Uncinula necator*) dari Amerika menyerang tanaman anggur di Eropa. Sekitar tahun 1960 tobacco blue mold (*Peronospora tabacina*) menyebar dengan cepat keseluruh pertanaman tembakau di Eropa. Karat kopi (*Hemilia vastatrix*) menyeberang Atlantik dan menyerang pertanaman kopi di Brazil.

Pengetahuan yang baik tentang epidemiologi terhadap lingkungan suatu patogen dan tentang kapasitasnya untuk menyebarnya sangat diperlukan untuk merancang pencegahan introduksi baru. Pengetahuan epidemiologis dapat digunakan untuk mengindikasikan wilayah wilayah dengan resiko tinggi dan untuk meramalkan dimana suatu penyakit bakal terjadi.

B. Kerugian Aktual

Kerugian aktual adalah kerugian yang telah dan sedang terjadi. Ada 2 jenis kerugian aktual yaitu kerugian langsung dan kerugian tidak langsung.

Kerugian tidak langsung

Kehilangan tidak langsung merupakan efek atau pengaruh ekonomi dan sosial dari penyakit tanaman sebagai dampak dari pertanian yang mendadak. Kerugian tidak langsung meliputi: kerugian petani, kerugian terhadap komunitas pedesaan, ekspor, perdagangan besar/kecil, konsumen, pemerintah dan lingkungan.

Kerugian petani

Petani dapat kehilangan makanan, pendapatan ataupun modal yang dapat memaksakan mereka untuk menghentikan usaha pertanian. Meninggalkan usaha pertanian kemungkinan merupakan efek tidak langsung dari penyakit tanaman, tetapi meninggalkan usaha pertanian juga dapat merupakan efek langsung. Di Amerika tengah banyak pertanaman pisang ditinggalkan karena terserang *Fusarium oxysporum f. cubense*. Meninggalkan lahan pertanian diasosiasikan tidak hanya dengan depresiasi nilai lahan dan kehilangan modal yang terinvestasi dalam bentuk bangunan, jalan, peralatan serta keahlian tetapi juga dengan kehilangan modal spiritual dalam bentuk harapan dan kepercayaan petani yang mulai berjuang keluar dari kemiskinan. Biasanya kehilangan hasil tidak merugikan kehidupan petani tetapi mengurangi kesejahteraan mereka.

Kerugian terhadap komunitas pedesaan.

Karat kopi merusak tanaman kopi di Ceylon setelah tahun 1870. Karat ini menghancurkan petani kopi di Ceylon dan menyebabkan adanya kewajiban liquidasi dari bank. Pendapatan petani merosot tajam. Di Kenya penyakit kopi berry merusak perekonomian yang menghasilkan 10 juta dolar dalam satu musim. Ketika petani sebagai kelompok yang menderita maka kehidupan perekonomian komunitas pedesaan dan industri jadi terhambat. Hasil dari investasi modal menurun dan tingkat pengangguran meningkat serta daya beli juga menurun.

Kondisi ekstrim demikian dapat menjadi malapetaka kelaparan, seperti terjadi di Irlandia tahun 1845-1846 dan di Bengal tahun 1945, penyebabnya adalah hancurnya panen padi akibat serangan *Helminthosporium oryzae*. Di Indonesia yaitu Sumatera barat sekitar tahun 2000 an terjadi serangan penyakit layu pada pisang yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum f. sp cubense* dan bakteri *Ralstonia solanacearum* yang menyebabkan ribuan tanaman pisang mati dan tidak berproduksi serta mengakibatkan kehilangan hasil secara langsung dan menyebabkan kerugian secara tidak langsung.

Kerugian Konsumen

Seseorang harus membayar kerugian yang terjadi. Tidak hanya petani tetapi juga konsumen harus membayar kerugian yang terjadi pada pertanian. Umumnya kerugian yang terjadi selama penyimpanan, transport, perdagangan borongan dan eceran dan kerugian lainnya. Kerugian setelah panen cukup beragam tergantung pada komoditas dan kondisi tetapi seringkali lebih dari 10%

Kerugian Ekporter

Hasil ekspor merupakan sumber penting untuk pendapatan pada skala nasional. Seperti kopi dan coklat merupakan sumber pendapatan di Negara tropis. Perekonomian nasional dan kesejahteraan mereka mungkin tergantung pada pencegahan terjadinya kerugian. Ekport produk dalam jumlah besar dapat terinfeksi oleh jamur nonpatogenik yang beracun bagi konsumen, seperti yang terjadi dengan kacang tanah dan produk lainnya yang terinfeksi oleh *Aspergillus flavus* yang menghasilkan aflatoxin yang beracun bagi konsumen.

Kerugian Lingkungan

Kerugian yang nyata terhadap lingkungan berupa polusi akibat penggunaan pestisida. Polusi akibat penggunaan fungisida maupun insektisida. Penggunaan fungisida yang mengandung copper pada kebun apel mengurangi populasi cacing tanah padahal cacing tanah tersebut dapat mengendalikan penyakit kudis pada apel yang disebabkan oleh *Venturia inaequalis*. Benomil dapat merugikan cacing tanah dan dapat masuk kedalam permukaan air membunuh plankton yang merupakan dasar dari piramida makanan air

Kerugian Langsung

Kerugian langsung adalah kerugian kualitas dan kuantitas produk dan kapasitas hasil. Kerugian langsung dibedakan menjadi kehilangan primer dan sekunder.

Kerugian primer

Kerugian primer adalah kerugian sebelum dan sesudah panen yang diakibatkan oleh penyakit tanaman. Kerugian primer terjadi sejak penyimpanan sampai , perkecambahan, penanaman, pertumbuhan dan panen sampai penanganan dan penyimpanan hasil. Rangkaian ini berlanjut saat pengangkutan, pedagang grosir dan eceran dan akhirnya di dapur para konsumen. Ini semua merupakan secara kuantitas dan kualitas, yang biasanya saling beriringan yang sangat tergantung kepada komoditas dan kepada daya beli konsumen. Kerugian primer terdiri dari berbagai komponen yang menyebabkan kehilangan pendapatan dan/atau meningkatnya biaya-biaya produksi.

Kerugian Skunder

Kerugian sekunder adalah kehilangan di dalam kapasitas hasil dari pertanaman berikutnya. Efek kumulatif dari penyakit-penyakit yang ditularkan oleh tanah, benih dan umbi pada tanaman semusim telah dikenal luas. Penyakit gandum yang disebabkan *Gaeumannomyces (Ophiobolus) graminis* pada gandum yang penyebarannya melalui tanah dapat diatasi dengan pergiliran tanaman. Penyebaran melalui bibit *Alternaria porri* pada bawang daun dapat dikendalikan jika perlakuan benih dihilangkan. Pada tanaman tahunan, defoliasi prematur oleh parasit daun mengarah kepada kehilangan vigor dan berkurangnya hasil pada tahun-tahun berikutnya. Kematian tanaman dapat terjadi, baik oleh parasit primer atau oleh penyebab lain yang secara selektif mempengaruhi pohon yang melemah. Kematian tanaman terjadi setelah tanaman itu mengalami defolisiasi (pengguguran daun); pada tanaman apel yang terserang oleh jamur kudis, pada tanaman persik oleh daun kerupuk (*Taphrina deformans*), pada tanaman kopi oleh karat.

Dari sudut pandang ekonomis, kerugian seperti itu adalah kehilangan modal terinvestasi di dalam tanah, benih atau pohon secara berkelanjutan pada tingkatan lahan pertanian.

Kerugian Lainnya

Kerugian insidental terjadi hanya pada interval sekali atau secara tak beraturan. Pada kasus dengan kehilangan secara tak beraturan, hal ini dapat terjadi sebagai akibat kondisi iklim yang ekstrim yang berlangsung selama periode waktu lama yang menyebabkan terjadinya epidemik. Kerugian satu kali sering merupakan hasil dari serangan penyakit baru (contoh penyakit mold biru pada tembakau di Eropa dan Mediterania). Kerugian secara berkala terjadi di setiap musim dalam jumlah lebih kurang sama. Di banyak Negara, karat daun coklat pada gandum (*Puccinia recondita*) adalah penyebab terjadinya kerugian secara beraturan.

Aspek ekonomis dari kerugian reguler pada tanaman semusim dan tahunan hampir sama; yaitu berupa kehilangan pendapatan. Dengan kerugian insidental, dari aspek ekonomis berbeda antara tanaman semusim dengan tanaman tahunan. Pada tanaman semusim kerugian insidental menyebabkan kerugian pendapatan yang bersifat sementara. Pada tanaman tahunan, kerugian insidental sering kali mencakup musnahnya tanaman yang berakibat kerugian modal yang divestasikan.

Kerugian Transisional dan Struktural

Kerugian transisional adalah suatu ciri sementara alam, ini terjadi apabila petani berubah dari satu sistem pertanian ke sistem lainnya. Kerugian ini akan menghilang secara berlahan atau setelah beberapa tahun kemudian apabila keseimbangan baru telah stabil. Ada banyak contoh kerugian transisional. Introduksi Victoria resisten terhadap crown rust yang disebabkan *Puccinia coronata* pada varitas oat komersil di U S menyebabkan kerugian berat akibat serangan jamur *Helmithosporium victoriae*.

Pengendalian intensif karat kopi dengan copper treatment di Afrika timur mengakibatkan outbreaknya penyakit berry pada kopi. Penggunaan herbisida sebelum tanam untuk mengendalikan gulma menghasilkan peningkatan penyakit damping off pada pembibitan gula beet dan kapas,

Kerugian struktural adalah kerugian yang tidak dapat di hindari didalam situasi pertanian tertentu. Contohnya kerugian akibat penyakit sigatoka leaf spot pada pisang di tropika basah.

Hidden Losses/ kerugian tersembunyi

Hidden loss adalah kelanjutan kepada suatu tanaman normal yang lebih rendah dari hasil potensialnya. Permasalahan di sini adalah untuk menentukan hasil potensial, sebab ini melibatkan pertumbuhan suatu tanaman yang seluruh kerugian dicegah. Sebagai gambaran senyawa kimiawi yang digunakan untuk mengendalikan penyakit kemungkinan merupakan penyebab kerugian tersembunyi atau yang tak dikenali.

Campuran Bordeaux efektif mengendalikan penyakit late blight. Bubur Bordeaux menolong dalam pencegahan serangan serangga. Namun begitu, kerusakan yang disebabkan campuran Bordeaux telah diestimasi lebih dari 10%. Di Belanda, senyawa dithiokarbamat dan timah organik telah diganti dengan perlakuan tembaga dengan alasan-alasan tersebut.

5.3. Hasil dan Terminologi Kerugian Tanaman

Terminologi

Suatu pertanaman adalah suatu unit tanaman yang ditanam untuk menyediakan makanan, fiber, stimulan dan produk lainnya. Hasil adalah produk suatu pertanaman yang terukur. Kerugian hasil adalah pengurangan hasil baik secara kuantitas maupun secara kualitas. Kerusakan tanaman adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan kerusakan karena organisme pengganggu yang secara kolektif menghasilkan suatu kerugian hasil yang terukur. Aktivitas organisme pengganggu dengan sedikit efek terhadap pertumbuhan atau penampakan visual dan tidak ada efek langsung terhadap hasil yang disebut sebagai kerusakan tanaman yang nyata (*apparent crop injury*).

Jenis-jenis Hasil

Hasil primitif dan hasil teoritis

Hasil primitif adalah hasil yang diperoleh dari pemanfaatan lahan dalam system Pertanian klasik atau konvensional. Pemanfaatan lahan telah diseleksi untuk hasil-hasil makan pokok dibanding untuk hasil-hasil yang bernilai ekonomi tinggi. Hasil teoritis adalah hasil yang dicapai dibawah kondisi yang terbaik Menurut perhitungan-perhitungan berdasarkan pada pertimbangan-pertimbangan dari fisiologi tanaman dan pertanaman.

Hasil yang dapat Dicapai (hasil optimum)

Pengusahaan pertanaman yang baik, termasuk penggunaan pestisida sesuai anjuran, dapat memperoleh hasil yang tinggi dalam percobaan-percobaan. Apabila pertanaman ditumbuhkan pada kondisi optimal menggunakan teknologi modern, seperti contoh, di petak-petak percobaan, hasil tinggi yang diperoleh dengan kualitas juga tinggi disebut dengan hasil yang dapat dicapai/ hasil optimum (*attainable yield*).

Hasil ekonomis

Hasil ekonomi adalah hasil yang dicapai dengan menjalankan praktek manajemen. Definisi hasil yang dicapai berimplikasi bahwa metode-metode produksi yang digunakan mungkin tidak ekonomis di mana meningkat nya pendapatan lebih besar dari biaya produksi. Makin tinggi hasil yang dicapai yang menggunakan tindakan pengelolaan yang dapat diterapkan disebut dengan hasil ekonomis (*economic yield*). Hasil ekonomi mungkin sama atau lebih rendah dengan hasil yang dapat dicapai (hasil optimum).

Hasil Aktual

Hasil aktual adalah hasil yang dicapai dengan melaksanakan teknik pertanian yang umum. Di Negara telah berkembang hasil aktual mendekati hasil ekonomi sedangkan di negara berkembang hal ini dapat jauh dibawah level

hasil ekonomi. Suatu pertanian yang baik melakukan soil treatment, management air, sertifikasi biji, Pemupukan, disinfeksi benih, pengendalian gulma dan menggunakan pestisida secara bijak.

Kerugian Tanaman

Kerugian tanaman berbeda dengan hasil aktual dan hasil yang dapat dicapai (attainable yield). Kehilangan hasil dapat dideterminasi dalam plot penelitian dan ditafsir untuk lahan petani. Secara nasional dan regional kerugian tanaman dapat dideterminasi melalui survei. Kerugian tanaman akibat berbagai hal seperti: kurangnya perlakuan tanah, kurangnya management air, benih jelek, kurang pupuk, ataupun akibat patogen dapat mengakibatkan kerugian tanaman. Tiga level dari kerugian tanaman dapat dibedakan. Perbedaan antara *hasil aktual dan hasil teoritical adalah kerugian teoritical*. Perbedaan antara *hasil aktual dan hasil yang dapat dicapai/attainable disebut kerugian hasil*. Beda antara *hasil aktual dengan hasil ekonomi disebut kerugian ekonomi*. Pengurangan kerugian ekonomi merupakan suatu gol dalam proteksi tanaman.

5. 4. PENILAIAN PENYAKIT

Penilaian penyakit atau disebut juga *phytopathometry* adalah suatu pengukuran penyakit. Determinasi dari nilai x (fraksi penyakit). Tidak ada resep yang tepat dalam penilaian penyakit Pathometry atau phytopathometry adalah suatu studi kuantitatif tentang penderitaan tanaman. Pengetahuan mengenai insiden penyakit tanaman, severity dan pola spatial dari penyakit tanaman menjadi penting sejalan dengan ekonomi pertanian yang memerlukan keputusan kritis yang lebih banyak pada setiap tingkat. Pemerintah, umum dan institusi pribadi menggunakan informasi ini untuk mengevaluasi hasil penelitian jangkah panjang mereka dan sumber-sumber alokasinya. Petani dan advisor pertanian menggunakannya untuk membuat keputusan

management. Pengetahuan ini juga merupakan element penting untuk meningkatkan efisiensi pengawasan tanaman, monitoring penyakit dan sistim peramalan Management penyakit melalui tanaman atau kultivar tahan sekarang berada di garis terdepan di negara-negara dimana sumber biaya tidak memungkinkan biaya tinggi untuk teknologi perlindungan tanaman, Pathometry adalah alat utama untuk pengembangan tanaman tahan.

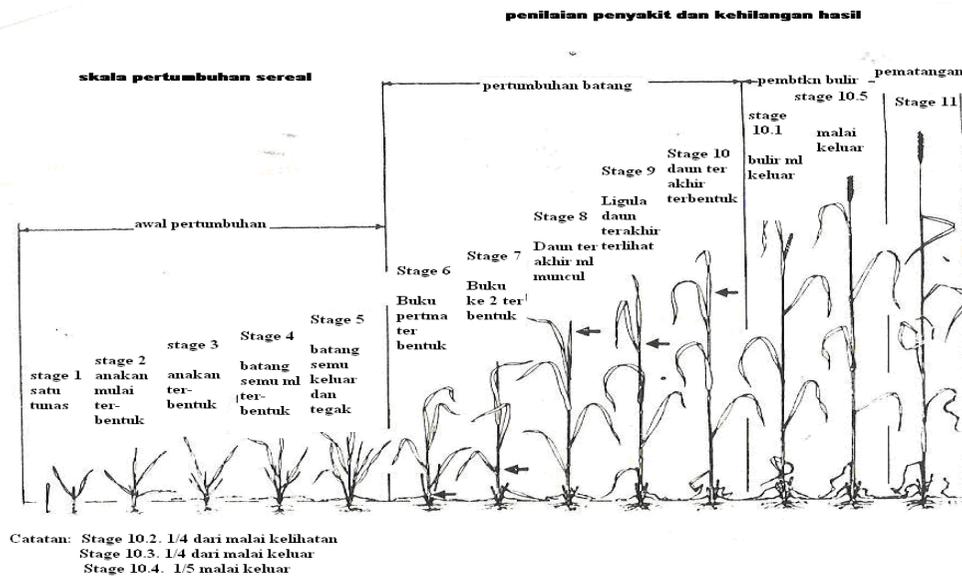
Strategi umum untuk investigasi penilaian penyakit

Studi morfologi dan perkembangan tanaman sehat dari penyemaian sampai menghasilkan atau dari musim ke musim. Studi tentang penyakit pada tanaman di lapangan, meliputi kisaran serangan, gambar.sketsa, catatan-catatan dan hasil pengukuran dari tanaman sehat dan tanaman sakit dijadikan sebagai portfolio awal.

Metoda perencanaan untuk penilaian penyakit termasuk pengetahuan detil mengenai penyakit dan bagaimana ia mempengaruhi tanaman sangat penting untuk ditemukan strategi penelitian. Suatu portfolio haruslah disusun secara jelas agar dapat dimengerti dan diterapkan.

A. Inang (Host)

Penting untuk memiliki pengetahuan mengenai pertumbuhan tanaman untuk penilaian . Ini termasuk morfologi, dan perkembangan kesehatan tanaman dari pembibitan sampai panen. Juga termasuk sketsa karekteristik tingkat perkembangan tanaman secara berturut-turut. Tingkat perbedaan diberi nama dan kode agar mudah diingat. Feekes mendisign “skala Feeekes” yang digunakan untuk tanaman gandum dan tanaman tanaman bijian lainnya. Large memodifikasi skala feekes dan menyiapkan ilustrasi sebagai diagram standar untuk mencatat tingkat pertumbuhan pada seraealea (Gambar 5.1).



Gambar 5.1. Standar diagram pertumbuhan sereal (Skala Feekes)
 (Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

B. Penyakit

Seluruh rangkaian interaksi patogen dan inang berperan penting dalam perkembangan penyakit harus diketahui secara jelas. Deskripsi gejala penyakit dalam diagram standar, warna penting untuk penafsiran penyakit. Hal ini memerlukan eksperimen yang teliti. Gejala (simptomatologi) penyakit harus dibedakan antara respon dan keparahan (severity). Respon adalah suatu ukuran kualitas, suatu lesio mungkin klorotik, nekrotik, perkecambahan yang rendah atau sporulasi yang tinggi. Keparahannya/Severity adalah ukuran suatu kuantitas; Daun dapat ditutupi lesio 5 sampai 90 persen dari luas permukaan daun.

Parameter untuk pengukuran penyakit;

1. Disease incidence (insiden penyakit); Didefinisikan sebagai jumlah unit tanaman yang terinfeksi seperti: seluruh tanaman, daun, buah, umbi, ranting, cabang dan lainnya. Dan ini dinyatakan sebagai proporsi (0 sampai 1) atau sebagai persentase (10 sampai 100) dari penyakit yang ada dalam suatu unit sampling. Ini adalah parameter yang paling populer untuk pengukuran penyakit karena mudah dan cepat. Seseorang dapat menghitung secara akurat dan dapat diulang. Seperti jumlah smutted ear pada gandum, tanaman layu, tanaman, tanaman busuk dan lainnya. Pernyataan dibuat dalam persen atau proporsi yang ditransformasi dalam log, probit atau logits yang cocok untuk analisis perbandingan.

2. Prevalensi penyakit: Zadoks dan Schein mempertimbangkan ukuran yang berarti ganda dan mengusulkan penggunaannya dengan hati-hati. Prevalensi penyakit telah berasosiasi dengan skala pengukuran disease insiden yang besar, sehingga dipertimbangkan sama dengan insiden.

3. Disease severity (keparahan penyakit); didefinisikan sebagai Kuantitas pengaruh penyakit yang diperoleh dalam suatu sampling. Ini biasanya secara tepat dinyatakan sebagai area atau area dan volume dari jaringan tanaman yang terinfeksi.

4. Kehilangan hasil; didefinisikan sebagai pengurangan dalam kualitas dan kuantitas dari hasil yang dapat diukur. Hasil sering untuk mengukur penyakit. Namun demikian hal ini terlalu berlebihan untuk suatu parameter sebab beberapa faktor yang mengikutinya pada saat mana itu menjadi tahapan yang dapat dihitung. Ada beberapa kesepakatan dalam penilaian kehilangan hasil.

Ekperimen lapang dilaksanakan dimana perkembangan penyakit diamati secara detil dan hasil tanaman diduga. Hasil dari plot dijaga bebas dari penyakit dengan jalan penyemprotan atau cara lain dan dicatat untuk

perbandingan, dan perlakuan dilakukan untuk beberapa tahun. Ulangan perlakuan cukup sesuai dengan dasar statistik. Dari perlakuan ini, metoda penilaian penyakit yang kemungkinan lebih berguna untuk survey penyakit di lapangan, dan kalibrasi severity penyakit dengan kemungkinan kehilangan hasil yang diperhatikan.

Taktik pengukuran penyakit bervariasi menurut alam dan penyakit dan karenanya tidak ada satu metoda yang dapat dipakai untuk semua penyakit. Macam-macam metoda digunakan termasuk penilaian secara visual, Hubungan intensitas dan keparahan (severity-incident), jumlah inokulum dan penyakit serta analysis remote sensing dan video.

5.5 Metoda Penilaian secara visual.

1. Persentase tanaman sakit,,organ ataupun jaringan.

Umumnya dipakai untuk penyakit yang dapat membunuh tanaman dengan cepat atau menyebabkan kerusakan dalam jumlah yang sama terhadap semua tanaman yang terinfeksi. Termasuk penyakit damping off, busuk akar dan layu. Penyakit-penyakit yang menyebabkan kerusakan total pada organ yang terinfeksi, seperti penyakit ergot dan beberapa karat/smut dan penyakit virus. Pencatatan persentase pada tanaman atau jaringan sakit secara langsung merupakan pengukuran langsung terhadap kehilangan hasil atau kerugian.

2. Skala Deskriptif

Untuk penyakit-penyakit dimana jumlah variasi penyakit sangat besar pada tanaman yang berbeda dalam suatu populasi (rust, blight, leaf spot dll). Dalam hal ini skala seringkali digunakan apakah suatu penyakit termasuk para (severe) atau moderate.

3. Skala logaritmik

Menurut aturan Weber-Fecner, perkembangan nilai visual dalam langkah-langkah logaritme sampai 50% mata cenderung menilai persentase total area yang sakit (tertutup lesio). Diatas 50% tanaman sehat.

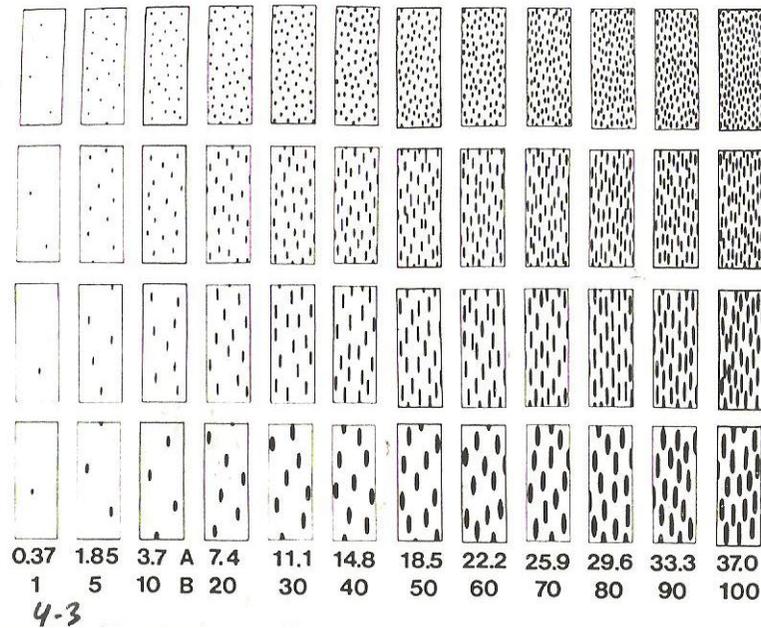
Horsfall dan Barrat membagi suatu skala logaritme untuk pengukuran penyakit tanaman. Skala tersebut mempunyai 50% sebagai pusat alami dan yang menentukan sebagai contoh skala keseimbangan berkisar 50%. Untuk kepuasan skala yang diumumkan berdasarkan pada ratio dua pengecualian untuk atas dan bawah. Skalanya adalah 0-3,3-6,6-12,12-25,25-50,50-75,75-87,,87-94,94-97, 97-100. Persentase tersebut, contohnya area daun yang sakit dan tingkatanya sebagai 1=tdk ada penyakit, 2=0-3%, 3=3-6% dan strusnya sampai 12=100%. Dari tingkatan tersebut bila dibawah 50% dikatakan tanaman tidak sakit dan bila diatas50% tanaman sakit.

Keuntungan penggunaan skala antara lain: 1). batas bawah dan atas dari skala selalu didefinisikan dengan baik. 2). Fleksibel dapat dibagi dan subdivide secar convenien. 3). Umum digunakan dan dapat digunakan untuk mencatat baik jumlah tanaman terinfeksi (incidence) atau daerah kerusakan (severity) oleh patogen gugur dan akar.

4. Diagram Standard

Dengan bantuan portfolio awal dan setelah memutuskan metoda pengukuran penyakit, suatu diagram standard atau kunci penelitian untuk penilaian penyakit lebih disukai untuk mendapatkan nilai keseragaman yang tinggi. Dalam hal ini standar visual termasuk photo dan gambar specimen yang mewakili setiap seri tingkat intensitas penyakit. Tidak ada standar diagram yang dapat menunjukkan semua perbedaan distribusi lesio yang dapat membuat berbagai persentase. Apa yang harus dilakukan oleh peneliti adalah memperhatikan area lesio yang menutupi dan bila dapat dikumpulkan dan mengestimasi persentase total area dari total area daun. (Gambar 5. 1).

POLYCYCLIC PROCESSES



Gambar 5.2. Diagram standar untuk estimasi keparahan penyakit karat dan batang sereal (Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

Beberapa contoh kunci penilaian.

Kunci ini dapat digunakan untuk membandingkan sample-sampel yang dikumpulkan dari lapangan dan menghitung rata-rata persentase area yang dirusak tanaman. Dapat juga digunakan untuk menghitung index infeksi, index keparahan, koefisien infeksi, rata-rata infeksi, intensitas penyakit dan lainnya, dengan konpersi kunci kedalam tingkatan-tingkatan. Contoh pemberian suatu angka pada setiap kisaran persentase yang terinfeksi, misal penyakit gugur; apabila kunci penilaian adalah 1, 5, 25, 50% area yang tertutup, tingkatan angka dapat diberikan 0 atau tdk terinfeksi; 1= > 1% tertutup; 3= >1- <5%, 4= >5%-<25%, 7= >25%-<50% dan 9= >50% tertutup.

Hubungan antara insiden dan keparahan

Hubungan antara insiden dan keparahan (I-S) merupakan suatu konsep epidemiology. Beberapa peneliti berpendapat bahwa selama pengukuran insiden lebih mudah dari keparahan, beberapa Hubungan antara dua pengukuran dapat diukur akan memungkinkan estimasi keparahan berdasarkan pada data insiden yang lebih prktis. Hubungan persentase daun tomat mati dengan suatu index penyakit keparahan pada infeksi early blight, Hubungan antar keparahan dan insident untuk karat kopi, scap pada apel, powdery mildow dan rust merupakan contoh yang telah banyak diuraikan. Ada 3 tipe analysis yang telah digunakan untuk menjelaskan Hubungan I-S yaitu: korelasi dan regresi, model multi infeksi dan pengukuran dari kumpulan/aggregation.

Hubungan inokulum dan intensitas penyakit.

Disamping pengukuran area yang sakit, Penghitungan spora telah dicobakan sebagai metoda alterntatif, terutama penyakit jamur. Beberapa peneliti menggunakan jumlah uredospora dalam penambahan data untuk meramal keparahan rust pada gandum. Penghitungan sclerotia dalam tanah untuk menestimasi dan meramal insiden busuk akar pada sugarbeet yang disebabkan oleh *Sclerotium rolfsii* dan lainnya.

6

MODEL PENDUGAAN KEHILANGAN TANAMAN

Kehilangan hasil akibat serangan penyakit dapat dideterminasi dengan cara melakukan penelitian yang terencana yang dirancang untuk tujuan tersebut. Pekerjaan seperti ini sangat baik untuk kebutuhan penelitian tetapi terlalu mahal untuk digunakan dalam kegiatan survei rutin pada skala regional apalagi nasional. Cara yang relatif lebih murah dan sederhana dengan menggunakan survei-survei penyakit setelah ditemukannya cara untuk menduga kerugian pertanaman dari keparahan serangan penyakit (disease severity). Manfaat lain adalah bahwa kerugian dapat diprediksi lebih awal. Dalam kenyataan, kerugian pertanaman harus diprediksi seawal mungkin dalam rangka penyediaan perlakuan-perlakuan; yang penting untuk menyesuaikan pengangkutan logistik, penyimpanan, dan pemerosesan produk; juga untuk menentukan tingkatan harga pada masa mendatang.

Untuk memprediksi kerugian pertanaman, diperlukan sejumlah model yang didasarkan kepada konsep-konsep fitopatologikal, meteorologikal dan crop-physiological. Masukan untuk model tersebut harus dapat ditentukan secara

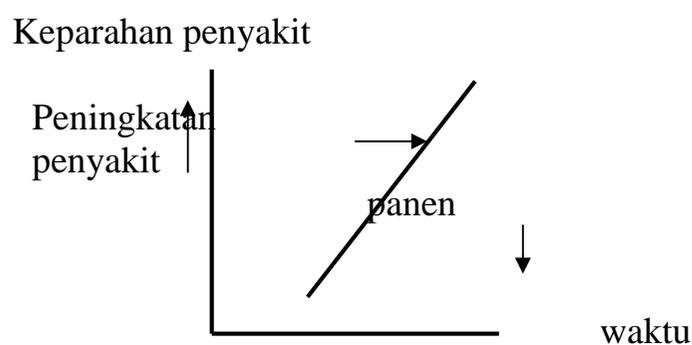
operasional; keluarannya harus menjadi kerugian pertanaman yang diharapkan pada tingkatan lapangan, lahan pertanian atau negara.

6.1 Model-model Pendugaan

Berdasarkan keparahan suatu penyakit, kita dapat membuat suatu model pendugaan kehilangan hasil akibat serangan patogen. Beberapa model pendugaan kehilangan hasil diuraikan secara singkat berikut ini.

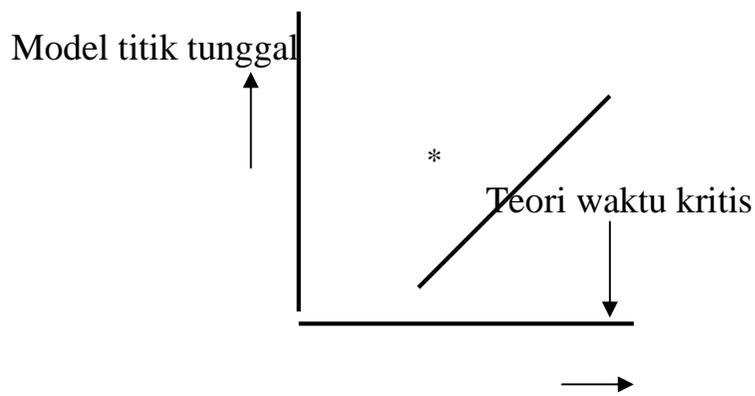
Model Titik Kritis

Beberapa model penduga sebegitu jauh dibuat sesuai untuk suatu skema yang umum. Dalam skema ini suatu kurva pertumbuhan terpilih mewakili peningkatan keparahan penyakit dalam waktu. Kurva sigmoid biasa digunakan tetapi biar mudah dipilih garis lurus seperti pada Gambar berikut:



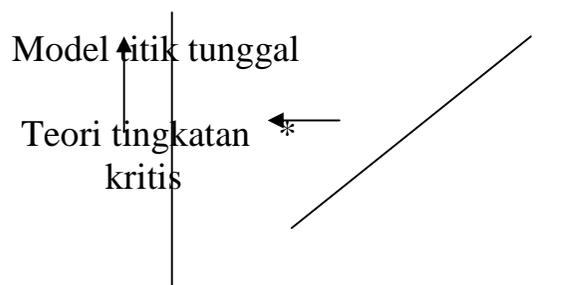
Gambar 6.1. Model umum peningkatan keparahan penyakit
(Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

Metode titik kritis yaitu memilih keparahan penyakit pada suatu titik waktu tertentu dan memprediksi kerugian pada masa mendatang menggunakan persamaan regresi. Waktu penilaian biasanya merupakan waktu atau kondisi fisiologikal ditunjukkan oleh suatu tahap pertumbuhan (Gambar 6.2).



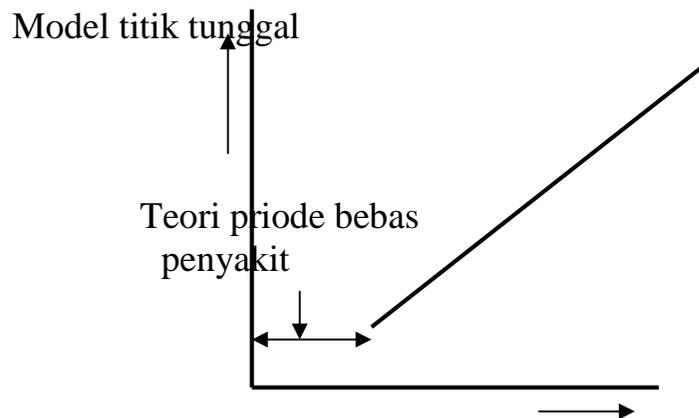
Gambar 6.2. Teori waktu kritis untuk memprediksi kehilangan berdasarkan pada model titik tunggal, dengan asumsi slope peningkatan penyakit selalu sama (Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

Model tingkatan kritikal. Di buat berdasarkan asumsi yang tidak sebenarnya bahwa produksi hasil secara berangsur berhenti ketika disease severity mencapai suatu tingkat kritikal. Kerugian pertanaman ditentukan dengan menggunakan suatu kurva hasil versus waktu dari pertanaman yang bebas penyakit; kerugian dugaan adalah perbedaan antara hasil akhir dari suatu pertanaman yang sehat dengan hasil yang ada pada saat tingkatan kritikal telah dicapai (Gambar 6.3). Di Inggris metode tersebut telah digunakan untuk memprediksi kerugian pada pertanaman kentang disebabkan oleh penyakit late blight.



Gambar 6.3. Teori tingkatan kritis menggunakan model titik tunggal dengan asumsi slope konstan

Model periode bebas penyakit. Model ini menghubungkan kerugian masa mendatang dengan panjang periode bebas penyakit, menggunakan rumus regresi ditentukan pada masa sebelumnya. Model itu dikembangkan di swedia untuk memproduksi kerugian kentang yang disebabkan oleh late blight. (Gambar 6.4).

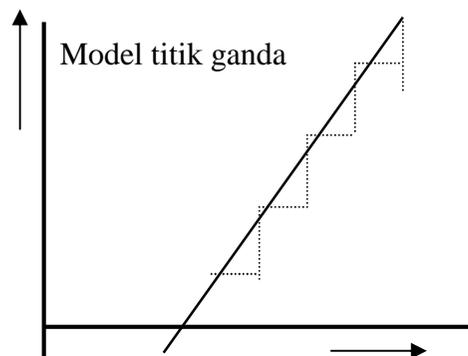


Gambar 6.4. teori bebas penyakit menggunakan titik tunggal
(Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

Ketiga metode tersebut mempunyai sejumlah kesamaan. Ketiganya didasarkan pada prinsip bahwa suatu garis lurus dapat ditentukan dengan suatu titik, diidentifikasi oleh dua koordinat dan suatu kelerengan. Ketiganya diasumsikan bahwa peningkatan keparahan penyakit (disease severity) dengan waktu selalu mengikuti model pertumbuhan yang satu dan yang sama.

Model-model Titik Ganda

Model ini menggunakan analisis multi regresi sebagai satu teknik statistik. Hasil dari suatu model titik ganda menggunakan analisis multi regresi adalah satu set parameter, yang sesungguhnya koefisien regresi partial. Kemampuan dari prediksi dibatasi oleh data asli yang digunakan . Prediksi mungkin dapat diaplikasikan pada individual lahan dan pertanian.; Apabila data dari berbagai ekperiment dalam suatu daerah, prediksi akan dapat diaplikasikan pada data regional sebagai suatu perediksi rata-rata. Keabsahan dari parameter-parameter dibatasi dalam ruang, waktu dan kultivar. Metoda dapat digunakan di area dengan lingkungan dan pertanian yang berbeda akan tetapi parameter-parameternya tidak. Parameternya harus dideterminasi yang baru.



Gambar 6. 5. Model titik ganda untuk memprediksi kehilangan menggunakan beberapa titik (Sumber: Zadock dan Sdhein, 1979).

6.2. Penilaian Kritis tentang Metodologi Kerugian Pertanaman

Hubungan kerusakan dengan kehilangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik internal maupun eksternal. Diantara komponen internal adalah suatu komponen yang dapat diwaris. Beberapa kultivar kurang mengalami kerusakan dibanding yang lainnya pada tingkat kerusakan yang sama. Fenomena ini disebut dengan *toleran*. Pada sereal mempunyai banyak yang dapat diwariskan tinggi sehingga dapat digunakan dalam breeding kultivar tahan. Pada beberapa penyakit Hubungan antara jumlah inokulum, penampakan gejala dan kehilangan kurang jelas, contoh bintil suram (glum blotct) pada gandum yang disebabkan oleh *Septoria nodorum*. Toleran pada sereal umum, tetapi bagaimana penyebaran fenomena diantara tanaman masih belum mantap. Fenomena toleran menggambarkan bahwa model kehilangan /kerusakan dapat tanpa mempedulikan kultivar. Hal yang sama juga terhadap ras. Mungkin ada hubungan kerusakan dan kehilangan, tergantung ras ataupun pengaruh cuaca, akan tetapi belum diketahui secara detil.

Model perkiraan kehilangan hasil harus dideterminasi dengan berbagai jalan melalui eksperimen lapang yang dapat digunakan dengan kalibrasi metode yang lebih umum. Dengan kalibrasi yang baik survei penyakit dapat digunakan untuk meramal dan menghitung kehilangan hasil pada areal yang luas. Model tersebut merupakan perbaikan dari model titik tunggal walaupun masih belum begitu dapat memuaskan para epidemiologist. Hal ini karena:

1. Metoda tersebut hanya valid pada kisaran kondisi lingkungan, tipe cuaca, dan faktor penelitian lainnya sepanjang tahun, Ekstrapolasi melebihi kondisi tidak diizinkan.
2. Metoda valid hanya kombinasi kultivar/inang-ras patogen yang digunakan dalam penelitian.
3. penyakit tidak hanya kerusakan per se tetapi juga berhubungan erat dengan agent kerusakan biotik maupun abiotik. Suatu pertanaman tumbuh dibawah tekanan lingkungan, misal kekeringan akan bereaksi berbeda dengan penyakit daripada bila tanaman tumbuh tanpa stress lingkungan tersebut.

4. Tidak hanya kehilangan dalam kualitas atau kuantitas yang Perlu diketahui tetapi efek social ekonomi daripadanya terhadap pertanian secara individual, komunitas pedesaan dan masyarakat.

6.3. Fisiologi Kerugian Pertanaman

Bagaimana tanaman dan jamur bereaksi terhadap tekanan alam. Fisiologi dapat dan telah dilakukan pada penyakit tanaman. Ada suatu dimana fisiologi dan epidemiologi bertemu- area kerugian tanaman.

Fisiologi Tanaman Tunggal

Banyak tanaman cenderung tetap menjaga ratio perkecambahan konstan selama masa pertumbuhan dan perkembangan vegetatif. Nilai aktual dari ratio perkecambahan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, tetapi itu dapat diciptakan kembali apabila kondisi lingkungan yang sama diciptakan dalam lingkungan yang dikontrol. Kerusakan akibat pemotongan daun atau akar mengakibatkan tanaman untuk mengembalikan ratio perkecambahan yang asli (Gambar 8.7). Hanya apabila rasio tersebut telah mencapai nilai yang sebenarnya akan disimpulkan tanaman tumbuh pada kisaran yang sebenarnya. Sebagai akibat kerusakan adalah kehilangan waktu berharga.

Kehilangan waktu dapat berpengaruh secara drastis, tanaman tidak saja tumbuh tetapi juga berkembang. Harus diingat bahwa pertumbuhan dapat diartikan sebagai peningkatan dalam kualitas seperti: berat akar, bagian hijau. Panjang batang,. Perkembangan adalah fase dari urutan tingkat fenologikal dari biji ke biji. Perkembangan akan terus berlangsung walaupun pertumbuhan berhenti akibat faktor external. Perkembangan diatur terutama oleh temperatur dan panjang hari . Pada beberapa kasus waktu diantara dua tahapan fenology yang spesipik berhubungan dengan derajat temperatur. Jika perkembangan

berlanjut tanpa pertumbuhan, waka tidak ada peluang penyusunan apparatus fotosintetik untuk mengisi bulir atau sistim akar untuk menyediakan air karena kehilangan waktu yang akan berakibat kerugian hasil.

Fisiologi Pertanaman

Informasi dari penelitian tunggal dapat valid bagi situasi tanaman, namun sejak diketahui tingkah laku tanaman dari Isolasi tanaman tunggal, kevaliditasan informasi telah dapat menaksir penelitian pada lapangan tertentu. Tanaman pada situasi pertanaman dalam hal ruang, air dan makanan. Apabila satu tanaman tidak dapat memanfaatkan sumber yang ada karena adanya penyakit maka tanaman yang disebelahnya akan mengalami hal yang sama.

Lapisan bagian atas daun menangkap lebih banyak radiasi yang datang sehingga bagian bawah daun lebih sering asimilasi dibawah maksimum. Apabila daun bagian atas tersebut dirusak atau dimakan oleh serangga ataupun hujan maka daun bawah akan menangkap radiasi lebih banyak. Pengaruh yang dapat diberikan kerusakan daun atas dapat kurang dari yang diharapkan, karena daun-daun bawah mengambil alih fungsi bagian yang tereliminasi.sebagai contoh dari 'kompensasi.

Selain kompensasi dalam tanaman ada juga kompensasi antar tanaman . Tanaman kecil yang tumbuhnya lambat karena penyakit dapat dilebihi pertumbuhan tanaman disebelahnya., yang akan menempati /mengambil ruang atau tempat yang ada , cahaya, air dan makanan. Agregasi dari penyakit sekarang menjadi penting. Apabila penyakit tanaman menyebar luas (agregasi rendah), maka kompensasi akan menjadi efektif. Apabila penyakit tanaman mengelompok, ruang akan terbuka dlapangan dan kompensasi tidak terjadi atau terjadi hanya pada margin dari lapangan terbuka.

Kompensasi akan lebih efektif semakin awal hal itu dimulai. Kompensasi tidak terjadi apabila tanaman yang sakit masih menggunakan ruang, cahaya, air atau makanan seperti pada tanaman gandum dan barley yang terserang smut (*Ustilago tritici*; *U nuda*). Kompensasi antar tanaman adalah suatu efek tanaman yang tipikal.

6.4. Interaksi antara Agen-agen Berbahaya

Para peneliti umumnya cenderung mempelajari efek dari satu penyakit pada suatu waktu. Sesungguhnya di alam petani menghadapi banyak hama dan penyakit walaupun salah satunya secara temporary lebih dominan dari yang lainnya akan tetapi mereka saling mempengaruhi satu terhadap lainnya. Pengaruh dua penyakit dapat *edditive ataupun interaktif*

Apabila additive maka setiap penyakit menyumbang terhadap kehilangan atau kerusakan secara independent terhadap lainnya dan kerugian minimal adalah jumlah kerugian atau kehilangan setiap penyakit secara terpisah. Interaksi akan terjadi apabila kerugian/kehilangan tanaman adalah dua penyakit terbagi diatas atau dibawah jumlah kerugian yang terjadi bila disebabkan oleh setiap penyakit secara terpisah. Contoh interaksi antara *Puccinia recondita* dan *Septoria nodorum* pada wheat. Apabila *S. nodorum* telah menginfeksi daun, rust tidak dapat masuk. Apabila rust telah menginfeksi daun, kerusakan rust yang rendah dapat merubah tanaman dari resisten moderat menjadi peka terhadap *S. nodorum*. Rust menginfeksi daun tidak saja mengakibatkan daun lebih peka tetapi juga membuat benjolan yang belum terinokulasi oleh rust lebih peka. Sebaliknya infeksi septoria diikuti oleh infeksi rust dua minggu berikutnya merubah gejala yang diperlihatkan oleh rust dengan terbentuknya telia yang tidak terjadi apabila tanpa Septoria.

Interaksi antara faktor patogenik dan lingkungan sering terjadi. Yang paling penting dalam interaksi tersebut adalah pengaruh infeksi jamur terhadap ketahanan inang.

Penggunaan Kunci-kunci

Kunci mengenai pertumbuhan akan meningkatkan pengetahuan tentang tingkah laku tanaman yang dapat dipertimbangkan apabila penilaian perkembangan dibuat pada interval yang regular/tetap.

Kunci-kunci penyakit digunakan oleh pemulia tanaman dalam membuat Peringkat garis-garis pemuliaan dan oleh ahli ekologi tanaman dan ahli penyakit tanaman dalam menilai kejadian dan intensitas penyakit-penyakit. Dua

kegunaannya dalam menentukan waktu perlakuan, biasanya penyemprotan zat kimiawi, pada suatu pertanaman dan penilaian kerugian.

Kunci respons penyakit, diutamakan dalam kombinasi dengan diagram-diagram standar, adalah sangat penting dalam pemuliaan tanaman. Identifikasi ras fisiologis hampir tak dapat dikerjakan tanpa hal tersebut, dan survei untuk ras-ras baru menjadi lebih efisien apabila para surveyer melihat respon secara kritis.

Pendugaan Kerugian Pertanaman

Hubungan antara intensitas penyakit dan kerugian tanaman dapat diset dengan model matematika, yang mana model multiple point lebih disukai. Model prediksi kerugian tanaman biasanya alat untuk menduga satu aspek dari kehilangan langsung dalam kuantitas. Prediksi dapat digunakan pada tiga level yaitu level regional, level lokal dan level pertanian.

Prediksi kerugian tanaman pada level pertanaman/pertanian digunakan untuk menghindari kerugian dan memutuskan bagaimana dan kapan mejual produksi. Untuk tujuan ini, pengetahuan tentang kualitas dan kuantitas dapat menjadi suatu asset besar sekali.

Pada level lokal, penafsiran kerugian tanaman dapat menjadi penting dalam kecendrungan perselisihan yang legal. Pemuliaan tanaman inokulasi lahan mereka untuk tes resistensi, tetapi apa efeknya terhadap lingkungan sekitarnya? Kecendrungan perselisihan antara petani jarang terjadi, tetapi pengalaman umum bahwa petani mengabaikan kerugian tanaman tetangganya. Pada level lokal, data kerugian tanaman memacu komunitas petani untuk mengambil perlindungan tanaman atau eradikasi. Pada tingkat regional dan nasional, data kehilangan atau kerugian hasil, terutama yang diperoleh dari survei sangat penting dalam penetapan kebijakan baik jangka pendek maupun Jangka panjang.

PENGELOLAAN PENYAKIT BERDASARKAN PRINSIP-PRINSIP EPIDEMIOLOGI

Sejak manusia mengenal pertanian maka sejak itu pula dikenal tentang adanya gangguan organisme pengganggu tanaman, namun pada awalnya hal ini tidak begitu mendapat perhatian petani. Namun dengan bertambah majunya pengetahuan petani dari generasi ke generasi maka mulai ada usaha untuk mengendalikan pengganggu tanaman tersebut dengan cara yang tradisional atau konvensional yang pertamakali dikenalkan oleh H. Whetzel tahun 1929. Prinsip-prinsip tersebut kemudian dimodifikasi dan pada Tahun 1968 komisi US National Academic Science menetapkan garis-garis besar prinsip pengendalian penyakit yang kemudian kita kenal sebagai prinsip konvensional (Tabel 7.1).

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan maka prinsip-prinsip tersebut dianggap kurang relevan. Hal ini karena pada prinsip konvensional pengendalian ditekankan pada pemberantasan absolute seperti mengeliminasi, menghancurkan dan mengeluarkan yang merupakan suatu tindakan yang tujuannya menekan penyakit sampai nol.

Kenyataannya di lapangan suatu mahluk hidup sulit dimusnahkan sampai nol karena mereka akan mempertahankan keberadaannya dengan melakukan perubahan genetik pada generasi-generasinya. Perubahan genetik ini dapat terjadi melalui mutasi, hibridisasi, heterokariosis, transformasi sitoplasma, konjugasi, dan lainnya. Oleh karena itulah pengendalian penyakit tidak dapat dilakukan sampai memusnakan tetapi lebih sesuai mengelola perkembangannya jangan sampai mencapai ambang yang membahayakan atau merusak tanaman.

Tabel 7.1. Prinsip-prinsip pengendalian penyakit tanaman

No	Prinsip pengendalian	Keterangan
1	Penghindaran	Mencegah penyakit dengan seleksi waktu/lokasi tanam, dimana inokulum tidak ada atau lingkungan tidak cocok bagi patogen
2	Eksklusi	Mencegah introduksi suatu inokulum patogen
3	Eradikasi	Mengeliminasi, menghancurkan dan menginaktivasi inokulum patogen
4	Proteksi	Mencegah infeksi dengan senyawa toksin atau lainnya
5	Resistensi	Menggunakan kultivar resisten atau toleran terhadap infeksi patogen
6	Terapi	Melakukan tindakan penyembuhan bagi tanaman yang terinfeksi

Taktik pengendalian penyakit secara konvensional seringkali tidak mempertimbangkan pengaruh kedinamisan perkembangan penyakit (epidemi penyakit) akan tetapi lebih bersifat kualitatif dan lebih cenderung menggunakan satu cara pengendalian yaitu penggunaan pestisida. Kelemahan lain pengendalian penyakit secara konvensional tidak mempertimbangkan apakah suatu taktik pengendalian yang akan diterapkan itu sinergis, kompatibel serta tidak berlebihan untuk suatu strategi yang holistik.

Pengembangan pengelolaan penyakit yang tepat dibutuhkan pengetahuan yang memadai tentang ekobiologi patogen, inang dan interaksi keduanya dengan lingkungan biotik dan abiotik. Pengetahuan ini sangat diperlukan agar seseorang mampu memperkirakan terjadinya penyakit per satuan waktu dalam suatu populasi tertentu. Disamping itu kemampuan dalam mendignosis dan identifikasi penyakit , faktor-faktor yang mempengaruhinya,serta mempunyai kemampuan dalam mengukur intensitas penyakit baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Sehingga suatu perkiraan perkembangan penyakit dapat ditentukan dengan tepat dan akurat.

Telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya bahwa epidemi penyakit digolongkan dalam dua katagori yaitu penyakit yang berkembang secara monosiklik dan polisiklik tergantung pada banyaknya infeksi yang terjadi dalam satu siklus tanaman. Penyakit monosiklik dapat mengakibatkan kehilangan hasil sangat tinggi atau bahkan mematikan tanaman hanya dengan satu siklus infeksi per musim tanam. Tahap awal dari monosiklik dapat digambarkan sebagai suatu model yang linier, dimana model untuk perkembangan penyakit ini adalah:

$$X_t = QR^t$$

Penyakit polisiklik dapat mengakibatkan kerugian tanaman dengan beberapa kali siklus infeksi permusim tanam. Tahap awal dari tipe polisiklik digambarkan oleh model exponential

$$X_t = X_0 e^{rt}$$

Dengan pengetahuan tentang tipe penyakit yang dihadapi maka seseorang akan lebih mudah menentukan langkah-langkah dalam pengendalian penyakit.

Ada tiga strategi utama dalam pengelolaan penyakit tanaman yaitu: 1) mengurangi inokulum awal, 2). mengurangi laju infeksi dan 3). mengurangi priode epidemi penyakit. Dari ketiga strategi ini dapat dipadu- padankan sesuai dengan kasus yang dihadapi. Pada model epidemik monosiklik peranan inokulum awal, laju infeksi dan waktu setara dalam menentukan besarnya penyakit. Pengurangan inokulum awal atau laju infeksi akan menurunkan intensitas penyakit dengan proporsi yang sama besarnya selama priode epidemik penyakit. Penurunan priode epidemic dengan menanam lebih awal atau menggunakan varietas umur genjah akan data menurunkan penyakit secara proporsional.

Pada epidemi polisiklik dapat dilakukan langkah-langkah seperti: 1). apabila laju infeksi (r) terlalu tinggi maka penurunan jumlah inokulum dapat menunda terjadinya epidemic, 2). Laju infeksi sangat tinggi, inokulum awal harus diturunkan sampai level terendah untuk mendapatkan hasil yang signifikan dalam menekan epidemik penyakit, 3). Penurunan laju infeksi akan menyebabkan dampak yang lebih besar dalam pengendalian penyakit daripada penurunan inokulum awal

Pengelolaan penyakit berdasarkan epidemiologi penyakit harus disertai dengan pengetahuan tentang biologi patogen dan inang yang memadai untuk dapat menentukan model epidemiologikal yang diharapkan.

Pengembangkan suatu langkah yang konseptual dari pengendalian penyakit menjadi pengelolaan penyakit maka prinsip-prinsip konvensional diatas dapat dimodifikasi dengan menyesuaikan kegunaannya dengan setiap atau ketiga strategi pengelolaan penyakit yang telah disebutkan diatas dan mengubah penekanannya dari pemberantasan penyakit yang absolut menjadi suatu aksi yang lebih kuatitatif.

Kesalahan dalam mengkombinasikan taktik pengelolaan dapat mengakibatkan gagalnya suatu pertanaman, ini berarti pengeluaran biaya produksi atau kerugian yang besar. Taktik untuk pengelolaan penyakit dapat dilihat pada Tabel 7.2 berikut ini:

Penekan atau penurunan jumlah inokulum awal dapat dilakukan dengan melakukan sanitasi perkebunan sebagai sumber infeksi sehingga terjadinya epidemic penyakit dapat dihindari. Sanitasi ini sebenarnya sudah umum dilakukan pada semua bentuk perkebunan atau pertanaman. Dalam tindakan sanitasi ini juga dapat dilakukan beberapa hal seperti: kultur teknis, penggunaan varietas tahan, penggunaan benih sehat, perlakuan benih, penggunaan fungisida atau desinfektan.

Kultur teknis dapat dilakukan dengan jalan pembersihan ataupun pemusnahan inang alternatif patogen, pemusnahan tanaman-tanaman yang terinfeksi untuk tanaman semusim atau memotong bagian yang terinfeksi untuk tanaman tahunan. Hal lain yang dapat dilakukan untuk menekan jumlah inokulum awal ini adalah menjaga kelembaban areal tanaman dengan mengurangi atau memotong naungan, membalik dan mencangkul tanah serta melakukan pergiliran tanaman.

Penggunaan benih sehat dan bersertifikasi atau menggunakan seed treatment dapat juga digolongkan dalam sanitasi untuk mengurangi jumlah inokulum awal. Selain itu penggunaan tanaman varietas tahan juga mampu mengurangi atau menekan jumlah inokulum awal.

Laju infeksi dapat ditekan melalui penggunaan tanaman varietas tahan terhadap patogen. namun demikian akan sangat baik bila menggunakan tanaman yang mempunyai ketahanan alamiah. Ketahanan tanaman secara umum dapat dibagi dua yaitu ketahanan horizontal dan ketahanan vertikal. Ketahanan horizontal adalah ketahanan yang dimiliki oleh tanaman secara alamiah dan dikuasai oleh banyak gen. Ciri-ciri ketahanan horizontal ini antara lain: dikuasai banyak gen, tahan terhadap semua ras dari satu patogen, reaksinya tidak differential, gen ketahanannya tidak dapat diidentifikasi, ketahanannya relative mantap dan pewarisannya tidak menurut hukum Mendel.

Ketahanan vertikal merupakan hasil rakitan pemulia tanaman. Ketahanan vertikal ini dapat dibedakan ketahanan vertikal monogenik dan ketahanan vertikal oligogenik. Ciri-ciri ketahanan vertikal adalah: umumnya dikuasai oleh satu gen atau beberapa gen, tahan hanya untuk satu ras tertentu

Tabel 7.2. Strategi pengelolaan penyakit tanaman berdasarkan azaz-azaz epidemiological

No	Strategi	Menekan inokulum awal	Menekan laju infeksi	Menekan lama epidemic
1	Penghindaran	Menurunkan enyakit dengan pemilihan musim tanam dimana inokulum rendah atau lingkungan tidak cocok bagi terjadinya Infeksi	Menurunkan laju produksi inokulum, laju infeksi dan alju epidemik penyakit dengan seleksi musim/lingkungan yang tidak sesuai untuk infeksi	Menanam kultivar yang berumur genjah atau pada musim dimana memungkinkan tanaman cepat berproduksi
2	Ekslusi	Mencegah masuknya inokulum dari luar	Menekan terjadinya introduksi dari luar selama priode epidemik	Karantina tanaman
3	Eradikasi	Menurunkan produksi inokulum awal dengan menghancurkan sumber inokulum awal melalui sanitasi, memusnakan sumber ataupun inang alternative	Menekan laju produksi inokulum selama epidemik dengan memusnahkan atau menginaktivkan sumber inokulum	
4	Proteksi	Menurunkan tingkat inokulum awal menggunakan senyawa toksik atau lainnya	Menekan laju infeksi menggunakan senyawa toksit	
5	Resistensi	Penggunaan kultivar tahan terutama terhadap infeksi awal	Menggunkan kultivar yang dapat mengurangi laju Produksi inokulum, laju infeksi dan laju epedemik	
6	Terapi	Melakukan kemo-terapi,termotrapi atau kutu jaringan dan bibit tersertifikasi	Terapi tanaman yang telah terinfeksi atau mengurangi produksi inokulum awal	

saja diturunkan secara hukum Mendel, reaksinya diferensial, gennya dapat diidentifikasi, dan ketahanannya tidak mantap.

Contoh kasus penerapan strategi pengelolaan penyakit gugur daun *Corynespora cassiicola* (PGDC), yang merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman karet tidak saja di Indonesia tetapi juga diseluruh pertanaman karet di dunia. Berdasarkan bioekologi patogen, inang dan interaksi keduanya dengan lingkungan biotik maupun abiotik serta epidemiological maka untuk pengelolaannya dianjurkan hal-hal berikut: menghindari introduksi inokulum dari kebun karet lainnya karena diketahui patogen tersebut mempunyai banyak ras yang berbeda pada lokasi kebun karet yang berbeda, penekanan laju produksi inokulum selama epidemik dengan jalan memusnakan atau menginaktifkan sumber inokulum, menekan laju infeksi dengan menggunakan senyawa kimia yang ramah lingkungan, penggunaan kultivar yang tahan atau moderat tahan secara vertikal, untuk kebun yang tidak terlalu dianjurkan menggunakan system multiline atau menggunakan tanaman yang memiliki ketahanan horizontal.

Contoh lain pengelolaan penyakit bulai pada jagung yang disebabkan oleh *Peronosclerospora maydis*. Penyakit ini merupakan penyakit penting karena dapat memusnakan tanaman. Patogen ini bersifat obligat, termasuk patogen polisiklik yang dipencarkan oleh angin dan juga melalui biji. Memerlukan kelembaban yang tinggi, perkecambahan spora memerlukan air bebas. Pengelolaannya dapat dilakukan dengan menekan jumlah inokulum awal, laju infeksi dan waktu. Pengubahan atau mengatur waktu tanam agar tanaman terhindar dari infeksi, menanam varietas genjah, sanitasi dengan mencabut dan memusnahkan tanaman yang terinfeksi, seed treatment, serta penggunaan varietas tahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2007. Estimating Model Parameter Transformation. [http://www.apsnet.org/Advanced Plant Pathology education/topics/epidemiology.htm#Progres.Diakses](http://www.apsnet.org/Advanced_Plant_Pathology/education/topics/epidemiology.htm#Progres.Diakses) Desember 2007.
- Agrios, G. N. 1997. Plant Pathology. Fourt Edition. Academic Press. 635 p.
- Agrios, GN 2005. Plant Pathology (5th edition). Plant Pathology (5th edition). Elsevier-Academic Press. Elsevier-Academic Press. San Diego, CA. San Diego, CA.
- Browning, JA, M.D. Simons dan E. Torres. 1977. (2) Browning, JA, Simons, MD, dan Torres, E. 1977. Pages 191-192 in: Plant Disease, an Advanced Treatise, Vol. 1. 1. JG Horsfall and EB Cowling, eds. JG EB Academic Press, NY. Academic Press, NY.
- Campbell, CL dan Madden, LV 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. Introduction to Plant Disease Epidemiology. Wiley Interscience, NY. Wiley Interscience, NY.
- Chiarppa, L. 1981. Man made epidemiological hazard in major crops of developing countries. *In* Plant disease and vector: Ecology and epidemiology (K. Maramorosch and K. F. Harris, eds). Acad Press.
- Duggar, BM 1909. Fungous Diseases of Plants. Ginn and Co., NY Ginn and Co, NY.
- Friensland, H. and H. Schrodte. 1988. The analysis of weather factors in epidemiology *in* Kranz J. and J. Rotem (ed) Experimental techniques in plant disease epidemiology. Springer-verlag. P 115-134.
- Fry, E. W. 1982. Priciple of Plant Diseases Management. Adademic Press. Inc. London.
- Gäumann, E. 1950. (5) Gäumann, E. 1950. Principles of Plant Infection. Principles of Plant Infeksi. Hafner Publ., NY. Hafner Publ., NY.

- Hananto. 2003. Analisis genetic sifat ketahanan tanaman karet terhadap penyakit gugur daun corynespora (Disertasi). IPB Bogor.
- Horsfall, J. G and E. B. Cowling, 1978. Prologue: how disease develops in population. *In* Plant disease. An advanced treatise (Horsfall and E.B. Cowling, eds):II:1-15. Acad Press, N.Y.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/plant-disease-triangle-nonconducive-environments>. Diakses januari 2010.
- IRDB. 2001. Annual Report for 2004. IRDB.net. Kualalumpur, Malaysia.
- Jones, G. 1998. The epidemiology of plant diseases. London: Kluwer Academic Publisher.
- Kranz, J., ed. (1974). Epidemics of plant diseases: Mathematical analysis and modeling, Ecol. Stud. 13.springer-verlag, Berlin and New York.
- Large, E. C. 1954. Growth stage in cereals, illustration of Feekes scale. *Plant Pathology*, 3:128-129.
- Lucas, J. A. 1998. Plant pathology and plant pathogens. Blackwell Science Ltd.
- Pawirosoemardjo, S., Purwantara, A. 1987. Sporulation and spore germination of *Corynespora cassiicola*. Proceeding of IRRDB Symposium Pathology of *Hevea brasiliensis*, November 2-3, 1987. Chiang mai Thailand. P. 24-33.
- Radziah, N. Z., S. H. Sulong dan S. haidir. 1996. Variation among isolates of *Corynespora cassiicola* associated with *Hevea brasiliensis* in Indonesia. Workshop on Corynespora leaf fall disease an Hevea rubber. Medan 16-17 December 1996. p. 79-97.
- Situmorang, A. 2002. Sebaran penyakit, virulensi dan genetika Isolat *Corynespora cassiicola* asal sentra perkebunan karet Indonesia (Disertasi). IPB Bogor.
- Situmorang, A., A. Budiman. 1984. *Corynespora cassiicola* (Berk & Curt) Wei penyebab penyakit gugur daun pada karet. Kumpulan makalah lokakarya karet 1984, PN/PT Perkebunan Wilayah-1 dan P4TM, 14-16 Nopember 1984 di Medan. P4TM. 10 hal.

- Soepena, H. 1983. Gugur daun corynespora pada tanaman karet di Sumatera Utara. Balai Penelitian Perkebunan Sei Putih. 7 hal.
- Soepena, H. 1986. Penyakit gugur daun Corynespora pada tanaman karet. Pertemuan Karet dan Kelapa. Semarang 6-7 Februari 1986. Research Centre Getas. PN/PT Perkebunan Salatiga.
- Soepena, H. 1990. Perkembangan dan penanggulangan penyakit gugur daun *Corynespora cassiicola* (Berk d& Curt) Wei. Buletin Perkaretan BPP Sunai Putih. Medan.
- Scheffer, R. S. 1997. The nature of disease in plant. Cambridge Univ. Press.
- Scott, P. R., and Bainbridge, A. (1978), Plant disease epidemiology. Federation of British Plant pathologists, London.
- Stevens, RB 1960. in Plant Pathology, Advanced Treatise, Vol. 3. 3. JG.Horsfall and AE Dimond, eds. JG Horsfall dan AE Dimond, eds. Academic Press, NY. Academic Press, NY.
- Van der Plank, J. E. (1963). Plant diseases: Epidemic and control. Academic Press, New York.
- Waren, D. 1987. Brazil and the struggle for rubber. Cambridge University Press. Cambridge.
- Zadock, J. C. and Schein, R, D. 1979. Epidemiology and plant disease magement. Oxford Univ. Press London and New York.

Daftar index;

- Abiotik 4,18,29,90
Aecia 20
Aeciospora 20
Aseksual 18
Agregasi 13
Agresif 15
Airborne 9
Akhir musim 13,14,20,22,23,31,41
Aktivitas biokimia 12
Aktual 62,63,70
Alternari porri 58
Alternatif 10
Ambang ekonomi 4,11
Amerika serikat 2
Analisis 26,27,28,30,35, 40,82
Analisis epidemiologikal 26
Analisis kurva 24
Analisis quantitative 2
Analitik 3
Angin 8,20,21,46
Antagonisme 55,59
Antibiosis 59
Appresorium 12
Arah angin 55
Area 2,7,15
Asimilat 48
Askospora 14,16
Aspek numerik 4
Aspergillus plavus 65
Atribut 13
Attainable yield 69,70
Aturan praktisi 5
Awal musim 12,23
Bakteri 7,23,50,64
Basidiospora 20,60
Benih sehat 92,94
Bercak coklat 2
Berproduksi tinggi 2
Bervariasi 15
Binatang 7
Biological control 55
Biotik 3,5,16,82
Bipolaris maydis 2
Black stem rust 10
Brazil 58
Buah 13
Budidaya 1
Bunga sederhana 28
Busuk akar 10
Cabang 13
Cahaya 51
Cara penyebaran patogen 7
Cedar 17
Ceratocytis ulmii 2,15
Cercospora zea-maydis 6
Ceylon 60
Cochliobolus sativus 23
Colletotrichum 51
Conidia 50
Corynespora 48
Corynespora cassiicola 7
Crop-physiological 73
Cuaca 6, 50
Cysta 23
Dampak 1
Damping off 6, 63
Dasar-dasar 3, 5
Data yang akurat 15
Dataran rendah 47
Dataran tinggi 47

Daun 13
 Daur reproduksi 7
 Debris 20
 Defoliasi prematur 61
 Density 13
 Derajat keasaman 53
 Disease incidence 67
 Disease severity 68
 Deskripsi 20
 Determinasi 4
 Diagram 8,70
 Determinasi 9,28
 Difasilitasi 24
 Dikelola 4,9
 Dinamika penyakit 6,12,15,16,20,24,25,37
 Dipencarkan 12
 Disease incidence 13
 Diseases severity 13
 Disebarkan 16
 Diskripsi gejala 67
 Dispersal 55
 Distribusi 16,29
 Diukur 10
 Dorman 20
 Dramatic 22
 Duch elm 2,20
 Economic yield 64
 Edditive 79
 Efek 9
 Efektif 5, 29
 Efikasi 5,26
 Efisien 41
 Ekologi 1
 Ekologi patogen 7
 Ekonomi 1
 Ekponential 20
 Eksistensi 13
 Ekslusi patogen 4
 Ekspensial 21,29,31, 37
 Eekspresi matematika 30
 Eksresi 45
 Eksudat 17
 Elemen-elemen 11
 Epidemi 1,12,15
 Epidemiologi:1,12
 Epidemiologist 76
 Equador 2
 Equivalen 16
 Eradikasi patogen 4
 Eropa 1
Erwinia amylovora 54
 Evaluasi kebutuhan 5
 External 78
 Faktor internal tanaman 6
 Faktor lingkungan 5,6,30
 Faktor pembatas 1
 Fase pematangan 7
 Fase perkembangan 7
 Fenology 78
 fenomena 3
 Fisika lingkungan 4
 fisiologi tanaman 4
 fitopatologikal 73
 Florida 2
Fomes annosus 55
 Fungisida 45
Fusarium oxysporum f.sp cubense 2
Fusarium sp 7
 gall 17
 Ganda 14
 Gandum 66
 Gejala awal 10
 Gelondongan 2
 Gen 2, 6
 Generasi 9,18,19,22
 Genetika 4
 Germinasi 48
Gibberella zeae 47

Globodera rostochiensis 23
 Grafik 22,23
Gymnosporangium juniperi-virginianae 17
 Hajat hidup 1
 Hasil aktual 57,64,65
 Hasil ekonomi 64
 Hasil potensial 57,58
 Hasil primitif 64
 Hasil teoritical 65
 Hawar 1,2,12
Helminthosporium oryzae 2, 52,60
Hemileia vastatrix 2,44,58
 Heterogen 11
 Heterokariosis 81
 Hewan 8
 Hibridisasi 81
 Hidden loss 63
 Hidroponik 8
 Hifa 10,17
 Hifa penetrasi 10
 Hipotesis 25
 Homogen 11
 Host rentan 5
 Hubungan segitiga 8
 Hujan 50
 Identifikasi 15
 Identik 11
 Ilmu 1,4
 Ilustrasi 12,26
 Inang 1,12,17,20,66
 Individu 12
 Indonesia 47,51
 Infeksi 6,9,18,51
 infeksi 28
 inkubasi 43
 inokulasi dan infeksi 26
 Inokulum 7,18,20,28,52
 Inokulum awal 7,18,26,27,32,34,38, 83
 Inokulum primer 10
 Inokulum skunder 11
 Insiden 13,15,71
 Intelektual
 Intensitas penyakit 13,22
 Interaksi 1,3,15,26
 Interaktif 79
 Interpretasi 2
 Invasi 17
 Investigasi 25,66
 Investment 24
 Irigasi 48
 irigasi 8
 Irlandia 1
 Istilah-istilah 14
 Integrasi 4
 Jamur karat 10
 Jaringan 12
 Jumlah individu 13
 Jumlah inokulum 7
 Jumlah penduduk 12
 Jumlah penyakit 15
 Jumlah penyakit 27
 Kakao 2
 Kalibrasi 76
 Kalkulus 4
 Kapas 58
 Kapasitas hasil 61
 Karat kopi 2,58,60
 Karakter 26
 Karakteristik 66
 Karet 48
 Kasus 6,15,23
 Kausal 6
 kebasahan 46
 Kecepatan emigrasi 12
 Kecepatan kelahiran 12
 Kecepatan kematian 12
 Kedokteran 1
 Kegiatan manusia 8

Kehidupan 1,4
 Kehilangan hasil 3,22,57,68
 Kehutanan 8
 Kelaparan 1
 Kelembaban 46
 Kemampuan patogen 26
 Kemampuan sporulasi 7
 Kenya 60
 Kepadatan 13
 Keparahan penyakit 13,15,22,77
 Kepekaan 43
 Keragaman genetik 6
 Kerentanan 15
 Kerugian 3,5
 Kerugian aktual 58
 Kerugian Ekporter 60
 Kerugian insidental 62
 Kerugian Konsumen 60
 Kerugian langsung 58,61
 Kerugian Lingkungan 61
 Kerugian primer 61
 Kerugian struktural 63
 kerugian teoritikal 65
 kerugian tidak lansung 58
 Kerugian transisional 62
 Kerusakan 1,57,63
 Ketahanan inang 26,30
 ketahanan tanaman 6
 Ketahanan vertikal 85
 Ketergantungan kepadatan 32
 Keturunan 16
 Kimia 16
 Kisaran inang 15
 Kisaran laju peningkatan penyakit 24
 Klamidospora 20
 Kolonisasi 20,45
 Kombinasi 5,10
 Kompatibel 41
 Kompetisi 55
 Kompetitor 56
 Komplek 3,9
 Komputer 4
 Komunitas 4,12
 Kondusif 5
 Konidia 20
 Konidiofor 51
 Konidiopora 12,43
 konjugasi 81
 Konsep 3,12
 Konseptual 83
 Konstanta 27.
 Konsumen 57
 Kontak 5, 10
 Kontinue 19
 Konvensional 64,81
 Kopi 2,58
 Kortek 17
 Kriteria 5
 Kualitas 1,57,61
 Kualitatif 13,82
 Kuantitas 1,57,61
 Kuantitatif 41
 Kultivar 76,77
 Kultur tekhnis 84
 Kumbang 15
 Kumpulan 4
 Kurva 22,23,24,31
 Laju infeksi 40,83
 Laju kematian 22
 Laju peningkatan penyakit 32
 Laju perkembangan penyakit 26
 Laju reproduksi patogen 30
 Langkah langkah 3
 Late blight 18,75
 Layu vascular 10
 Ledakan penyakit 12
 Lesio 10,18,19
 Level 4,80

Linear 29
 Lingkungan 1,3,10,15
 Lingkungan mikro 44
 Liquidasi 60
 Logistik 38
 Male sterile cytoplasm 2
 Management ekonomi 5
 Management penyakit 5,15,27
 Manipulasi genetika tanaman 8
 Manipulasi lingkungan 8
 Manipulasi pertanian 30
 Manusia 7
 Masyarakat 3
 Matematik 4,11
 Mekanisme 9
 Mekanisme penyebaran 20
Meloydogyne incognita 48
 Memonitor epidemik 23
 Memperlambat 9
 Menafsir 24
 Mencegah 9
 Mengalihkan patogen 8
 Mengantisipasi 3
 Mengekspresikan 26
 Mengelola 3,4,15
 Mengelompok 13
 Mengenyakkan 9
 Mengestimasi 32
 Menghancurkan 2
 Menghentikan 9
 Mengidentifikasi 15
 Menginvestigasi 32
 Mengobservasi 32
 Menstimulasi perkecambahan 17
 Menyebar 1
 Meramal peningkatan penyakit 24
 Merekomendasikan 41
 Merugikan 9
 Meteorologi 4
 Meterologikal 73
 Metode titik kritis 74
 Metodologi 4
 Mikologi 4
 Mikro sklerotia 17
 Mikroflora 55
 Mikrometeorologi 4
 Mikroorganisme 55
 Mikrosklerotia 17,28
 Miselia 50
 Miselium 20
 Model 15,16,24,25,32,74,76,80
 Moderat 39
 Modifikasi 8
 Molekul 12
Monilia roleri 2
 Monogenik 85
 Monosiklik 17,20,21,22,29,80
 Morfologi 10
 Motor penggerak 2
 Musim dingin 12,17,20
 Musim gugur 12
 Musim panas 18,20
 Musim semi 12,20
 Musim tanam 16
 Mutasi 81
Mycosphaerella musicola 45
Mycosphaerella musicola 58
 Nasional 65,80
 Nutrisi 54
 Oligogenik 85
 Operasional 11
 Organisme 4
 Outbreak 63
 Overlapping generasi 19
P. infestan 18
 Parasit 54,61
 Pasca panen 11,17
 Pathometry 65

Pathosystem 8
 Patogen 1,3,5,7,,12,15,16,21,22,23
 Patogen monosiklik 7,10,28
 Patogen polietik. 20
 Patogen polisiklik 7,18
 Patogenesis 55
 Peka 79
 Pelepasan spora 51
 Pemahaman 4
 Pembiakan dan rekayasa genetika 8
 Pemulia 2
 Pemusnaan 41
 Penafsiran penyakit 67
 Penetrasi 17
 Pengaturan 3
 Pengelolaan penyakit 40
 Pengendalian 1,3,5,24
 Pengetahuan 15
 Pengetahuan tingkah laku 5
 Pengguguran daun 48
 Penghindaran 4
 Pengusahaan 1
 Penilaian penyakit 66
 Peningkatan absolut 31
 Peningkatan penyakit 15, 16,29,30,32
 Peningkatan populasi 22
 Penularan penyakit 8
 Penyakit berbunga majemuk 31
 Penyakit karat 11,17
 Penyebab penyakit 1,5
 Penyebaran 13,51
 Peramalan 25
 Peran 8
 Peranggasan 51
 Perbanyakan 9
 Pergiliran tanaman 84
 Periode 6,27
 Peritesia 12
 Perkebunan 2
 Perkembangan 3
 Perkembangan penyakit 15,16,20,40
 Perlakuan benih 84
 Perlindungan tanaman 4
Peronosclerospora maydis 85
Peronospora tabacina 58
 Persentase 14
 Persentase tanaman 13
 Pertambahan individu 12
 Pertanian 1,21
 Pesat 5
 Pestisida 45
 Peteduh 2
 Phenomena 4
 Photo udara 72
 Phylloplane 44
 Phyllosphere 44
Phymatotrichum omnivorum 36
 Phytopathometry 65
Phytophthora infestans 1, 7,15,23
 Piramida 8
Plasmodiophora brassicae 54
 Pola spatial 65
 Polisiklik 11,12,20,21,22,29
 Polisiklik 83
 Populasi 12,13,14,15,20,22,29
 Portfolio awal 70
 Potensial 63
 Praktek 8,26
 Prediksi 15,3,75,80
 Prevalensi 13, 14,68
 Primer 61
 Prinsip epidemiologi 5
 Priode 11,18,20,22
 Produksi 1,5
 Progres penyakit 25
 Propagul 16,18,38
 Proporsi 13,21,28
 Prosedur 3

Proses 1,9, 11
Puccinia coronata 62
Puccinia graminis 21
Puccinia recondita 62
Puccinia striiformis 54
Puccinia striiformis. 11
 Pycnia 18
 Radiasi 51
Ralstonia solanacearum 60
 Rantai infeksi 9,11,12
 Ras baru 6
 Ratio 77
 Reality 25
 Regional 65,80
 Regular 13
 Relevan 11
 Rentan 1,7,15,18
 Rentang 8,9
 Reproduksi 15,16,19,22,30
 Residu 5
Rhizoctonia solani 48
Rhizoctonia, Sclerotium 49
 Ruang 4
 Rumah kaca 8
 Rust 22
 Sanitasi 84
 Satu musim 7
 Sayuran 7
 Scientific 4
 Seed treatment 84
 Segitiga penyakit 8
 Sehat 1
 Seksual 12,16
 Sel 8,12
 Selektif 17
Septoria nodorum 76
 Serangan 1
 Serangga 7
 Severity 65
 Sifat 3
 Sigmoid 22.32
 Siklus 7,8,9,11,17,17
 Siklus tunggal 16
 Simptomatologi 67
 Sinar ultraviolet 51
 Sistemik 10
 Skala 14
 Skala diskriptif 69
 Skala Feeekes 66
 Skala logaritmik 69
 Skala regional 73
 Skala waktu 20
 Sklerotia 20
 Skunder 61
 Soil borne 11,17,37
 Solarisasi 52
 Species 11
 Spesifik 11
 Spora 5
 Sporangia 12,18,18
 Sporulasi 48,51
 Srilanka 2
 Stabilitas pengendalian 5
 Statistik 4
 Stimulasi 2
 Strain 2
 Strategi 5.15.24,66
 Struktur miselia 10
 Sub proses 9
 Substitusi 28
 Sukses 11
 Sumatera barat 60
 Sumatera Selatan 51
 Sumber 5,7,10
 Survei 73
 Swollen shoot 15
 Tabung kecambah 10,49
 Tahan 2

Tahap pertumbuhan 9
Taksonomi 4
Tanaman 1.4.5,7
Taphrina deformans 62
Teknologi management 4
Telia 17
Temperatur 46
Teori 15,32,74
Terkontaminan 20
Tersebar 23
Thielaviosis basicola 46
Tingkah laku 1,15
Tingkatan 4
Tipe reproduksi patogen 7
Tipe tanaman 6
Tobacco blue mold 58
Toleran 76
Transformasi konidia 17
Transformasi sitoplasma 81
Turbulensi 51
Uganda 58
Ukuran 14,15,16.26
Umbi 13