

DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TUMBUHAN

PART I (SKS 2/1)

SOPIALENA

A. SILABUS

Pembahasan arti penting penyakit, perkembangan konsep penyakit, dan jenis penyebab penyakit (patogen) tumbuhan. Interaksi tumbuhan dengan patogen pada tingkat sel, jaringan, dan populasi tanaman. Pengaruh faktor luar terhadap penyakit. Diagnosis dan cara pengelolaan penyakit. Contoh penyakit tumbuhan yang mempunyai arti penting.

B. TUJUAN

Setelah mengikuti mata kuliah ini mahasiswa mampu untuk:

1. Membedakan antara tumbuhan sehat dan sakit, serta memahami arti penyakit tumbuhan bagi manusia; secara khusus arti penyakit dalam budidaya tanaman.
2. Memahami proses terjadinya penyakit tumbuhan dan interaksi anasir penyakit (segitiga penyakit).
3. Mengetahui cara-cara mengidentifikasi penyakit tumbuhan, khususnya penyakit pada tanaman budidaya penting.
4. Memahami strategi manajemen penyakit dan berbagai risiko yang disebabkan.

C. RENCANA KEGIATAN PEMBELAJARAN MINGGUAN

Minggu	Topik	Pokok Bahasan
1	Pendahuluan	1. Penjelasan tentang mata kuliah : Silabus, Bobot, Tim Dosen, Perkuliahan, Praktikum, dan Evaluasi 2. Pengantar tentang ilmu penyakit tumbuhan: kenapa tanaman dilindungi; kenapa tanaman sakit?; Pentingnya penyakit tanaman; terminologi
2	Sejarah Penyakit dan Konsep penyakit tumbuhan dan arti penting	1. Konsep penyakit tumbuhan: Segitiga penyakit dan Prisma penyakit 2. Arti penting penyakit dalam sistem produksi pertanian
3	Pengenalan / identifikasi penyakit	1. Gejala penyakit: Jenis gejala (sistemik dan lokal) dan Variasi gejala (Faktor yang mempengaruhi ekspresi gejala) 2. Tanda penyakit tumbuhan
3	Penyebab penyakit tumbuhan	1. Biotik: jenis patogen, pembuktian organisme sebagai penyebab penyakit

		(Postulat Koch) 2. Abiotik: faktor abiotik penyebab penyakit
4	Patogen biotik	Jamur fitopatogen
5	Patogen biotik	1. Bakteri 2. Prokaryot lain 3. Nematoda
6	Patogen biotik	1. Submikroskopik / molekuler: Virus dan Viroid 2. Tumbuhan parasit
7	Daur patogen dan daur penyakit	1. Daur patogen 2. Daur penyakit: kontinu dan diskontinu
8	Ujian tengah Semester	
9	Faktor lingkungan	Pengaruh faktor lingkungan terhadap: patogen, tumbuhan inang dan perkembangan penyakit
10	Epidemiologi	1. Faktor pemicu epidemi 2. Perkembangan penyakit: Monosiklis, Polisiklis dan Polietis 3. Patometri: penilaian penyakit (<i>disease assessment</i>), Penilaian kerugian (<i>crop loss assessment</i>) dan Peramalan penyakit
11	Patogenesis	Patogenesis: perombakan dinding sel oleh patogen (Enzimatik dan Toksin), Invasi patogen dan kolonisasi
	Pertahanan Patogen	Tanaman terinfeksi sebagai sumber inokulum utama; saprophyt sebagai tempat pertahanan patogen; Organisme dorman sebagai sumber inokulum; dan faktor-faktor yang mempengaruhi pertahanan patogen di tanah.
	Penyebaran Patogen	Penyebaran sendiri dan penyebaran pasif
12	Pertahanan Tumbuhan	Respons tumbuhan terhadap patogen: • Pertahanan pasif / <i>passive defences</i> / <i>preexisting defence</i> : berbagai jenis barrier • Pertahanan aktif / <i>Active defences</i> : reaksi hipersensitif, fitoaleksin, PR protein dan SAR
13	Patologi	Genetika penyakit tumbuhan: konsep gen demi gen dan variasi genetik
14	Pengelolaan penyakit	1. Strategi pengelolaan: Eksklusi, Eradikasi dan Proteksi 2. Cara pengelolaan: Bercocok tanam dan Hayati
15	Pengelolaan penyakit	1. Kimia 2. Pengelolaan Penyakit Terpadu dan PHT
16	Penyakit penting	1. Penyakit pada tanaman: pangan, hortikultura dan perkebunan 2. Penyakit pascapanen

D. BAHAN BACAAN

Wajib:

1. Agrios, G.N.2005. Plant Pathology. Acad. Press
2. Semangun, H. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Gama Press

Dianjurkan :

1. Sopilena. 2017. Segitiga Penyakit Tanaman. Mulawarman Press.
2. Brown, J.F & H.J. Ogle (Eds.).1997. *Plant Pathogens and Plant Diseases*. APPS
3. Fry, W.E. 1982. *Principles of Plant disease Management*. Acad. Press
4. Lucas, J.A. 1998. *Plant Pathology and Plant Pathogen*. 3rd ed.Black Well Sci.

DAFTAR ISI

PENDAHULUAN

I. PERANAN PERLINDUNGAN TANAMAN

II. PENYAKIT TUMBUHAN

III. PENTINGNYA PENYAKIT TANAMAN

IV. ILMU PATOLOGI TANAMAN

V. TERMINOLOGI

DAFTAR PUSTAKA

PENDAHULUAN

Fitopatologi menurut wikipedia adalah suatu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang penyakit yang ada pada tumbuhan yang diakibatkan oleh serangan pathogen ataupun karena gangguan ketersediaan suatu unsur hara. Fitopatologi ini berasal dari gabungan kata dari bahasa Yunani yang memiliki arti phyton dengan makna tumbuhan, pathos yang memiliki arti sakit atau menderita, dan logos yang berarti ilmu atau pengetahuan. Secara biologis tumbuhan dikatakan sakit bila tidak mampu melakukan kegiatan fisiologis secara normal, yang meliputi respirasi, fotosintesis, penyerapan gizi yang diperlukan dan lain-lain. Selain itu tanaman sakit juga tidak dapat menunjukkan kapasitas genetiknya, seperti berdaya hasil tinggi, morfologi yang normal dan lain-lain.

Suatu studi ilmu tentang penyakit tumbuhan meliputi penyebab penyakit, interaksi antara penyebab penyakit tumbuhan inang dan lingkungannya, dan fisiologi tanaman sakit. Studi penyakit tumbuhan dalam populasi tumbuhannya disebut epidemiologi.

Berdasarkan penyebab penyakitnya tumbuhan dikelompokkan dalam: penyakit yang terjadi akibat kelompok tidak hidup (abiotik) dan penyakit yang terjadi akibat jasad hidup (biotik). Penyakit abiotik bersifat tidak menular atau noninfectious sedangkan penyakit biotik bersifat menular. Penyebab penyakit abiotik antara lain adalah kekurangan unsur hara, suhu yang sangat rendah ataupun sangat tinggi, pencemaran (polusi). Penyakit tumbuhan biotik antara lain adalah jamur (fungi), bakteri, fitoplasma, virus, viroid, nematoda dan tumbuhan parasitik.

Menurut Agrios (2005) penyakit tanaman adalah suatu kondisi dimana sel dan jaringan tanaman tidak lagi berfungsi secara normal yang disebabkan karena gangguan secara terus-menerus oleh suatu agen patogenik atau disebabkan faktor lingkungan abiotik dan akan menghasilkan suatu perkembangan yang disebut sebagai gejala. Penyakit umumnya disebabkan oleh cendawan atau jamur, bakteri, virus, dan nematoda. Cendawan adalah suatu kelompok makhluk hidup yang mirip tumbuhan tingkat tinggi karena memiliki dinding sel, bereproduksi dengan spora, tetapi tidak mempunyai klorofil. Penyakit tanaman yang merupakan suatu penyimpangan atau abnormalitas tanaman beragam bentuknya, misalnya keriput daun, bercak coklat, dan busuk. Tanaman yang sakit menunjukkan gejala atau tanda yang khas. Gejala merupakan perubahan yang ditunjukkan oleh tumbuhan itu sendiri akibat terjadinya suatu serangan penyakit. Contoh salah satu gejala dapat berupa nekrotis, yaitu suatu keadaan dimana terjadi karena adanya kerusakan pada selnya hingga matinya sel.

I. PERANAN PERLINDUNGAN TANAMAN

Perlindungan tanaman pada umumnya akan dimulai dengan uraian mengenai kerusakan tanaman dan kehilangan hasil yang disebabkan oleh berbagai jenis organisme yang menggunakan tanaman sebagai sumber makanannya. Berbagai jenis organisme perusak ini tidak perlu bersusah payah menanam tanaman sumber makanannya, cukup dengan mencari dimana kita membudidayakan tanaman untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Karena mereka memakan tanaman berbagai fase pertumbuhan, seringkali tanaman mengalami kerusakan sebelum sempat berproduksi sehingga panen kita menjadi berkurang daripada seharusnya. Bila tanpa ada kerusakan oleh organisme kita mampu memperoleh panen padi 6 ton/ha, dengan adanya kerusakan panen menjadi menurun, misalkan saja, 5 ton/ha.

Perbedaan hasil panen yang ada antara tanpa dan dengan terjadinya kerusakan oleh organisme penyebab kerusakan tanaman disebut sebagai kehilangan hasil dan berbagai macam organisme perusak tanaman yang dapat menyebabkan hilangnya hasil suatu tanaman disebut sebagai organisme pengganggu tanaman.

Kehilangan hasil yang disebabkan oleh organisme pengganggu tumbuhan tidak hanya terbatas secara kuantitatif sebagaimana contoh di atas, tetapi juga secara kualitatif. Kerusakan yang ditimbulkan pada hasil akan menyebabkan penampilan hasil menjadi kurang menarik sehingga harganya menjadi lebih murah. Buah apel yang berkudis pasti harganya lebih murah {arena membeli buah apel yang mulus berarti mendapat bonus pestisida. Demikian juga dengan sayuran, ibu-ibu akan menawar sayuran yang disertai dengan lubang-lubang bekas dimakan ulat dengan harga lebih murah daripada sayuran dengan daun mulus. Beras Raskin harganya murah karena selain kualitasnya buruk juga karena telah bercampur dengan kumbang bubuk *Sitophilus oryzae*. Dalam contoh ini, hasil bukan hanya berkurang secara kuantitatif, tetapi juga secara kualitatif. Hasil tetap dapat dijual, tetapi karena kerusakan yang disebabkan oleh organisme pengganggu tumbuhan maka dihargai lebih rendah oleh konsumen. Konsumen yang awam tentang bahaya pestisida lebih mentoleransi residu pestisida daripada kerusakan oleh organisme pengganggu tumbuhan.

Namun perlindungan tanaman menjadi penting bukan hanya karena organisme pengganggu tanaman dapat menyebabkan kehilangan hasil. Kehilangan hasil memang penting, lebih-lebih bila hasil yang dirusak oleh organisme pengganggu tumbuhan adalah hasil tanaman pangan. Dalam sejarah, kerusakan yang ditimbulkan oleh organisme pengganggu tumbuhan pada tanaman pangan menimbulkan dampak yang jauh lebih

kompleks daripada sekedar kehilangan hasil. Misalnya saja, penyakit hawar lambat pada tanaman kentang menyebabkan jutaan penduduk Irlandia mati kelaparan atau beremigrasi ke luar negeri dan Jerman kalah pada Perang Dunia I karena tentaranya kehilangan semangat berperang memikirkan keluarganya di rumah yang kelaparan. Penyakit tungro pada padi di Indonesia menyebabkan swasembada pangan yang berhasil dicapai pada 1984 tidak dapat dipertahankan pada tahun berikutnya. Pangan merupakan isu yang berdimensi sangat luas sehingga kerusakan yang ditimbulkan oleh organisme pengganggu tumbuhan dapat berdampak luas pula, terhadap ketahanan pangan dan bahkan terhadap ketahanan nasional suatu negara.

Di era globalisasi dan perdagangan bebas dewasa ini, perlindungan tanaman bahkan menjadi semakin lebih penting lagi. Globalisasi telah menyebabkan mobilisasi manusia dan barang antar negara menjadi sangat mudah dan cepat. Dalam hal ini, batas-batas fisik seperti samudera luas dan gunung-gunung tinggi tidak lagi bisa menjadi penghalang bagi penyebaran organisme pengganggu tumbuhan yang dahulu penyebarannya dihalangi oleh batas-batas alam tersebut. Orang mungkin tidak membayangkan bahwa organisme pengganggu tumbuhan dapat menyebar menggunakan pesawat terbang, sebagaimana orang melakukan perjalanan bisnis maupun wisata, tetapi itu memang bisa terjadi. Kutu loncat lamtoro *Heteropsylla cubana* yang menghancurkan lamtoro di Indonesia pada 1985 menyebar dari Amerika Tengah ke Hawaii dan kemudian dari Hawaii ke Jakarta dan seterusnya melalui Denpasar sampai ke Kupang dengan menumpang pesawat terbang. Di pihak lain, pasar bebas yang mengharuskan pembebasan be masuk dan keluar bagi berbagai jenis barang justru dijadikan kesempatan oleh negara-negara maju untuk mengimpor produk pertanian dari negara-negara berkembang dengan memperketat persyaratan karantina dan keamanan pangan mereka. Akibatnya, produk pertanian dari negara-negara berkembang sulit masuk ke negara-negara maju dengan alasan berpotensi menyebarkan organisme pengganggu tumbuhan atau mengandung residu pestisida melampaui ambang yang ditetapkan.

Dan ke depan, perubahan iklim dunia karena pemanasan global akan menjadikan perlindungan tanaman menjadi semakin penting. Kawasan pegunungan mungkin tidak dapat dimasuki oleh organisme pengganggu tumbuhan tertentu karena kisaran suhu perkembangannya memerlukan suhu yang lebih tinggi. Dengan naiknya suhu global maka suhu kawasan pegunungan tersebut akan menjadi sesuai dengan kisaran suhu yang diperlukan untuk perkembangan berbagai jenis organisme pengganggu tumbuhan. Demikian juga dengan kawasan sub-tropika dan kawasan beriklim dingin yang tidak dapat dimasuki oleh organisme pengganggu tumbuhan dari kawasan tropik, menjadi dapat dimasuki. Untuk

menghindari kerugian karena serangan OPT, tanaman dilindungi dengan cara mengendalikan OPT tersebut. Menurut Djafarudin 1996, istilah usaha untuk mengendalikan OPT tidak harus semuanya diberantas sampai habis, dengan adanya beberapa dalam pengendalian populasi atau tingkat kerusakan yang disebabkan oleh OPT diberikan tekanan serendah mungkin sehingga secara ekonomis tidak menimbulkan kerugian. Semua upaya pengendalian OPT yakni melindungi tanaman dengan mempertimbangkan factor-faktor teknis, ekonomi, ekologi dan social, agar tanaman tumbuh dan berkembang secara sehat sehingga mampu memberikan hasil dan keuntungan yang optimal.

Dimasa lalu orang beranggapan bahwa perlindungan tanaman merupakan upaya pengendalian hama dan penyakit tanaman secara langsung namun, perlindungan tanaman telah berkembang sedemikian luas mencakup semua kegiatan secara langsung atau tidak langsung yang bertujuan untuk menciptakan pertanaman yang sehat. Upaya pengendalian hama, penyakit, dan gulma secara langsung hanyalah merupakan bagian dari keseluruhan perlindungan tanaman. Keseluruhan upaya yang mungkin untuk melindungi tanaman atau menciptakan tanaman yang sehat diantaranya sebagai berikut :

1. Aturan pemerintah, misalnya karantina tumbuhan, sertifikasi benih, registrasi pestisida, dan sebagainya.
2. Pemilihan jenis tanaman serta varietas tanaman yang cocok untuk daerah atau lokasi tertentu.
3. Pemilihan varietas yang tahan terhadap hama atau penyakit tertentu.
4. Pemilihan benih yang murni yaitu suatu keadaan dimana varietas tertentu tidak tercampur dengan varietas yang lain, sehat dan mampu berdaya tumbuh tinggi.
5. Teknik budidaya yang baik untuk menciptakan kondisi tanaman yang sehat misalnya, dengan pemilihan lokasi yang cocok, menghindari daerah berkumpulnya hama, penyakit, gulma dan rotasi tanaman.

Upaya pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) di upayakan dengan cara-cara sebagai berikut :

- a. Membunuh OPT secara langsung

Upaya membunuh organisme pengganggu tanaman dilakukan dengan cara sebagai berikut

- Pengendalian OPT secara fisik dan mekanik
- Penanaman tanaman perangkap dan setelah OPT terkumpul dibunuh
- Pengendalian dengan cara musuh alami diantaranya dengan predator

- Pengendalian secara kimiawi dengan produk-produk perlindungan tanaman (pestisida)

b. Menekan kehidupan dan perilaku OPT

Untuk menekan kehidupan dan perilaku OPT dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Sterilisasi OPT (misalnya serangga), baik dengan cara kimiawi
- Penggunaan zat pengatur tumbuh dan zat-zat penghambat pertumbuhan
- Menggunakan produk-produk pengusir hama atau pengumpul hama
- Menggunakan zat-zat kimia untuk mengacaukan gerakan serangga dan menghilangkan nafsu makan serangga
- Memutus siklus hidup OPT misalnya dengan rotasi tanaman dll.

c. Memodifikasi tanaman

Upaya memodifikasi tanaman dengan cara sebagai berikut:

- Menciptakan varietas tanaman yang tahan hama serta penyakit tertentu lewat pemuliaan tanaman atau rekayasa genetic
- Penggunaan zat pengatur tumbuhan tanaman
- Imunisasi tanaman terhadap hama atau penyakit tertentu (terutama virus)
- Menggunakan plant activator untuk memberikan daya tahan pada tanaman

d. Memodifikasi lingkungan

Upaya memodifikasi lingkungan dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

- Kultur teknik (pengolahan tanah, menaikkan pH tanah, pemupukan, dll)
- Pertanian system hidroponik
- Menggunakan system tertutup (green house)

Dari uraian diatas tampak jelas bahwa pengendalian hama secara kimiawi hanyalah merupakan bagian dari keseluruhan cara-cara pengendalian hama, penyakit dan gulma dibidang pertanian. Meskipun demikian, pengendalian OPT secara kimiawi telah memegang peranan yang terlalu dominan sehingga kita sering lupa bahwa ada banyak cara lain untuk mengendalikan OPT selain menyemprotkan pestisida. Disamping terlalu dominan, penggunaan pestisida juga sering dilakukan secara tidak benar. Kita masih sering melihat petani mencampur sekian banyak pestisida tanpa alasan yang kuat, penggunaan larutan

semprot yang berlebihan, penggunaan nozzle yang asal saja, dan sebagainya. Kita juga sering melihat petani menyemprotkan pestisida tanpa memakai alat pelindung tubuh yang memadai.

Pestisida adalah racun. Karena bersifat racun itulah, maka pestisida dibuat, dijual, dan dipakai untuk meracuni organisme pengganggu tanaman OPT. setiap penggunaan racun mengandung resiko (bahaya). Resiko tersebut tidak dapat dihindarkan karena terbawa oleh pestisida itu sendiri, walaupun pestisida mengandung resiko kita sebagai petani diharapkan dapat mengelola resiko tersebut, sehingga tidak membahayakan penggunanya, konsumen, dan sekitar lingkungan.

II. PENYAKIT TUMBUHAN

Ilmu penyakit tumbuhan (fitopatologi) mempelajari tentang:

1. Makhluk hidup dan keadaan lingkungan yang menyebabkan penyakit pada tumbuhan.
2. Bagaimana mekanisme faktor-faktor tersebut menyebabkan penyakit tumbuhan.
3. Interaksi antara agensia penyebab penyakit dengan tumbuhan sakit.
4. Metode untuk mencegah atau mengendalikan penyakit serta mengurangi kerusakan yang ditimbulkan.

Tumbuhan dikatakan sehat atau normal, apabila tumbuhan tersebut dapat melaksanakan fungsi-fungsi fisiologisnya sesuai dengan potensial genetik terbaik yang dimilikinya. Beberapa fungsi tersebut meliputi pembelahan, diferensiasi dan perkembangan sel yang normal: penyerapan air dan mineral dari tanah dan mentranslokasikannya ke seluruh bagian tumbuhan, fotosintesis dan translokasi hasil-hasil fotosintesis ke tempat-tempat penggunaan dan penyimpanannya, metabolisme senyawa-senyawa yang disintesis, reproduksi, dan penyimpanan persediaan makanan untuk reproduksi dan kebutuhan setelah berakhirnya musim kemarau atau dingin.

Penyakit adalah terjadinya perubahan fungsi-fungsi sel dan jaringan inang sebagai akibat gangguan yang terus-menerus oleh agensia-agensia patogen atau faktor lingkungan dan menyebabkan berkembangnya gejala. Penyakit adalah kondisi yang menyebabkan perubahan abnormal dalam segi bentuk, fisiologis, keutuhan, atau tingkah laku tumbuhan. Perubahan-perubahan yang demikian mungkin menghasilkan kerusakan sebagian atau kematian tumbuhan atau bagian-bagian tertentu.

Patogen dapat menyebabkan penyakit pada tumbuhan dengan:

1. Melemahkan dengan cara menyerap makanan secara terus-menerus dari sel-sel inang untuk kebutuhannya.

2. Memberhentikan sistem prosesnya atau mengganggu metabolisme sel inang dengan toksin, enzim, atau zat pengatur tumbuh yang disekresikannya.
3. Memperlambat proses transportasi makanan, hara mineral dan air melalui jaringan pengangkut.
4. Mengonsumsi kandungan sel inang setelah terjadi kontak.

Penyakit yang timbul disebabkan karena beberapa hal dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan meliputi hasil kondisi ekstrim yang mendukung pertumbuhan (suhu, kelembaban, cahaya dan lain-lain dan kelebihan atau kekurangan zat kimia yang diserap atau dibutuhkan tumbuhan.

Klasifikasi Penyakit Tumbuhan dari puluhan ribu penyakit yang ada pada tumbuhan dan mengganggu tumbuhan lain yang telah dibudidayakan. Rata-rata, setiap tanaman budidaya dapat diganggu oleh seratus penyakit tumbuhan atau bahkan lebih. Semua tiap-tiap jenis patogen mengganggu mulai dari satu varitas sampai beberapa atau bahkan ratusan species tumbuhan. Untuk memudahkan pengkajian dalam memahami penyakit tumbuhan, tentu saja penyakit tumbuhan tersebut harus dikelompokkan ke dalam beberapa pola-pola yang teratur. Hal ini juga penting karena untuk mengidentifikasi dan selanjutnya untuk mengendalikan penyakit tumbuhan. Salah satu dari beberapa kriteria yang mungkin digunakan untuk mengelompokkan penyakit tumbuhan yang ada. Terkadang suatu penyakit tumbuhan dikelompokkan berdasarkan gejala yang timbul seperti busuk akar, kanker, layu, bercak daun, kudis, hawar atau blight, antraknosa, karat, gosong, mosaik dan menguning. Berdasarkan organ tumbuhan yang dipengaruhi dapat berupa penyakit akar, penyakit batang, penyakit daun, dan penyakit buah. Menurut jenis tumbuhan yang dipengaruhinya (penyakit tanaman lapangan (*field crop*), penyakit tanaman sayuran, penyakit tanaman buah-buahan, penyakit hutan, penyakit tanaman padang rumput, penyakit tanaman hias). Namun, kriterium yang sangat membantu dalam mengelompokkan penyakit tumbuhan adalah berdasarkan jenis patogen penyebab penyakit, kemungkinan perkembangannya dan penyebaran penyakitnya dan juga tindakan pengendaliannya. Penyakit tumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Penyakit tumbuhan yang bersifat infeksi, atau biotik (parasit)
 - a. Penyakit yang disebabkan oleh jamur.
 - b. Penyakit yang disebabkan oleh prokariota (bakteri dan mikoplasma).
 - c. Penyakit yang disebabkan oleh tumbuhan tingkat tinggi parasit.
 - d. Penyakit yang disebabkan oleh virus dan viroid.

- e. Penyakit yang disebabkan oleh nematode.
- f. Penyakit yang disebabkan oleh protozoa.

2. Penyakit tumbuhan yang bersifat non-infeksi, atau abiotik (fisiopath), adalah penyakit yang disebabkan oleh:

- a. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah.
- b. Kekurangan atau kelebihan kelembapan tanah.
- c. Kekurangan atau kelebihan cahaya.
- d. Kekurangan oksigen.
- e. Polusi udara.
- f. Defisiensi hara.
- g. Keracunan hara.
- h. Kemasaman atau salinitas.
- i. Toksisitas pestisida.
- j. Kultur teknis yang salah

III. PENTINGNYA PENYAKIT TANAMAN

Suatu penyebab penyakit pada tumbuhan dibedakan menjadi dua golongan yaitu yang disebabkan oleh faktor abiotik dan faktor biotik. Penyakit abiotik adalah penyakit tanaman noninfeksius atau tidak dapat ditularkan antar tanaman satu dengan yang lain. Oleh sebab itu penyakit abiotik juga disebut sebagai penyakit noninfeksius. Mekanisme terjadinya penyakit pada tanaman sangat berbeda, tergantung dari penyebab penyakitnya dan kadang-kadang tergantung pula pada tumbuhan inangnya.

Reaksi pertama tanaman terhadap penyebab penyakit terjadi pada tempat penyerangan patogen dan reaksi itu bersifat kemis dan tidak terlihat. Setelah itu reaksinya segera meluas dan terjadi perubahan-perubahan histologis didalam tanaman sehingga hasil reaksi tersebut dapat terlihat secara makroskopis (dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa alat bantu). Sel-sel dan jaringan tanaman yang diserang patogen akan menyebabkan sel-sel dan jaringan tersebut mengalami kerusakan atau lemah, sehingga tanaman tidak dapat melaksanakan seluruh fungsi-fungsi fisiologisnya secara normal dan pertumbuhan tanaman terganggu (Sinaga, 2006). Penyakit tumbuhan berdasarkan gejala dibedakan menjadi tiga macam yaitu, nekrosis, hipoplasia dan hiperplasia.

Penyakit yang disebabkan oleh serangga dari parasit atau virus biasanya dibagi dalam tiga kelompok yaitu penyakit spordemi, epidemi dan sporadis. Penyebab penyakit yang bersifat parasit yaitu jamur, bakteri, virus, dan nematoda. Sedangkan penyebab penyakit yang bersifat bukan parasit termasuk defisiensi unsur hara atau kekurangan unsur hara, keracunan zat mineral, kelembaban, temperatur atau suhu, sinar yang tidak sesuai, dan pH suatu tanah (Sastrahidayat, 1996).

Jamur adalah makhluk hidup kecil atau pada umumnya mikroskopis, eukariotik, berbentuk filamen atau benang, memiliki cabang, menghasilkan spora, dan tidak mempunyai klorofil serta memiliki dinding sel yang berasal dari kitin. Delapan ribu jenis spesies jamur dapat menyebabkan penyakit pada tumbuhan. Ada beberapa macam jamur yang dapat tumbuh dan memperbanyak dirinya sendiri apabila memiliki inang sebagai media tumbuh. Jamur yang demikian tersebut dikatakan sebagai parasit obligat. Namun ada pula jamur tersebut membutuhkan suatu inang sebagai daur hidupnya namun mampu menyelesaikan daur hidupnya pada bahan organik yang telah mati ataupun pada tumbuhan yang masih hidup atau biasa disebut jamur parasit non obligat (Agrios, 1996).

Gejala yang diakibatkan oleh bakteri yaitu timbulnya gejala penyakit disebabkan karena adanya interaksi antara tanaman inang dan patogen. Masuknya gejala penyakit dapat berdasarkan tanda penyakit, perubahan bentuk suatu tanaman, pertumbuhan suatu tanaman dan sebagainya. Parasit yang menyebabkan penyakit pada tanaman umumnya membentuk bagian vegetatifnya di dalam jaringan tanaman sehingga tidak tampak dari luar. Meskipun demikian, parasit dapat membentuk bagian reproduktifnya pada permukaan tanaman yang diserangnya atau hanya sebagian tampak pada permukaan tersebut. Selain itu sering terjadi pembentukan propagula dalam bentuk istirahat pada permukaan tanaman (Filzaharani, 2008).

IV. ILMU PATOLOGI TANAMAN

Studi tentang penyakit tanaman dikenal sebagai patologi tanaman. Penyakit menular disebabkan oleh organisme hidup yang disebut patogen. Penyakit tidak menular yang disebabkan oleh tekanan lingkungan dan kerusakan oleh cuaca dan faktor lingkungan lainnya juga akan ditanggung.

Ada berbagai macam mikroorganisme seperti jamur, bakteri, virus dan nematoda yang menyebabkan penyakit ini. Penyakit yang disebabkan oleh patogen ini sering disebut penyakit biotik. Juga, kondisi lingkungan, seperti kerusakan musim dingin atau kekeringan,

dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Penyakit yang disebabkan oleh faktor-faktor ini sering disebut penyakit abiotik.

Ahli patologi tanaman bertanggung jawab untuk mempelajari penyakit tanaman, dan studi mereka mencakup berbagai aspek penyakit tanaman, seperti organisme dan kondisi lingkungan yang menyebabkan penyakit pada tanaman, mekanisme di mana faktor-faktor ini menyebabkan penyakit, interaksi antara agen penyebab ini dan tanaman, dan metode untuk mengelola atau mengendalikan penyakit tanaman.

Ilmu patologi tanaman erat kaitannya dengan ilmu-ilmu lain seperti botani, mikologi, mikrobiologi, genetika, kimia, hortikultura, agronomi, dan ilmu tanah. Ahli patologi tumbuhan mengintegrasikan dan menggunakan informasi dari banyak ilmu ini untuk mengembangkan wawasan tentang pengembangan penyakit dan pengendalian penyakit.

Secara tidak langsung, faktor lingkungan yang menyebabkan tanaman menjadi stres dapat mengakibatkan penurunan bertahap tanaman. Penurunan menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap organisme penyakit. Karena itu, mendiagnosis penyakit tanaman bisa sulit. Penyebab sebenarnya dari suatu masalah mungkin adalah faktor stres, dengan penyakit ini hanya menjadi faktor sekunder.

Kemudian, faktor ini saling keterkaitan dengan segi tiga penyakit atau kondisi kritis harus ada agar penyakit dapat muncul: Rentan tanaman inang, patogen, dan campuran yang tepat dari kondisi lingkungan. Hubungan faktor-faktor ini disebut segitiga penyakit. Jika hanya sebagian dari segitiga itu ada, penyakit tidak akan terjadi. Memahami segitiga penyakit membantu kita memahami mengapa sebagian besar tanaman tidak terpengaruh oleh ribuan penyakit yang ada.

Tanaman yang terserang penyakit dapat dikenali dengan melihat gejalanya. Memperhatikan gejala yang terjadi pada tanaman secara teliti, tanda-tanda umum dan spesifik dari gejala, memberitahu kita mengenai penyakit apa yang menyerang pada tanaman kita. Gejala yang terjadi dapat dijumpai pada bagian daun, akar, batang ataupun buah tanaman. Dengan penyakit pada tanaman maka akan dapat diupayakan pengendalian yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat kerusakan pada tanaman sehingga dapat meningkatkan produksi. Suatu tanaman dapat mengalami perubahan yang sangat jelas ketika hal ini terjadi, contohnya seperti daun yang mulai layu, daun yang menguning, pertumbuhan yang tidak maksimal, kerdil, kualitas pada buah yang menurun, atau akar mudah rebah yang disebabkan oleh virus atau bakteri. Hal yang pasti terjadi jika penyakit serius ini tidak segera di tangani akan berdampak buruk bahkan tanaman akan mati dengan serempak dan tidak wajar.

Semakin beragamnya jenis tanaman, maka semakin beragam pula jenis penyakit tanaman yang sangat mengganggu.

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

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

Tumbuhan, seperti hewan dan manusia, juga bisa menjadi sakit. Faktanya, jumlah penyakit tanaman jauh lebih banyak daripada penyakit manusia atau hewan hanya karena ada lebih banyak spesies tanaman yang terlibat dalam pertanian, hortikultura, dan kehutanan daripada dalam kedokteran atau kedokteran hewan.

Studi tentang penyakit tanaman penting karena menyebabkan hilangnya hasil. Berbagai jenis kerugian terjadi di lapangan, dalam penyimpanan atau waktu antara menabur dan konsumsi produk. Penyakit-penyakit tersebut bertanggung jawab atas kerugian langsung dan kerugian materi. Lebih lanjut, penyakit ini berbahaya bagi masyarakat karena menyebabkan gangguan perut, kelumpuhan, dan penyakit hati.

Oleh karena itu, penyakit tersebut harus dicegah dan dikendalikan untuk menghindari hilangnya makanan yang berharga. Patogen menginfeksi tanah dan menyebabkan devaluasi tanah juga. Penyebab penyakit Patogen selalu dikaitkan dengan penyakit. Ketika pabrik menderita fungsi dan perkembangannya terganggu, kami menyebutnya sebagai tanaman yang

sakit. Patogen itu mungkin juga bukan makhluk hidup. Dengan demikian penyebab penyakit dikelompokkan sebagai berikut:

(a) Faktor Abiotik adalah hasil dari kekurangan atau kelebihan nutrisi, cahaya, kelembaban, aerasi, kondisi tanah yang merugikan atau kondisi atmosfer dll. Ini umumnya disebut sebagai gangguan.

(b) Faktor Mesobiotik yaitu agen penyebab bukanlah makhluk hidup atau makhluk tidak hidup. Penyakit yang disebabkan oleh viroid dan virus termasuk dalam kategori ini.

(c) Faktor Biotik termasuk kategori ini mencakup penyakit yang disebabkan oleh organisasi seluler atau hidup. Terbagi :

1) Eukariota: - Jamur, Protozoa, Alga, Nematoda, Parasit.

2) Prokariota: Mycoplasma, Rickettsia, Bacteria

Klasifikasi penyakit tanaman:

1) Penyakit endemik: - Endemik berarti lazim di dan terbatas pada wilayah tertentu. Penyakit-penyakit ini kurang lebih terus-menerus hadir di daerah tertentu.

2) Penyakit epidemi: - Penyakit ini muncul secara kebetulan dan kadang-kadang di tempat tertentu. Kata epifitotik digunakan terutama untuk penyakit tanaman, bukan epidemi.

3) Penyakit sporadis: Ini terjadi pada interval dan lokasi yang sangat tidak teratur.

Cara penyebaran penyakit:

1) Penyakit yang ditularkan melalui tanah: - Inokulum penyakit yang menyebabkan patogen tetap ada di tanah dan menembus tanaman yang mengakibatkan kondisi berpenyakit mis. Root membusuk, layu.

2) Penyakit yang ditularkan melalui benih: - Mikro organisme dibawa bersama dengan biji dan menyebabkan penyakit ketika kondisi yang cocok terjadi. Misalnya. Redam.

3) Penyakit yang ditularkan melalui udara: - Mikro-organisme tersebar melalui udara dan menyerang tanaman yang menyebabkan penyakit. Misalnya. Penyakit busuk, karat, embun tepung.

4) Penyakit disebarkan oleh serangga: Penyakit virus disebarkan oleh serangga. Inseta yang membawa virus dikenal sebagai vektor.

V. TERMINOLOGI

Penyakit atau gangguan: istilah ini sama artinya. Kerusakan tubuh tumbuhan dikenal sebagai penyakit atau gangguan. Istilah penyakit mencakup semua jenis perubahan fisiologis yang berbahaya pada tanaman sementara perubahan non-infeksi karena faktor abiotik disebut sebagai kelainan.

Patogen merupakan agen yang bertanggung jawab atas tubuh tumbuhan yang menderita. Sedangkan parasit adalah organisme yang memperoleh bahan makanan dari tanaman inang. Infeksi merupakan pembentukan hubungan parasit antara patogen dan inang setelah masuk atau penetrasi. Gejala adalah setiap bukti penyakit atau kelainan yang ditunjukkan oleh tanaman disebut gejala. Sedangkan sindrom adalah seperangkat gejala yang menandai suatu penyakit secara kolektif disebut sebagai sindrom. Jamur mengalami proses eukariotik, klorofil kurang berinti, uniseluler atau multiseluler filamen mikro-organisme. Virus adalah mikroskopis, agen infeksi sederhana yang hanya dapat berkembang biak di sel hewan, tumbuhan, atau bakteri. Bakteri merupakan kelompok organisme mikroskopis bersel tunggal yang menghuni hampir semua lingkungan, termasuk tanah, air, bahan organik, dan tubuh hewan multiseluler. Viroid adalah partikel menular yang lebih kecil dari virus.

Tumbuh-tumbuhan merupakan bahan yang mutlak diperlukan oleh hampir semua makhluk hidup, termasuk manusia karena tumbuh-tumbuhan merupakan penghasil makanan nabati yang universal. Ilmu yang khusus mempelajari semua aspek tumbuh-tumbuhan disebut botani, yang mempunyai cabang berbagai bidang ilmu yang berkaitan satu sama lain, antara lain morfologi, anatomi, taksonomi, fisiologi, dan ekologi tumbuhan. Dalam mempelajari struktur tumbuhan tidak terlepas dengan pengetahuan tentang peristilahan (terminologi) yang digunakan untuk menyebutkan atau menunjuk sifat dan ciri bagian tubuh tumbuhan.

Tubuh tumbuhan terdiri dari organ vegetatif meliputi, daun, batang, dan akar yang merupakan organ pokok tubuh tumbuhan, serta organ reproduktifyaitu organ yang berfungsi untuk perbanyakkan tumbuhan, pada tumbuhan berbiji meliputi bunga, buah,dan biji.

A. DAUN (FOLIUM)

Daun merupakan organ tumbuhan yang melekat pada batang. Daun dibentuk sebagai bakal daun (primordia) pada satu sisi meristem apeks pada pucuk batang. Daun-daun itu sebagian besar berwarna hijau karena mengandung klorofil. Bentuk daun biasanya pipih, melebar, berwarna hijau, terdapat pada bagian buku-buku batang dan

selalu menghadap ke atas agar dapat menangkap sinar matahari sebanyak-banyaknya. Keadaan daun yang sedemikian itu sesuai dengan fungsi daun, yaitu untuk:

1. Asimilasi : pengolahan zat-zat makanan.
2. Resorpsi : penyerapan zat-zat makanan (CO₂).
3. Respirasi : pernapasan.
4. Transpirasi : penguapan air.

Adanya daun membagi sumbu batang menjadi buku (nodus) dan ruas (internodus). Daun umumnya melekat atau duduk pada nodus, di atas daun yang merupakan sudut antara batang dan daun disebut ketiak daun (axilla). Berdasarkan jumlah helai daun pada satu tangkai daun, dibedakan :

1. Daun tunggal (folium simplex), pada tangkai hanya terdapat satu daun saja.
Contoh: daun mangga (*Mangifera indica* L.).
2. Daun majemuk (folium compositum), pada tangkai terdapat beberapa helai daun.
Contoh: daun asam (*Tamarindus indica* L.)

Struktur Tumbuhan untuk lebih jelasnya,

1. Daun Tunggal (Folium Simplex)

Daun tunggal adalah daun yang pada tangkai daunnya hanya terdapat satu daun saja. Daun yang lengkap mempunyai bagian-bagian berikut:

- a. Upih daun atau pelepah (vagina).
- b. Tangkai daun (petiolus).
- c. Helai daun (lamina).

Daun tunggal lengkap dapat terdapat pada daun keladi/talas (*Colocasia esculenta* Urb). Tumbuhan yang mempunyai daun lengkap tidak banyak jenisnya. Jika tumbuh-tumbuhan mempunyai satu atau dua bagian dari tiga bagian daun tersebut dinamakan daun tidak lengkap. Susunan daun tidak lengkap mempunyai beberapa kemungkinan:

- a. Hanya terdiri dari tangkai dan helai daun saja, disebut daun bertangkai. Contoh: daun waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) dan daun nangka (*Artocarpus integrifolia* Merr.) Sumber: Sukarsa, dkk.(2009).
- b. Hanya terdiri dari upih dan helai saja, disebut daun berpelepah/berupih. Contoh: daun padi (*Oryza sativa* L.) dan daun jagung (*Zea mays* L.)

- c. Hanya terdiri dari helaian saja, disebut daun duduk (sessilis). Contoh: daun biduri (*Calotropis gigantea* R.Br.).

2. Bentuk Daun (CircumScriptio)

Bentuk helaian daun sangat menentukan bentuk daun, sedangkan tangkai dan upih daun tidak ikut menentukan bentuk daun. Bentuk helaian daun dibedakan menjadi 4 pola pokok, yaitu:

- a. Bagian yang terlebar terdapat kira-kira di tengah-tengah helaian daun Bulat/bundar (orbicularis) jika panjang : lebar = 1 : 1.
Contoh: daun teratai (*Nelumbium nelumbo* Druce)
- b. Perisai (peltatus), daun yang mempunyai tangkai daun yang tertanam pada bagian tengah helaian daun.
Contoh: daun talas/keladi (*Colocasia esculenta* Urb.).
- c. Jorong (ovalis/ellipticus) jika panjang : lebar = (1,5-2) : 1.
Contoh: daun nangka (*Artocarpus integra* L.).
- d. Memanjang (oblongus) yaitu jika panjang : lebar = (2,5-3) : 1.
Contoh: daun pisang (*Musa paradisiaca* L.), Lanset (lanceolatus) yaitu apabila panjang : lebar = (3-5) : 1. Contoh: daun oleander (*Nerium oleander*).

3. Ujung Daun (Apex Folii)

Macam-macam bentuk ujung daun berbentuk,

- a. Runcing (acutus), bentuk ujung daun bersudut runcing dengan dua sisi yang lurus, bersudut lancip. Contoh: daun oleander (*Nerium oleander* L.).
- b. Meruncing (acuminatus), bentuk ujung bersudut runcing, tetapi dua sisinya membelok, bersudut lancip. Contoh: daun sirsak (*Annona muricata* L.).
- c. Tumpul (obtusus), bentuk ujung bersudut tumpul lebih dari 90 derajat. Contoh : daun sawo kecik (*Manilkara kauki* Dub.).
- d. Membulat (rotundatus), bentuk ujung tak bersudut dan membulat, pada daun bulat atau jorong. Contoh: daun kaki kuda (*Centella asiatica* Urb.) dan daun teratai (*Nelumbium nelumbo* Druce.).
- e. Rompang (truncatus), bentuk ujung rata, pada daun segi tiga terbalik. Contoh: daun semanggi (*Marsilea crenata* Presl.)

- f. Terbelah (retusus), bentuk ujung daun memperlihatkan suatu lekukan, yang kadang-kadang jelas atau tidak jelas. Contoh: daun sidaguri (*Sida retusa*L.) dan daun bayam(*Amaranthus hybridus*L.).
- g. Berduri (mucronatus), ujung daun runcing dan berakhir dengan alat berupa duri keras. Contoh: daun nenas sebrang (*Agave sisalana* Perr.).

4. Pangkal Daun (BasisFolii)

Pangkal daun sama, seperti ujung daun, mempunyai bentuk yang bermacam-macam. Kedua tepi daun di kiri dan kanan pangkal daun adakalanya bertemu atau terpisah oleh pangkal ibu tulang daunnya.

- a. Tepi daun yang bertemu:
 - 1. Bentuk tameng (peltatus), tangkai daun bertumpu di bagian helaian daun, biasanya pada helaian berbentuk membulat sehingga seperti perisaiContoh:daun talas (*Colocasia esculenta*Urb.).
 - 2. Daun tertembus batang (perfoliatus), helaian daun tertembus oleh batang, dapat di tengah atau agak di pinggir. Contoh: daun teratai (*Nelumbium nelumbo*Druce),
- b. Tepi daun terpisah oleh pangkal ibu tulang daun:
 - 1. Runcing (acutus), pada pangkal daun membentuk sudut runcing. Terdapat pada helaian daun bentuk lansetdanbelah ketupat.
 - 2. Meruncing (acuminatus), seperti meruncing pada ujung daun. Terdapat pada daun bangun bulat telur terbalik dan bangun solet.

5. Tulang Daun (Nervatio/Venatio)

Tulang-tulang daun merupakan bagian daun yang berfungsi untuk:

- a. Memberi kekuatan pada daun dan disebut rangka daun(skeleton)
- b. Merupakan berkas-berkas pembuluh yang berguna sebagai jalan untuk mengangkut zat-zat yang diambil tumbuhan dari tanah (air dan garam-garam) dan mengangkut hasil-hasil asimilasi dari daun ke bagian-bagian lain yang memerlukannya.

B. BATANG (CAULIS)

Batang adalah bagian dari tumbuhan yang amat penting. Batang dapat dianggap pula sebagai sumbu tubuh tumbuhan. Sifat-sifat batang adalah sebagai berikut:

1. Berbentuk silinder (panjang bulat) atau berbentuk lain dan bersifat aktinomorf(dengan beberapa bidang dapat dibagi menjadi dua bagian yang setangkup).
2. Mempunyai ruas-ruas yang masing-masing dibatasi oleh buku-buku. Pada buku-buku inilah terdapat daun-daunnya.
3. Tumbuhnya menuju matahari atau cahaya. Jadi, bersifat heliotrop atau fototrop.
4. Selalu bertambah panjang pada bagian ujungnya sehingga mempunyai pertumbuhan yang tidak terbatas.
5. Mengadakan percabangan, yang tidak pernah digugurkan kecuali kadang-kadang cabang yang kecil atau ranting.
6. Warnanya tidak hijau, kecuali tumbuhan yang berumur pendek atau pada waktu batang masih muda.

C.AKAR (RADIX)

Akar adalah bagian pokok ke-tiga pada tumbuhan, selain daun dan batang. Akar mempunyai sifat-sifat seperti berikut:

1. Merupakan bagian dari suatu tumbuhan yang pada umumnya terdapat di dalam tanah dengan arah tumbuh ke pusat bumi atau geotrop. Dapat pula menuju ke air yang disebut hidrotrop, dan meninggalkan udara serta cahaya.
2. Tidak mempunyai ruas-ruas dan buku-buku.
3. Berwarna kekuning-kuningan atau keputih-putihan
4. .Bagian ujungnya tumbuh terus.
5. Bentuknya meruncing untuk memudahkan menembus tanah.

Bagian-bagian akar, terdiri dari berikut ini:

1. Pangkal akar atau leher akar (collum), yaitu sambungan pangkal batang dengan bagian akar.
2. Ujung akar (apex radices), yaitu bagian termuda dari akar, dan terdiri dari jaringan-jaringan yang masih dapat mengadakan pertumbuhan.
3. Batang akar (corpus radices), yaitu bagian akar, di antara leher akar dengan ujung akar.
4. Cabang-cabang akar (radix lateralis), yaitu bagian-bagian akar yang keluar dari akar pokok dan masing-masing dapat bercabang lagi.

5. Serabut akar (*fibrilla radicalis*), yaitu cabang-cabang akar yang halus dan bentuknya serabut.
6. Bulu-bulu akar atau rambut-rambut akar (*pilus radicalis*), yaitu bagian akar yang merupakan penonjolan sel-sel kulit luar akar yang panjang. Bentuknya seperti bulu atau rambut. Rambut akar ini dapat berfungsi untuk memperluas bidang penyerapan sehingga lebih banyak air dan zat-zat makanan yang dapat dihisap.
7. Tudung akar (*calyptra*), yaitu bagian akar paling ujung dan terdiri dari jaringan yang bermanfaat melindungi ujung akar yang masih muda serta lemah.

E. BUNGA (FLOS)

Pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa organ vegetatif pada tumbuhan, yaitu daun, batang, dan akar. Setiap bagian lainnya hanya penjelmaan (modifikasi) dari ketiga bagian organ vegetatif tersebut. Dengan demikian, bunga (flos) adalah suatu bagian tumbuhan yang merupakan suatu modifikasi dari salah satu atau kombinasi dari ketiga organ vegetatif tersebut. Pada bunga terdapat bagian-bagian yang setelah terjadi penyerbukan dan pembuahan akan menghasilkan buah yang di dalamnya mengandung biji.

Biji akan tumbuh menjadi tumbuhan baru sehingga dapat dikatakan bahwa bunga merupakan suatu bagian tumbuhan yang amat penting. Apabila Anda perhatikan susunan bunga dengan baik maka dapat diketahui bahwa bunga merupakan modifikasi suatu tunas (batang dan daun) yang bentuk, warna dan susunannya disesuaikan dengan fungsi tumbuhan (untuk penyerbukan, pembuahan, dan menghasilkan alat-alat perkembangbiakan).

Tunas yang mengalami perubahan bentuk menjadi bunga, batangnya biasanya akan berhenti tumbuh dan akan terbentuk tangkai, serta dasar bunga. Daun-daunnya tetap bersifat seperti daun, hanya bentuk dan warnanya yang berubah dan umumnya mengalami modifikasi menjadi bagian-bagian yang berfungsi dalam berbagai proses yang akhirnya akan menghasilkan calon individu baru. Selanjutnya dengan terhentinya pertumbuhan batang, maka ruas-ruas batang menjadi pendek sehingga bagian bunga yang merupakan modifikasi daun, susunannya menjadi sangat rapat satu sama lain dan tampak seolah-olah tersusun dalam lingkaran-lingkaran. Berdasarkan letak dan susunan bagian-bagian bunga, maka bunga dapat dibedakan seperti berikut:

1. Bagian-bagian yang tersusun menurut garis spiral (*acyclis*). Contoh: bunga cempaka (*Michelia champaka* L.).

2. Bagian-bagian yang tersusun menurut lingkaran (cyclis). Contoh: bunga terong (*Solanum melongena* L.).

3. Bagian-bagian yang tersusun sebagian duduk dalam lingkaran dan sebagian lainnya terpenjar atau menurut garis spiral (hemicyclis). Contoh: bunga sirsak (*Annona muricata* L.).

DAFTAR PUSTAKA

- Abercrombie, M.; M. Hickman; M.J. Johnson and M. Thain. 1993. *Kamus Lengkap Biologi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Agrios, G.N. 1996. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Arnett, R.H. and G.F. Bazinet. 1977. *Plant Biology, A Concise Introduction*. Saint Louis: The C.V. Mosby Company.
- Eames, A.J. and L.M. Daniels. 1977. *An Introduction to Plant Anatomy*. New Delhi: Tata Mc. Graw Hill Publishing Company Ltd. Bombay.
- Estiti, B.H. 1994. *Dasar-dasar Struktur dan Perkembangan Tumbuhan. 2. Morfologi Tumbuhan*. Bandung: F-MIPA. ITB.
- Filzaharani, 2008. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Foster, A.S. and E.M. Gifford. 1974. *Comparative Morphology of Vascular Plants*. San Francisco and London: W.S. Freeman and Co.
- Harold, C.B.; C.J. Alexopoulos; T. Delevoryas. 1980. *Morphology of Plant & Fungi. Fourth Edition*. New York: Harper & Row Publishers.
- Langenheim, J.H.; K.V. Thimann. 1982. *Botany*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Nugroho, L.H.; Purnomodan I. Sumardi. 2006. *Struktur dan Perkembangan Tumbuhan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Robbins, W.H. 1976. *Botany*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sastrahidayat, I.R. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Sinaga MS. 2006. *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Ed ke-2. Jakarta (ID): Penebar Swadaya
- Sopialena. 2017. *Segitiga Penyakit Tanaman*. Mulawarman University Press. Samarinda.
- Sukarsa; Pudji W. dan W. Herawati. 2009. *Petunjuk Praktikum Struktur dan Perkembangan Tumbuhan I*. Purwokerto: Fakultas Biologi Unsoed.

- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology, Fifth Edition*. Academic Press.
- Sumardi, I. dan A. Pudjoarinto. 1992. *Struktur dan Perkembangan Tumbuhan*. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- Tjitrosoepomo, G. 2003. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Winarno, B. 1994. *Kamus Istilah Latin Indonesia*. Malang: Yayasan Pembina Fakultas Pertanian Unibraw.

MASALAH, TANTANGAN DAN MASA DEPAN PENGELOLAAN PENYAKIT TANAMAN: DARI SUDUT PANDANG EKOLOGIS

Pengenalan

Manajemen penyakit tanaman dalam menghadapi tantangan yang terus meningkat dikarenakan yaitu :

1. Meningkatnya permintaan makanan total, aman, dan beragam untuk mendukung populasi global yang sedang naik dan standar kehidupannya yang meningkat
2. Mengurangi potensi produksi di bidang pertanian karena persaingan untuk lahan di daerah subur dan habisnya lahan subur marginal
3. Memburuknya ekologi agroekosistem dan menipisnya sumber daya alam
4. Terjadinya peningkatan risiko epidemi penyakit akibat intensifikasi pertanian dan monokultur.

Manajemen penyakit tanaman di masa yang akan datang harus bertujuan memperkuat ketahanan pangan untuk masyarakat yang tetap dan konsisten dengan bersama menjaga kesehatan ekosistem terkait dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam. Untuk mencapai berbagai fungsi ini, manajemen penyakit tanaman yang berkelanjutan harus memberi penekanan pada adaptasi rasional dari resistensi atau ketahanan, penghindaran, eliminasi dan strategi remediasi secara individu dan kolektif, dipandu oleh ciri-ciri asosiasi host-patogen spesifik yang menggunakan prinsip ekologi evolusioner dengan tujuan untuk menciptakan lingkungan (biotik dan abiotik) kondisi yang baik dan menguntungkan yang bertujuan untuk pertumbuhan dan perkembangan inang sementara merugikan reproduksi dan evolusi patogen tersebut

Penyakit tanaman telah menjadi faktor utama dalam mempengaruhi produksi pangan dan pengembangan masyarakat manusia selama ribuan tahun hingga saat ini. Sepanjang era agribudaya awal, terjadinya epidemi penyakit tanaman dipandang sebagai hukuman dari para dewa dan penyakit tanaman terbuka. Mengingat pada waktu itu, hasil panen yang umumnya rendah dan kurangnya cadangan makanan yang signifikan secara umum, jadi pada saat epidemi penyakit terjadi, kekurangan makanan dapat dengan mudah berkembang pesat yang mengakibatkan efek bencana pada masyarakat contohnya yaitu seperti Kelaparan Irlandia yang disebabkan oleh busuk daun kentang pada tahun 1840-an dan kelaparan Bengal 1943 yang disebabkan oleh bercak coklat (Bourke 1964; Padmanabhan 1973; Strange dan Scott 2005).

Terlepas dari kontribusi kemajuan ilmiah dan teknologi terhadap pengurangan signifikan dalam frekuensi dan intensitas epidemi belakangan ini, maka bisa dikatakan bahwa 20–30% dari produksi aktual masih hilang karena penyakit tanaman per tahun. Kerugian ini menjadikan pengetahuan yang tidak lengkap terkait dengan penyebab dan mekanisme di balik perkembangan epidemi tersebut, situasi yang secara mengejutkan mencerminkan terjadinya kurang pendekatan yang memadai bahkan untuk mengelolanya secara efisien dan baik, apalagi menghilangkannya. Selain itu, banyak strategi manajemen penyakit tanaman bersama dengan banyak praktik agronomi yang dipakai dalam pertanian modern juga telah menghasilkan masalah yang tidak diinginkan termasuk hilangnya keanekaragaman hayati dan sumber daya alam lainnya, kerusakan lingkungan, dan percepatan evolusi dalam patogen

. Dalam sejarah pertanian, manajemen penyakit tanaman telah mengalami empat fase utama, yaitu :

1. Fase Interval, terbatas dalam sistem pertanian kuno
2. Fase pendekatan penekanan penyakit mekanis dan temporal (nakal, membajak, rotasi)
3. Fase penekanan meluas resistensi gen utama dan pestisida sebelum dan sesudah Revolusi Hijau pertama
4. Fase manajemen hama terpadu dan manajemen ekologis yang menekankan efek sinergis pada ekonomi, masyarakat, dan lingkungan pertanian dan lingkungan.

Manajemen ekologis penyakit tanaman bukanlah pengembalian sederhana ke sistem pertanian zaman kuno atau pada saat itu. Sebaliknya, ini bertujuan untuk menggunakan prinsip-prinsip evolusi dan berpikir untuk memaksimalkan fungsi pengaturan alam untuk menciptakan lingkungan yang cocok dan baik untuk tuan rumah yang sehat agar memastikan hasil yang tinggi dan stabil melalui penggunaan sumber daya alam dan sosial yang efisien termasuk resistensi penyakit yang tinggi yang bertujuan menciptakan lingkungan yang merugikan. untuk infeksi, reproduksi, transmisi dan evolusi patogen. Selain itu, adapun dampak ekonomi dan sosial jangka pendek dan jangka panjang harus dievaluasi untuk setiap skema pengelolaan penyakit tanaman. Untuk mencapai tujuan pengelolaan penyakit tanaman berkelanjutan, maka diperlukan kolaborasi multidisiplin yang melibatkan ilmu alam dan biologi seperti ilmu tanaman, pemuliaan, agronomi, ilmu tanah, ilmu lingkungan, ekonomi dan ilmu sosial tersebut.

Adapun sifat epidemi penyakit tanaman dan situasi manajemen saat ini, dalam sistem alami tanaman inang dan patogen yang terus berubah dengan patogen mengembangkan patogenisitas baru untuk mengatasi sistem pertahanan inang dan tanaman yang berkembang untuk mengurangi serangan patogen. Interaksi coevolutionary ini terjadi dalam pengaturan ekologis yaitu di mana evolusi dan dampak patogen lemah karena kelesuan lingkungan, tetapi sementara evolusi host dibatasi oleh ukuran populasi kecil dan waktu generasi yang panjang. Adapun yang terjadi sebaliknya, dalam sistem pertanian modern, peningkatan persyaratan untuk produktivitas tinggi dan kualitas yang baik dari beberapa tanaman atau varietas tertentu yang memaksa pergeseran praktik pertanian ke budidaya skala besar dan luas, intensif dan khusus. Pada gilirannya, ini mengganggu dinamika co-evolutionary antara tanaman inang dan patogen itu.

Seperti yang diamati di dalam sistem alami, untuk meningkatkan frekuensi dan tingkat keparahan epidemi penyakit dan penyebaran penyakit baru. Sebagian besar karena kegagalan menempatkan hubungan antara praktik pertanian, epidemi penyakit dan pengembalian ekonomi dalam konteks ekologis dan evolusi, strategi manajemen penyakit tanaman yang diadopsi selama 50-100 tahun terakhir jarang mencerminkan perubahan-perubahan dalam risiko dan pola ini. terjadinya penyakit. Akibatnya, manajemen penyakit tanaman dapat dengan mudah jatuh dimana peningkatan upaya untuk mengendalikan penyakit tanaman sebenarnya mempromosikan masalah penyakit lebih lanjut bahkan dalam skala besar dan tidak efisien. Penyakit tanaman dihasilkan dari beberapa interaksi kompleks

antara faktor biotik dan abiotik termasuk inang, patogen dan lingkungan, yang harus ditambahkan vektor untuk beberapa penyakit dan aktivitas manusia yang memodifikasi sedikit tetapi tidak mengubah interaksi secara sengaja atau tidak sengaja melalui praktik pertanian seperti sistem penanaman, penyebaran gen resistensi dan aplikasi pestisida.

Dalam beberapa waktu terakhir, manajemen penyakit tanaman dan praktik pertanian lainnya telah menciptakan lingkungan ekologis yang menguntungkan dan efisien untuk infeksi, reproduksi, penularan, dan evolusi patogen seperti yang dijelaskan dalam bagian berikut. Ini meningkatkan dampak negatif penyakit tanaman pada ketahanan pangan untuk masyarakat

Lingkungan ekologis yang tidak baik hanya akan merugikan tanaman inang tetapi menguntungkan bagi patogen. Tanah yang sehat adalah kunci untuk pertanian berkelanjutan termasuk manajemen penyakit tanaman melalui dampaknya terhadap kepadatan gen, terutama penyakit yang ditularkan melalui tanah, struktur Komunitas mikroba resmi dan ketersediaan nutrisi organik dan anorganik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman

Pencemaran air dan udara yang dihasilkan dari emisi industri dan limbah pertanian, dan penggunaan bahan kimia yang berlebihan untuk merawat tanaman dan hama dan gulma usia manusia telah menghasilkan banyak perubahan yang hampir tidak dapat diubah bahkan berdampak sangat tidak baik, mengurangi kualitas lahan pertanian melalui pemadatan tanah, mengurangi bahan organik, ketidakseimbangan mineral, dan kontaminasi residu logam dan residu logam berat. Lebih jauh lagi, terjadinya penurunan kualitas lahan pertanian ini selanjutnya dapat mengurangi kekebalan tanaman inang terhadap infeksi patogen

Dalam strategi pengelolaan pertanian dapat memiliki dampak besar pada kualitas tanah dengan efek lanjutan pada kejadian penyakit. Dengan demikian sebagian besar praktik dirancang dan disusun untuk meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan mikroorganisme bermanfaat dan keanekaragaman hayati mikroba lahan pertanian melalui kegiatan seperti suplementasi bahan organik juga membantu menekan perkembangan sebagian besar penyakit. Rotasi tanaman biasanya meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah seperti keseimbangan nutrisi serta keanekaragaman komunitas mikroba. Di sisi lain, teknik manajemen lapangan dan produksi seperti penanaman terus menerus dan monokultur tanaman tunggal atau varietas meningkatkan risiko terjadinya penyakit dan epidemi dengan memungkinkan patogen menumpuk muatan inokulum yang tinggi. Ini terutama terjadi pada

penyakit yang ditularkan melalui tanah tetapi juga berlaku untuk banyak penyakit daun. Strategi tersebut juga memfasilitasi pemecahan strategi manajemen penyakit berdasarkan penggunaan sejumlah gen resistensi atau pestisida karena peningkatan tekanan seleksi pada patogen karena berkurangnya keanekaragaman inang dan meluasnya penggunaan pestisida dengan cara aksi yang sama.

Strategi manajemen tunggal dan statis untuk meningkatkan intensitas wabah penyakit tanaman. Patogen tanaman sulit dikendalikan sebagian karena dinamika spatio-temporal yang termasuk cepat dan evolusi yang cepat yang terkait dengan keragaman genetik tinggi dan waktu generasi pendek yang bersamaan mempromosikan kemampuan mereka untuk mengatasi pendekatan-pendekatan pengendalian penyakit yang paling efektif saat ini berdasarkan pada resistensi gen R utama dan pestisida industri. Pendekatan pengelolaan hama terpadu (PHT) yang dianjurkan pada abad lalu dimaksudkan untuk mengelola penyakit tanaman dengan mengumpulkan beragam pendekatan sesuai dengan penyakit, waktu, dan lokasi tertentu. Namun, aplikasi pestisida kimia hampir menjadi pendekatan utama dan bahkan hanya satu dari strategi PHT, terutama untuk tanaman yang tidak memiliki resistensi besar. Telah dilaporkan bahwa laju peningkatan pestisida aplikasi telah jauh lebih banyak daripada produksi makanan yang diperoleh dalam beberapa dekade terakhir yang menunjukkan penurunan efisiensi dan pengembalian ekonomi dari penggunaan pestisida untuk mengelola penyakit tanaman. Biasanya, pestisida digunakan dengan cara yang ditentukan berdasarkan standarisasi jenis, waktu, frekuensi dan dosis aplikasi terlepas dari status ketahanan tanaman tertentu, kondisi lingkungan dan sensitivitas bahan kimia patogen. Strategi aplikasi pestisida yang statis tidak hanya mengurangi efisiensi pengelolaan dan meningkatkan biaya, tetapi juga membawa banyak efek negatif yang tidak perlu pada lingkungan dan masyarakat seperti toksisitas terhadap manusia dan ternak, dan degradasi ekologis seperti dibahas sebelumnya

Mekanisme epidemi penyakit tanaman untuk mencapai manajemen penyakit tanaman yang efisien dan berkelanjutan, penting untuk menggunakan pendekatan pemikiran sistem terintegrasi untuk memahami seluruh interaksi antara inang dan patogen dan interaksi dengan lingkungan yang lebih luas. Jadi, sementara pemahaman tentang prinsip-prinsip patogenesis dan epidemi patogen tanaman, dan tentang mekanisme genetik, biologis dan fisiologis dari pertahanan tanaman inang adalah penting, demikian juga pengetahuan interaksi dengan populasi mikroba lain, dan relung ekologis patogen. Lebih penting lagi, upaya harus

dilakukan untuk memahami efek kegiatan manusia secara komprehensif seperti praktik pertanian (misalnya, monokultur, rotasi, dll.), Perdagangan internasional, dan aplikasi pestisida pada generasi dan evolusi virulensi baru, kesehatan pengembangan tanaman dan interaksi antara tanaman, patogen, vektor dan lingkungan. Ini penting karena umumnya diyakini bahwa banyak wabah penyakit utama dalam sejarah terutama disebabkan oleh manusia. Diagnosis, identifikasi, dan perkiraan penyakit yang benar dan cepat selalu mendasar.

Teknologi untuk mendiagnosis dan identifikasi telah mapan dan telah banyak dibantu oleh munculnya kit diagnostik molekuler. Meskipun demikian, aplikasi mereka dalam produksi komersial masih sangat bervariasi dengan beberapa perusahaan agri dan petani masih mengandalkan pengalaman, yang dapat menyebabkan kesalahan diagnosis dan penggunaan pendekatan manajemen yang tidak tepat. Dibandingkan dengan diagnosis dan identifikasi, peramalan penyakit membutuhkan pemahaman yang jauh lebih mendalam tentang prinsip-prinsip patogenesis dan epidemi dan interaksi ekologis dan lingkungan patogen tanaman dengan faktor biotik dan abiotik lainnya. Karena kerumitan ini, dengan sedikit pengecualian (misalnya, penyakit busuk daun kentang di Amerika Serikat bagian timur laut), perkiraan penyakit ac-curate masih sangat terbatas.

Kurangnya model termasuk eksternalitas dalam analisis ekonomi manajemen penyakit tanaman Eksternalitas muncul ketika efek manajemen penyakit tanaman pada pihak lain tidak tercermin dalam perhitungan biaya dan laba. Eksternalitas yang terkait dengan manajemen penyakit tanaman mungkin positif atau negatif dan dapat dibagi menjadi komponen ekologi, sosial dan ekonomi jangka pendek dan jangka panjang. Eksternalitas negatif dari manajemen penyakit tanaman termasuk polusi lingkungan, produksi toksin yang mempengaruhi manusia atau ternak, kerusakan ekologis, penipisan sumber daya, pengurangan efisiensi manajemen penyakit dan biaya yang terkait dengan memenuhi residu kimia minimum pada produk. Eksternalitas positif termasuk manfaat untuk manajemen penyakit di pertanian tetangga, mengurangi potensi evolusi patogen, dan memastikan stabilitas sosial dan keselamatan.

Saat ini, eksternalitas ini tidak termasuk dalam analisis ekonomi manajemen penyakit tanaman. Petani hanya bertanggung jawab untuk biaya langsung yang terkait dengan aplikasi pestisida tetapi tidak biaya yang terkait dengan pembuangan residu dan restorasi ekologi, sementara mereka yang menerapkan pendekatan ramah lingkungan untuk manajemen penyakit tidak menerima manfaat tambahan. Karena petani hanya membayar biaya langsung

terkait dengan manajemen penyakit tanaman, mereka sangat memilih strategi yang menghasilkan pergantian ekonomi langsung terbaik sementara sebagian besar mengabaikan potensi dampak negatif terhadap lingkungan. Sampai saat ini, beberapa strategi manajemen penyakit yang sangat efektif telah digunakan tanpa cukup memperhatikan dampak ekologis jangka panjang.

Kebijakan regulasi yang terkait dengan pengelolaan air limbah industri memberikan model bagaimana eksternalitas dapat ditangkap dalam menilai strategi manajemen penyakit tanaman. Sistem ini memungut pembuangan limbah industri ke lingkungan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Karena transformasi eksternalitas ke produk, laba bersih dari strategi manajemen tidak hanya bergantung pada kualitas komoditas tetapi juga tingkat potensi kerusakan lingkungan. Dengan mengambil contoh pestisida dan pengelolaan ekologis penyakit tanaman, keuntungan aktual berkurang secara substansial untuk yang pertama tetapi meningkat untuk yang terakhir ketika eksternalitas dimasukkan dalam analisis ekonomi

Adapun tantangan dalam pengelolaan penyakit tanaman - manajemen rasional Patologi tanaman menghadapi tantangan yang terus bertambah. Di satu sisi, permintaan masyarakat akan makanan total, berkualitas tinggi dan beragam meningkat karena populasi global yang meningkat yang diperkirakan akan mencapai 9 miliar pada tahun 2050, dan meningkatkan standar kehidupan. Di sisi lain, berkurangnya lahan subur, dan menipisnya sumber daya alam mengurangi potensi peningkatan produktivitas pertanian. Selain itu, monokultur, intensifikasi dan sumber daya tinggi lainnya (pupuk, air dan pestisida) memasukkan praktik-praktik pertanian yang ditujukan pada hasil maksimum sebagai satu-satunya target, sehingga memfasilitasi evolusi dan epidemi penyakit tanaman secara global. Ke masa depan, penekanan yang jauh lebih besar harus diberikan pada strategi manajemen penyakit tanaman berkelanjutan yang menjamin keamanan pangan dan pengembangan masyarakat tetapi juga memiliki dampak yang kurang merugikan terhadap lingkungan dan sumber daya alam.

Untuk memenuhi tantangan, strategi manajemen penyakit tanaman, praktik pertanian saat ini dan strategi manajemen penyakit tanaman harus berubah. Tiga komponen (masyarakat, ekonomi dan ekologi) harus dipertimbangkan dalam strategi manajemen penyakit tanaman di masa depan. Menyediakan makanan yang aman dan memadai untuk masyarakat selalu merupakan tugas terpenting dari manajemen penyakit tanaman.

Manajemen penyakit tanaman harus menyerang untuk memastikan keamanan pangan dan stabilitas sosial dengan meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi kontaminasi makanan oleh racun mikroba, dan menjamin pasokan makanan dengan harga yang beragam dan masuk akal. Berkenaan dengan pertimbangan ekonomi, rasio input dan pengembalian pendekatan manajemen penyakit tanaman harus diukur dan dievaluasi lebih baik termasuk manfaat ekonomi langsung dan tidak langsung dan biaya dalam kerangka kerja jangka pendek dan jangka panjang termasuk eksternalitas, biaya peluang, manfaat teknis, dll. Dalam konteks ekologis, manajemen penyakit tanaman tidak hanya mempertimbangkan bagaimana menggunakan prinsip-prinsip ekologis untuk mengurangi epidemi penyakit melalui perubahan praktik pertanian tetapi juga bagaimana strategi tersebut dapat berdampak pada keberlanjutan pertanian dan ekologi. Perubahan filosofi manajemen penyakit tanaman Untuk mencapai hasil yang rasional dan berkelanjutan, filosofi pengendalian penyakit tanaman harus mengalihkan fokus dari mengelola patogen (atau vektor serangga) ke mengelola inang pabrik dan dari satu-satunya tujuan produktivitas tinggi ke beberapa tujuan, hasil tinggi, efisiensi, kualitas baik dan keamanan.

Kunci manajemen penyakit tanaman berkelanjutan adalah membangun sistem agroekologi yang menguntungkan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman di tingkat populasi dan merugikan evolusi patogen dan pengembangan epidemi berdasarkan interaksi antara tanaman, patogen, vektor, dan lingkungan. Sistem manajemen ini mencakup dua komponen utama : tujuan ganda (hasil tinggi, efisiensi, kualitas baik, dan keamanan) dan pendekatan yang dinamis dan terintegrasi yang dipandu oleh pemahaman yang komprehensif tentang ekologi evolusi interaksi host-patogen tertentu. Pendekatan terpadu ini menunjukkan janji besar dalam mengatasi masalah dan tantangan yang terkait dengan strategi manajemen penyakit tanaman saat ini untuk mengoptimalkan manfaat ekonomi, ekologis, dan sosialnya.

Inti dari pengelolaan penyakit tanaman ekologis Inti manajemen penyakit tanaman ekologis adalah memanipulasi lingkungan interaksi host-patogen untuk kepentingan tuan rumah melalui penerapan seimbang strategi RAER (resistensi, penghindaran, eliminasi, dan perbaikan). Patogen pertanian bervariasi secara substansial dalam ekologi penyakit, pola epidemi, potensi evolusi dan dampak ekonomi dan strategi RAER harus diterapkan sesuai dengan kondisi tertentu dari interaksi host-pathogen yang terlibat. Beberapa pendekatan manajemen penyakit tanaman seperti rotasi tanaman dapat mencapai setara dengan resistensi, penghindaran, eliminasi dan efek obat secara bersamaan

Perlawanan Perlawanan Host adalah pendekatan yang paling efektif dan nyaman untuk manajemen penyakit tanaman. Resistensi tuan rumah dapat diinduksi atau bersifat konstitutif, sistematis atau lokal dan kualitatif atau kuantitatif. Sebagian besar resistensi pada tanaman diperkenalkan dari ras darat atau kerabat liar melalui pemuliaan tanaman. Perlawanan kualitatif (atau gen utama) sangat efektif tetapi karena peningkatan evolusi patogen tanaman dalam praktik pertanian modern, banyak resistensi kualitatif kehilangan keefektifannya hanya karena beberapa tahun setelah rilis komersial, terutama ketika mereka digunakan dalam monokultur skala besar. Dibandingkan dengan resistensi kualitatif ini, resistensi kuantitatif kurang efektif, mengurangi epidemi penyakit daripada mencegah infeksi, tetapi lebih tahan lama karena tekanan seleksi yang lebih rendah yang ditempatkan pada patogen. Di sisi lain, resistensi yang diinduksi dianggap memiliki keunggulan dibandingkan resistensi konstitutif terutama karena alokasi sumber daya yang lebih rendah ketika tidak diperlukan.

Selain genetika resistensi inang, unsur-unsur lain disebut 'sepuluh prinsip praktik pertanian' (tanah, nutrisi, air, benih, kepadatan populasi, perlindungan tanaman, manajemen medan, teknologi mesin pertanian, cahaya dan udara, juga dapat mempengaruhi tingkat resistensi tanaman inang. Mengubah elemen-elemen ini dapat memodifikasi lingkungan dengan cara yang menguntungkan atau merugikan tanaman atau patogen. Meskipun mengelola penyakit tanaman melalui pendekatan sistem pertanian secara keseluruhan mungkin masih memungkinkan beberapa pengembangan penyakit, mungkin membutuhkan lebih banyak tenaga kerja dan input lain khususnya pada pembangunan, dan mungkin memerlukan dukungan tambahan dari strategi lain seperti aplikasi pestisida, telah berhasil digunakan untuk mengendalikan ledakan padi (*Magnaporthe oryzae*) dan penyakit tungro (Beras tungro virus) dalam skala besar. Host meningkat heterogenitas melalui tumpangsari atau pencampuran varietas tanaman dengan sifat genetik dan fisiologis yang berbeda seperti jenis resistensi (kuantitatif versus kuantitatif) telah terbukti menjadi salah satu pendekatan ekologis yang paling efektif untuk mengelola penyakit tanaman. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi epidemi penyakit, meningkatkan efisiensi nutrisi, produktivitas dan stabilitas hasil dalam jangka pendek tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah dan memperlambat evolusi gen. Sebagai contoh, meningkatkan heterogenitas populasi inang dengan melakukan tumpangsari berbagai varietas beras sangat mengurangi ketergantungan pada aplikasi fungisida untuk mengelola ledakan beras, sementara secara bersamaan meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi secara signifikan. Campuran varietas juga telah berhasil digunakan

untuk mengendalikan kentang penyakit busuk daun dan awal (data tidak ditampilkan). Selain teknologi campuran atau tumpangsari,

Pendekatan lain dalam penyebaran gen resistensi, seperti rotasi gen R dan piramida, juga dapat digunakan untuk membantu dalam pengelolaan ekologis penyakit tanaman. Penghindaran penyakit Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan ketidakcocokan antara periode kritis panen. dan pengembangan patogen dengan mengubah pola penanaman tanaman inang secara spasial dan temporer seperti melalui variasi waktu tanam, lokasi penanaman atau sistem penanaman)Ini adalah pendekatan kompleks yang membutuhkan pemahaman komprehensif tentang kerentanan inang melalui berbagai tahap perkembangan fenologis, kemungkinan kondisi meteorologis, ekologi penyakit, dan distribusi patogen dan patotipe. Efisiensi penghindaran spasial termasuk penyebaran gen R regional dan campuran varietas terutama ditentukan oleh distribusi patogen dan mode transmisi. Penghindaran spasial mungkin efektif untuk mengelola penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen yang ditularkan melalui tanah atau air seperti banyak penyakit yang disebabkan oleh nematoda dan bakteri, tetapi pendekatan ini tidak mungkin berguna untuk pengelolaan penyakit yang ditularkan melalui udara yang dapat tersebar di seluruh wilayah. Jarak yang jauh dari satu jalur epidemi

Pendekatan penghindaran sementara termasuk mengubah waktu tanam tanaman dan rotasi tanaman. Efektivitas perubahan waktu tanam untuk mengendalikan penyakit tanaman sangat tergantung pada kondisi iklim dalam musim, terutama untuk patogen poliklik di mana inokulum primer tidak memainkan peran penentu dalam epidemi penyakit. Namun, pada penyakit virus beras, pendekatan ini mempersingkat paparan tanaman terhadap patogen selama periode paling sensitif dengan menghindari tahap puncak penularan vektor. Kelas kedua penghindaran sementara, yaitu, rotasi tanaman, diharapkan sangat efektif dalam mengendalikan penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen yang ditularkan melalui tanah. Memang, rotasi telah terbukti sangat efektif untuk mengendalikan layu bakteri kentang, pisang, tembakau dan busuk ubi jalar hitam dan akar . Untuk patogen yang ditularkan oleh vektor serangga seperti banyak virus, kunci untuk menghindari penyakit adalah dengan memahami ekologi - situs musim dingin, pola migrasi, arah angin - serta biologi reproduksi serangga.

Eliminasi Beberapa metode yang menghilangkan situs musim dingin yang berlebihan (tempat dan inang) dari patogen dan vektor penularannya menghasilkan hasil manajemen

penyakit tanaman yang luar biasa tanpa ada atau minimal dampak ekologis yang merugikan dengan menghapus atau mengurangi sumber inokulum. Hambatan utama untuk menggunakan strategi eliminasi untuk mengelola penyakit tanaman adalah mengidentifikasi sumber inokulum primer yang benar. Kesalahan identifikasi sumber inokulum primer tidak hanya mengurangi efisiensi manajemen tetapi juga mengakibatkan pemborosan sumber daya. Jika suatu penyakit menunjukkan epidemi secara terus menerus selama bertahun-tahun meskipun banyak

Oleh karena itu, perlu untuk memeriksa kembali apakah poin penting dari siklus penyakit telah salah diidentifikasi, untuk menentukan apakah pemberantasan pada titik-titik tersebut benar-benar layak dan untuk memikirkan kembali secara umum strategi untuk manajemen. Sejumlah besar praktik pertanian telah terbukti sangat efektif dalam menghilangkan atau mengurangi sumber inokulum patogen dengan mengadaptasi sistem pertanian untuk menghilangkan jaringan tanaman yang sakit, tanaman inang sukarela dan tanaman sekunder dan lain-lain

Terutama di antara praktik-praktik ini, rotasi tanaman adalah metode yang nyaman. eliminasi penyakit yang tidak hanya dapat menghilangkan patogen (terutama beberapa yang ditanggung oleh tanah) dan inang potensial reservoir, tetapi juga dapat meningkatkan kualitas tanah yang efisien (keseimbangan nutrisi dan struktur fisik) yang mendukung populasi tanaman yang lebih sehat. Praktek membajak tanah setelah panen secara dramatis mengurangi kepadatan populasi vektor serangga, *Nephotettix vires-cens*, dan oleh karena itu, sumber virus penyakit tungro padi dengan mengurangi situs vektor pada musim dingin. Mirip dengan resistensi dan penghindaran penyakit, strategi penghilangan dis-kemudahan juga harus dibangun di atas pemahaman yang tepat tentang berbagai interaksi yang terjadi di antara inang, patogen, vektor dalam konteks ekologi dan epidemi-ologis serta dengan pertimbangan ekonomi. ambang batas manajemen

Kasus sukses menerapkan strategi eliminasi untuk mengendalikan penyakit tanaman berasal dari karat batang gandum di Cina. Beberapa epidemi utama penyakit ini terjadi pada gandum musim semi di Cina Timur Laut dan gandum musim dingin di Provinsi Fujian, Cina selatan antara tahun 1948 dan 1965 meskipun banyak menggunakan varietas tahan utama dan pestisida kimia. Investigasi menemukan bahwa *Puccinia graminis* var. *tritici*, agen penyebab karat batang gandum, menabrak benih gandum musim dingin yang dibudidayakan pada bulan Agustus di Kabupaten Putian, Provinsi Fujian. Penghapusan situs over-wintering *P. graminis*

tritici ini dengan membujuk petani Putian untuk mengubah sistem tanam mereka dari menanam gandum musim dingin menjadi kentang dan kacang buncis telah ditandai oleh tidak adanya epidemi utama karat batang gandum sejak saat itu. Memang, penyakit itu hampir menghilang di Cina setelah tahun 1990-an.

Contoh sukses lain dari penerapan strategi eliminasi untuk mengendalikan penyakit tanaman berasal dari penyakit strip padi. Penyakit ini telah merajalela di Provinsi Jiangsu, daerah produksi beras utama Tiongkok selama hampir 10 tahun (2001-2010). Karena kurangnya varietas tahan, penyakit ini terutama dikendalikan oleh aplikasi insektisida untuk membunuh vektor serangga, *Laodelphax striatellus*. Namun, setelah 2008, strategi pengelolaan virus Rice stripe beralih dari aplikasi insektisida tunggal ke penggunaan kombinasi insektisida dengan eliminasi sumber inokulum utama yang dicapai dengan meninggalkan praktik umum lokal rotasi beras-gandum (ini menghilangkan situs musim dingin dari vektor).

Penyakit ini akhirnya dikendalikan sepenuhnya dalam beberapa tahun terakhir. Obat Penyemprotan pestisida untuk membunuh patogen atau vektor serangga mereka adalah bagian yang tidak terpisahkan dari manajemen penyakit tanaman ketika pendekatan lain tidak dapat mencapai tingkat pengurangan kepadatan populasi patogen dan perbaikan epidemi yang diperlukan. Namun, penggunaan pestisida dalam sistem manajemen penyakit terpadu bukan untuk memberantas penyakit sepenuhnya tetapi untuk mengendalikannya sampai batas yang paling tepat seperti yang dipandu oleh ambang batas ekologis dan ekonomis. Selama aplikasi pestisida, faktor-faktor seperti mode aksi dan resistensi patogen harus dipertimbangkan.

Untuk meningkatkan efisiensi penerapannya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, pestisida harus digunakan bersama dengan ramalan penyakit dan pengetahuan tentang struktur genetik populasi patogen untuk menentukan waktu dan frekuensi terbaik dari aplikasi dan untuk memilih jenis dan dosis penggunaan pestisida. Keberhasilan pemulihan juga dapat dicapai dengan pendekatan lain selain fungisida sintetik seperti senyawa tanaman yang muncul secara alami dengan aktivitas kontrol biologis - misalnya protein $\gamma 3$ yang diekstraksi dari jamur yang dapat dimakan dan mikroba lain

Untuk memastikan penggunaan bio-pestisida secara efektif, pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat dan prosedur aplikasinya adalah penting seperti halnya informasi tentang fitur biologis yang relevan dan mode transmisi patogen. Sebagai contoh,

menambahkan agen terapi virus atau agen kontrol biologis dalam 1-2 semprotan pada benih padi dan mengubah tahap hijau tidak hanya dapat mengurangi kepadatan populasi serangga yang berjerawat, tetapi juga melindungi tanaman dari infeksi lebih lanjut. Menggabungkan pestisida dengan pendekatan apotik biotik dan abiotik lainnya seperti agen biologis, penyesuaian pH tanah dan iradiasi UV telah terbukti sangat efektif dalam pengendalian jangka panjang tomat dan busuk akar selada

Masa depan pengelolaan penyakit tanaman Pengelolaan penyakit tanaman berkelanjutan (Gambar 3 dan 4) memerlukan pertimbangan multi-dimensi dari dampak pendekatan manajemen pada ekonomi, sosiologi dan ekologi dengan sepenuhnya memahami mekanisme epidemi penyakit tanaman, berfungsinya agro-ekosistem yang sehat dan peran individu dan kolektif dari pendekatan RAER pada manajemen penyakit. Model pengelolaan penyakit tanaman ini bertujuan tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan meningkatkan kualitas makanan tetapi juga untuk melindungi lingkungan ekologis dan sumber daya alam. Untuk mencapai tujuan ini, penelitian masa depan dalam manajemen penyakit tanaman ekologis harus fokus pada:

- (i) pola epidemi dan evolusi penyakit tanaman di bawah lingkungan yang berubah dan filosofi produksi agribudaya
- (ii) peran pertimbangan ekologis dalam produktivitas pertanian dan kesehatan tanaman
- (iii) analisis sosial-ekonomi epidemi dan manajemen penyakit tanaman
- (iv) pengembangan teknologi untuk mengintegrasikan manajemen penyakit tanaman utama dengan prinsip-prinsip ekologis

Prinsip dasar manajemen penyakit

1. Penghindaran: Wilayah geografis, pemilihan bidang yang tepat, waktu tanam dan penyakit yang lolos dari varietas, penghindaran vektor serangga dan inang pengantin
2. Pengecualian: Karantina, inspeksi & sertifikasi, perawatan benih
3. Eradikasi: Rotasi tanaman, sanitasi, rogouing, perawatan tanah, perlakuan panas dan kimia untuk bahan tanaman yang sakit, penggunaan antagonis
4. Perlindungan: Perawatan kimia
5. Imunisasi: varietas tahan, menginduksi resistensi sistemik
6. Terapi: Kemoterapi, termoterapi

Penghindaran

Melibatkan taktik yang mencegah kontak antara tuan rumah dan patogen. Pemilihan area geografis, pemilihan lahan yang tepat, waktu tanam dan penyakit yang lolos dari varietas memainkan peran penting dalam menghindari penyakit. Misalnya kacang anthracnose umum di daerah basah. Demikian pula jelaga dan ergot millet-mutiara serius di daerah di mana curah hujan terjadi untuk jangka waktu yang lama selama berbunga tanaman.

Keberhasilan budidaya tanaman sangat tergantung pada pemilihan bidang yang tepat terutama pada penyakit yang ditularkan melalui tanah, misalnya, penyakit nematoda simpul akar, layu merpati-kacang dll. Dalam banyak penyakit, insidensi atau keparahan penyakit tergantung pada kebetulan tahap inang yang rentan dan kondisi yang menguntungkan bagi patogen. Ini dapat dicapai dengan mengubah tanggal penanaman / penaburan.

- Serangga tertentu terutama kutu daun, kumbang dan wereng dikenal untuk menularkan virus dan moluska dari tanaman yang terinfeksi ke tanaman sehat.
- Gulma abadi termasuk pokeweed, milkweed, rumput Johnson, dan jelatang kuda berfungsi sebagai reservoir yang terlalu banyak musim dingin dari beberapa virus.
- Puncak keriting dalam bit gula adalah penyakit virus yang ditularkan melalui hopper dan gulma memainkan peran penting dalam penyebarannya.

Beberapa gulma penting yang terlibat dalam penyebaran penyakit keriting adalah spesies tertentu dari *Chenopodium*, thistle Rusia, *Amaranthus*, naungan hampir mematikan, dompet gembala, dan simpul. Dalam beberapa kasus, kutu daun memakan beberapa gulma yang muncul lebih awal dan kemudian pindah ke penanaman tanaman baru, sehingga memperkenalkan virus yang kemudian menyebar dalam siklus sekunder dalam penanaman.

- Virus mosaik kuning biji (BYMV) adalah masalah umum di daerah penanaman kacang.
- Legum hijau (cengkeh merah) ditemukan menjadi sumber inokulum utama bagi kutu daun untuk membawa BYMV ke ladang kacang.

Untuk virus mosaik selada, hanya 10 hingga 15 detik pemberian makan dibutuhkan oleh kutu untuk mendapatkan virus dan 10 hingga 20 detik lainnya pada tanaman lain sudah cukup bagi kutu untuk menularkan virus

Pengecualian

Mencegah masuknya dan pembentukan patogen pada tanaman yang tidak terinfeksi di area tertentu. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan benih atau tanaman bersertifikat, memilah umbi sebelum menanam, membuang apa pun yang diragukan, mungkin merawat benih, umbi atau umbi sebelum ditanam dan yang paling penting menolak spesimen yang jelas sakit dari dealer. Untuk mencegah impor dan penyebaran patogen tanaman ke negara atau masing-masing negara bagian, undang-undang federal dan negara bagian tertentu mengatur kondisi di mana tanaman tertentu dapat ditanam dan didistribusikan antara negara bagian dan negara.

Kontrol regulasi tersebut diterapkan melalui karantina, inspeksi pabrik di lapangan atau gudang dan kadang-kadang dengan pemberantasan sukarela atau wajib tanaman inang tertentu. Karantina tumbuhan dilakukan oleh inspektur yang berpengalaman, ditempatkan di semua titik masuk ke negara itu, untuk menghentikan orang atau menghasilkan kemungkinan untuk memperkenalkan patogen baru

Peraturan karantina yang serupa mengatur penjualan stok pembibitan, umbi, umbi, biji, dan organ propagatif antar negara bagian lain bahkan intrastate, terutama tanaman tertentu seperti kentang dan pohon buah-buahan. Misalnya, wabah sari jeruk di Amerika Serikat pada tahun 1910 melalui bahan tanam yang diimpor dari negara-negara Asia Tenggara.

Karena kerusakan parah, karantina yang ketat diberlakukan terhadap masuknya bahan penanaman jeruk. Namun pada tahun 1981, 1984 dan 1991, wabah segar dilaporkan karena impor ilegal bahan tanam jeruk. Di India, karantina antarnegara bagian tersedia untuk pergerakan kentang dari daerah Darjeeling, Benggala Barat untuk mencegah penyebaran kutil kentang yang hanya terbatas pada daerah itu saja

Pemberantasan

Melibatkan eliminasi patogen begitu telah terbentuk di tanaman atau di lapangan. Itu bisa dicapai dengan:

- Penghapusan tanaman atau bagian yang sakit seperti dalam roguing untuk mengendalikan penyakit virus atau memotong anggota tubuh pohon yang tererosi.
- Berkultivasi untuk menjaga inang gulma dan pembajakan dalam atau spading untuk mengubur puing tanaman yang sakit.
- Rotasi tanaman rentan dengan tanaman tidak rentan untuk membuat patogen kelaparan.
- Desinfeksi biasanya oleh bahan kimia, kadang-kadang dengan perlakuan panas.
- Penyemprotan atau debu dengan belerang untuk membunuh miselium jamur.
- Mengobati tanah dengan kloropikrin untuk membunuh nematoda dan jamur.

Perlindungan

Ini adalah penggunaan beberapa penghalang pelindung antara bagian tubuh yang rentan atau pejamu dan patogen. Dalam kebanyakan kasus, semprotan pelindung atau debu diterapkan ke tanaman sebelum kedatangan spora jamur. Terkadang, itu dicapai dengan membunuh serangga atau agen inokulasi lainnya. D dengan pemasanicapaigan wind-break atau penghalang mekanis lainnya.

Semprotan fungisida yang bertindak sebagai pelindung digunakan untuk mengontrol bintik daun *Cercospora* dari bit-gula, terutama di bidang-bidang yang inokulumnya terbawa dari tahun sebelumnya. Prinsip fungisida pelindung adalah mengganggu urutan alami infeksi. Fungisida ini bekerja pada permukaan daun untuk membunuh spora yang baru saja berkecambah. Belerang digunakan sebagai fungisida pelindung untuk mengendalikan jamur bubuk gula bit. Ada daftar panjang bahan kimia yang tersedia dalam literatur yang dapat digunakan dalam penyemprotan pelindung dan debu, bersama dengan bahan kimia pemusnah.

Bahan kimia yang dijual secara komersial disediakan dengan instruksi atau catatan tentang kompatibilitas dan kemungkinan cedera. Peningkatan aerasi di bawah kanopi tanaman mengurangi kelembaban pada bagian udara tanaman dan dengan demikian memeriksa pertumbuhan jamur yang tumbuh subur di atmosfer lembab

Imunisasi / resistensi penyakit

Varietas tahan penyakit dan toleran adalah cara termurah, termudah dan paling efisien untuk mengurangi kehilangan penyakit. Varietas harus dipilih yang memiliki ketahanan atau toleransi terhadap satu atau lebih organisme penyakit. Untuk beberapa penyakit, seperti layu vaskular yang ditularkan melalui tanah dan virus, penggunaan varietas tahan adalah satu-satunya cara untuk memastikan kontrol. Benih varietas tahan bersertifikat dan tersedia secara komersial.

Penggunaan varietas tanaman yang tahan terhadap penyakit tertentu telah terbukti sangat efektif terhadap karat batang gandum, karat kacang kering dan busuk akar *Rhizoctonia* dari bit. Sebagian besar pemuliaan tanaman dilakukan untuk pengembangan varietas yang menghasilkan hasil yang lebih besar dengan kualitas yang lebih baik. Ketika varietas tersebut tersedia, mereka kemudian diuji ketahanannya terhadap beberapa patogen terpenting yang ada di daerah di mana varietas tersebut dikembangkan dan di mana ia diharapkan untuk dibudidayakan.

Jika varietas tersebut tahan terhadap patogen-patogen ini untuk daerah itu, varietas tersebut dapat dilepaskan kepada petani untuk produksi segera. Ada tingkat ketahanan terhadap penyakit tertentu, beberapa varietas benar-benar kebal, yang lain sebagian rentan. Varietas yang resisten dapat menjadi rentan terhadap ras patogen baru, seperti yang terjadi pada karat sereal, embun tepung, jamur berbulu halus dan *P. infestans*.

Teknologi DNA modern telah memungkinkan untuk merekayasa tanaman transgenik yang ditransformasikan dengan gen untuk ketahanan terhadap penyakit tertentu, untuk toleransi faktor lingkungan yang merugikan atau dengan sekuens asam nukleat yang menyebabkan pembungkaman gen patogen.

Penggunaan mikroorganisme dan bahan kimia untuk menginduksi resistensi sistemik yang diperoleh dan aktivasi sistem pertahanan tanaman juga dapat digunakan untuk pengelolaan penyakit tanaman.

Terapi

Digunakan pada tanaman individu dan tidak dapat digunakan dalam skala besar. Ini dicapai dengan menginokulasi atau merawat tanaman dengan sesuatu yang akan

menonaktifkan patogen. Kemoterapi adalah penggunaan bahan kimia untuk menonaktifkan patogen, sedangkan panas kadang-kadang digunakan untuk menonaktifkan atau menghambat perkembangan virus dalam jaringan tanaman yang terinfeksi sehingga jaringan yang baru berkembang dapat diperoleh yang bebas dari patogen.

Termoterapi melibatkan pemaparan tanaman yang sakit atau bagiannya terhadap air panas atau suhu udara tinggi untuk periode waktu yang berbeda. Gandum gandum yang lepas dikendalikan dengan mengolah biji dengan air panas, tetapi menanam varietas yang resisten menggunakan metode pengendalian yang lebih sederhana.

Pengolahan air panas telah digunakan untuk membunuh nematoda dalam umbi, umbi, umbi dan akar berdaging saat mereka dalam kondisi tidak aktif. Kotoran krisan yang dorman dapat menyingkirkan nematoda daun dengan merendamnya dalam air pada suhu 112 ° F (44 ° C) selama 30 menit.

Prinsip I

Penyakit adalah gangguan fungsi tanaman, yang merupakan hasil iritasi berkelanjutan oleh agen patogen. Definisi penyakit tanaman ini mencakup agen penyebab organisme yang menyerang tanaman seperti jamur, bakteri, mikoplasma, virus, nematoda, dan tanaman parasit. Namun, untuk tanaman hias penyakit abiotik jauh melebihi penyebab tradisional penyakit tanaman. Untuk tanaman hias, Patolog Tumbuhan harus terlebih dahulu memeriksa penyakit abiotik seperti suhu tinggi atau rendah, kelebihan atau kekurangan air, kelebihan atau kekurangan cahaya, kekurangan oksigen, polusi udara, defisiensi nutrisi, toksisitas mineral, alkalinitas atau keasaman tanah, toksisitas pestisida, praktik budaya yang tidak tepat dan keringanan, sebelum mencurigai bahwa penyakit tersebut disebabkan oleh suatu organisme.

Dalam banyak kasus "penyakit" yang berlaku untuk tanaman hias atau halaman belakang mungkin bukan penyakit sama sekali karena mereka tidak menyebabkan kerusakan tanaman tetapi malah menyebabkan respons yang tidak menyenangkan atas nama pemilik rumah. Contoh dari "penyakit" ini mungkin jamur jamur lendir, yang menutupi tanaman atau cincin peri, yang menyebabkan halaman menjadi tidak sedap dipandang. Jadi "penyakit tanaman" sering tergantung pada perspektif Anda

Prinsip II - Penyakit hasil dari interaksi virulensi patogen, kerentanan host, dan kondusifitas lingkungan.

Konsep bahwa penyakit tanaman tidak disebabkan oleh organisme tunggal atau agen penyakit diabaikan oleh kebanyakan orang. Penyakit tanaman bukan disebabkan oleh kombinasi tiga faktor: 1) patogen, 2) kondisi lingkungan, dan 3) respons inang. Konsep ini divisualisasikan oleh "segitiga penyakit" di mana tiga faktor, patogen, lingkungan dan inang membentuk tiga sisi segitiga dan segitiga adalah jumlah penyakit yang diproduksi di pabrik. Segitiga penyakit menunjukkan secara visual bahwa patogen yang sangat lemah dan tidak efisien dapat menyebabkan penyakit substansial jika lingkungan kondusif atau jika inangnya sangat rentan

Prinsip III - Kondisi yang mendukung pertumbuhan dan kesehatan tanaman umumnya mendukung penyakit.

Salah satu kesalahpahaman yang paling umum di kalangan hortikultura dan masyarakat adalah bahwa tanaman sehat entah bagaimana lebih tahan terhadap penyakit tanaman dan karenanya air dan pupuk yang berlimpah sering diperlakukan sebagai pestisida untuk memastikan kesehatan tanaman. Meskipun hal ini mungkin berlaku untuk patogen tanaman yang lemah atau oportunistik, tidak berlaku untuk sebagian besar patogen yang kompeten. Misalnya, pupuk nitrogen tingkat tinggi, yang menghasilkan pertumbuhan tanaman yang cepat, sering diresepkan untuk meningkatkan kesehatan tanaman. Hal ini tidak hanya menyebabkan keracunan amonia, tetapi tingkat nitrogen yang tinggi diketahui dapat memperburuk penyakit oleh banyak patogen seperti *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Armillaria*, *Sclerotium*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, embun bubuk, karat, kista lainnya

Prinsip IV - Overwatering dan underwatering plant keduanya memperburuk penyakit.

Masalah tanaman yang paling umum, bagi sebagian besar pemilik rumah dan tanaman hias pada umumnya, hasil dari penyiraman yang tidak tepat. Tanaman yang rusak karena tumbuh di tanah jenuh air seringkali dapat didiagnosis dengan bau hidrogen sianida busuk dari tanah. Tanaman yang mengalami kekeringan kronis biasanya memiliki daun yang memiliki ujung atau ujung berwarna coklat nekrotik. Namun, sebagian besar orang tidak

menyadari bahwa overwatering atau underwatering dapat menyebabkan tanaman rentan terhadap penyakit.

Predisposisi adalah modifikasi lingkungan dari resistensi tanaman membuat tanaman lebih rentan terhadap penyakit. Memaparkan akar ke kondisi air jenuh selama 18 jam akan merusak membran akar sensitif dan mengakibatkan kebocoran nutrisi dari sel-sel akar. Ini disebut eksudasi root dan banyak patogen tertarik pada eksudat root dan secara istimewa akan menyerang root yang bocor eksudat. Tanaman yang terlalu banyak air seringkali menjadi lebih rentan terhadap jamur busuk akar seperti *Phytophthora* dan *Pythium*. Tanaman bawah air nampaknya membuat mereka kurang mampu melawan patogen yang menyerang dan tanaman yang mengalami kekeringan lebih rentan terhadap kanker yang disebabkan oleh *Botryosphaeria* (*Fusicoccum*) dan *Hendersonula*.

Inokulum adalah patogen atau bagian-bagiannya yang dapat menyebabkan infeksi tanaman. Pengurangan inokulum adalah pendekatan dua cabang, yang meliputi menghambat patogen dan mengurangi penyebarannya. Inokulum dapat berupa spora jamur atau struktur pertahanan hidup, bakteri, atau partikel virus, tetapi dapat juga berupa puing-puing tanaman, tanah yang terinfestasi, akar yang terinfeksi, bagian tanaman yang berpenyakit, vektor serangga atau buah yang terinfeksi atau organ vegetatif. Inokulum harus dikurangi atau dihilangkan untuk mengendalikan penyakit. Inokulum dapat digerakkan oleh angin, hujan, air, serangga, biji, transplantasi yang terinfeksi, hewan, manusia, peralatan dan alat pemangkasan. Perawatan untuk mencegah perpindahan inokulum ke tanaman secara efektif akan mengurangi inokulum dan mengendalikan penyakit.

Prinsip V

Cara realistis untuk mengelola penyakit tanaman adalah melalui strategi manajemen terpadu yang meliputi: 1) praktik budaya, 2) epidemiologi, 3) varietas tahan, 4) pestisida kimia, dan 5) kontrol biologis.

Prinsip VI - Pendekatan utama untuk pengendalian penyakit adalah pengurangan inokulum

Penyakit tanaman seringkali sangat sulit untuk dikendalikan dan membutuhkan pendekatan yang fleksibel yang memanfaatkan semua alat yang tersedia untuk kita. Dalam

kebanyakan situasi, menggunakan beberapa metode untuk mengendalikan penyakit lebih praktis dan efisien daripada mengandalkan metode tunggal. Contoh kontrol budaya adalah mulsa yang sering kali akan mengurangi busuk akar yang disebabkan oleh *Phytophthora*.

Epidemiologi adalah studi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi wabah dan penyebaran penyakit menular. Keakraban dengan epidemiologi patogen akan menunjukkan bagaimana faktor-faktor seperti suhu, curah hujan, angin dan basah daun mempengaruhi kemampuannya untuk menghasilkan spora, menyebar dan menginfeksi inangnya. Pengetahuan epidemiologi akan sering mengarah pada formulasi "model" yang memperkirakan atau memprediksi penyakit. Model sederhana seperti curah hujan selama lebih dari 24 jam ketika suhu di atas 24C membutuhkan semprotan fungisida yang sering merupakan cara terbaik dan paling berguna untuk mengendalikan penyakit dan mengurangi jumlah fungisida yang diterapkan.

Varietas tahan sering merupakan cara terbaik untuk mengendalikan penyakit. Namun, resistansi dapat pecah dan bagi banyak resistansi tanaman hias sama sekali tidak tersedia. Pestisida kimia seringkali merupakan satu-satunya cara efektif untuk mengendalikan penyakit. Pedoman PHT baru (Pengelolaan Hama Terpadu) menekankan hanya menggunakan pestisida yang cukup untuk mengendalikan penyakit dan terus mencari cara untuk mengurangi aplikasi pestisida. Kontrol biologis patogen tanaman tidak semaju kontrol serangga. Sementara ada sejumlah besar agen kontrol biologis di pasar, sebagian besar tidak sangat manjur untuk mengendalikan penyakit di lapangan

Prinsip VII - Organisme pembusukan kayu menyebabkan kerusakan angin dan kerusakan pada pohon.

Sementara prinsip ini tampak jelas, sungguh menakjubkan betapa banyak pemilik rumah lebih tertarik untuk menyelamatkan pohon mereka daripada dalam bahaya potensial untuk rumah, mobil atau orang mereka sendiri. Organisme pembusukan kayu seringkali hanya merusak bagian inti pohon kayu yang mati dan menyebabkan pohon menjadi berlubang. Pohon itu menunjukkan sangat sedikit tanda-tanda kerusakan di luar karena satu atau dua cincin luar batang dapat membawa semua air dan nutrisi untuk menopang pohon. Tubuh buah dari jamur pelapuk kayu, yang menyerupai tanda kurung atau rak, adalah tanda-tanda bahwa pohon itu dapat terancam rusak dan jatuh. Dua jamur peluruhan kayu yang paling umum di California Selatan adalah *Ganoderma* dan *Laetiporus*

Prinsip VIII - Epidemi spesies yang diperkenalkan (invasif) lebih parah daripada epidemi spesies endemik.

Hama dan penyakit baru terus-menerus diperkenalkan ke California Selatan hanya karena ada lebih banyak orang bepergian hari ini daripada sebelumnya. Pemberitahuan di bandara dan perbatasan meminta pengunjung untuk tidak membawa bahan tanaman yang mungkin mengandung penyakit baru. Namun terlepas dari upaya terbaik kami penyakit baru diperkenalkan dan karena tanaman kami memiliki sedikit resistensi terhadap spesies yang diperkenalkan dan tidak ada pesaing atau predator untuk menjaga jumlahnya tetap rendah, dan terjadi epidemi yang sangat sulit untuk dikendalikan.

Biaya ke AS untuk spesies yang diperkenalkan lebih dari \$ 137 miliar. Bagi saya ini kelihatannya rendah karena biaya karena hilangnya pohon kastanye karena diperkenalkannya penyakit kastanye, hilangnya pinus putih karena diperkenalkannya karat lepuh pinus putih, hilangnya pohon elm karena diperkenalkannya Belanda penyakit elm dan kerugian alpukat karena pengenalan busuk akar alpukat. Penyakit invasif dari keempat pohon ini saja telah menghasilkan miliaran kerugian dengan harga hari ini. Terlepas dari kerugian besar akibat spesies yang diperkenalkan, negara bagian dan pemerintah federal kami terus mengurangi upaya karantina di perbatasan kami

Prinsip IX - Karantina seringkali merupakan metode terbaik untuk memerangi penyakit.

Prinsip ini sebenarnya adalah konsekuensi wajar dari Prinsip VIII, dan saya khawatir diabaikan pada hari ini dalam suasana perdagangan bebas ini.

Prinsip X - Jangan membahayakan.

Ini benar-benar aturan pertama patologi tanaman. Tentu saja pemerintah negara bagian dan federal kita mengabaikan aturan ini ketika mereka menurunkan sistem karantina kita. Namun, aturan ini benar-benar ditujukan pada petani atau pemilik rumah yang mencoba mengendalikan penyakit tanpa benar-benar memahami patologi tanaman. Penyakit umumnya

diperburuk oleh overwatering dan overfertilization oleh tukang kebun yang bermaksud baik. Ahli patologi tanaman menyebut upaya untuk mengendalikan penyakit yang menghasilkan penyakit yang lebih buruk sebagai efek bumerang. Contoh klasik dari efek bumerang terjadi jika patogen yang ditanggung oleh tanah memulihkan kembali tanah yang difumigasi. Tanpa musuh alami untuk mengurangi penyebarannya, seringkali menjadi jauh lebih buruk daripada sebelum fumigasi. Perdagangan penyakit adalah istilah lain yang dihasilkan ketika satu penyakit dikendalikan tetapi yang lain diperburuk dengan pengobatan yang sama

http://ceventura.ucanr.edu/Environmental_Horticulture/Landscape/Problems/Pathology/

<http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=11417>

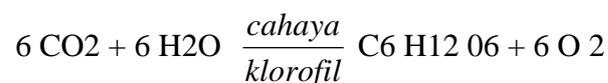
<https://www.elsevier.com/books/principles-of-plant-disease-management/fry/978-0-08-091830-3>

PENGARUH TERHADAP FOTOSINTESIS

Patogen dapat menyebabkan tanaman sakit sehingga menyebabkan terganggunya fungsi fisiologis tumbuhan menjadi tidak normal dan akan mempengaruhi terhadap proses fisiologis tumbuhan seperti translokasi hara, respirasi, fotosintesis serta transkripsi translasi.

Terganggunya proses fotosintesis pada pohon yang terserang patogen .

Fotosintesis merupakan proses satu-satunya sumber semua energi yang dapat dimanfaatkan oleh sel tumbuhan dan hewan.pada proses fotosintesis terjadi perubahan energy cahaya menjadi energy kimia. Proses fotosintesis adalah proses sintesa senyawa organik dari senyawa-senyawa anorganik biasanya berupa CO₂ dan H₂O dengan bantuan energi matahari dari sel-sel yang mengandung klorofil, dapat digambarkan sebagai berikut :



Karena pentingnya peranan fotosintesis dalam kehidupan tumbuhan, maka apabila ada serangan dari patogen pada tumbuhan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis dan tanaman akan menjadi sakit. Gangguan patogen terhadap proses fotosintesis jelas terlihat dari klorosis yang terjadi pada banyak tumbuhan yang terinfeksi, dari luka nekrotik atau nekrotik meluas yang dihasilkan patogen pada bagian tumbuhan hijau dan menurunnya pertumbuhan dan jumlah buah yang dihasilkan pada tumbuhan yang terinfeksi. Perubahan utama akibat terserang patogen pada fotosintesis tumbuhan adalah terjadi perubahan dan fungsi dan kloroplas yang tidak normal, dimana terjadinya degenerasi yang dapat menghambat perkembangan pada jaringan yang muda. Selain itu terjadinya reduksi dan rRNA yang menyebabkan terjadinya penurunan dan aktivitas ribosom. Adapun penyebab dan ketidaknormalan kloroplas ini diperkirakan karena adanya toksin yang dikeluarkan oleh patogen, selain itu toksin ini juga dapat menghambat proses fotosintesis dan menekan sintesis klorofil. Pada beberapa penyakit yang disebabkan oleh fungi dan bakteri fotosintesis menurun karena toksin yang dihasilkannya, seperti tentoksin dan tabtoksin yang dapat menghambat enzim yang terlibat baik secara langsung maupun secara tidak langsung dalam proses fotosintesis. Infeksi patogen yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada lubang stomata yang dapat mempengaruhi laju asimilasi, karena terhambatnya laju aliran CO₂. Adanya perubahan dalam fiksasi CO₂ akan menyebabkan terjadinya perubahan dalam aktivitas enzim-enzim yang berperan dalam proses fotosintesis dan menyebabkan terjadinya perubahan dalam metabolisme akumulasi asam amino dan asam organik dalam pelepasan gula dan gula posfat. Pada bercak daun, hawar, dan berbagai jenis penyakit lain yang menyebabkan kerusakan jaringan daun atau defoliasi (pengguguran daun) maka proses fotosintesis akan menurun, karena permukaan yang berfotosintesis pada tumbuhan menjadi berkurang.

Gangguan pathogen terhadap fotosintesis jelas terlihat dari klorosis yang terjadi pada banyak tumbuhan yang terinfeksi, dari luka nekrotik atau nekrotik meluas yang dihasilkan patogen pada bagian tumbuhan hijau, dan dari menurunnya pertumbuhan dan jumlah buah yang dihasilkan pada banyak tumbuhan yang terinfeksi. Pada bercak daun, hawar, dan berbagai jenis penyakit lain yang menyebabkan kerusakan jaringan daun atau defoliasi (pengguguran daun), maka proses fotosintesis akan menurun, karena permukaan yang berfotosintesis pada tumbuhan menjadi berkurang. Akan tetapi, bahkan pada penyakit yang lain, pathogen tumbuhan menurunkan fotosintesis, khususnya pada tingkat lanjut perkembangan penyakit, dengan mempengaruhi kloroplas dan menyebabkan kemunduran kloroplas. Secara keseluruhan, kandungan klorofil daun pada banyak jenis penyakit yang

disebabkan jamur dan bakteri akan menurun, tetapi aktivitas fotosintesis klorofil yang tidak terganggu tidak dipengaruhi. Pada beberapa penyakit yang disebabkan oleh jamur dan bakteri, fotosintesis menurun karena toksin yang dihasilkan, seperti teksin dan tabtoksin, dengan menghambat enzim yang terlibat baik secara langsung maupun secara tidak langsung dalam proses fotosintesis. Pada tumbuhan yang terinfeksi oleh banyak jenis pathogen vaskuler, stomata tetap tertutup sebagian, jumlah klorofil menurun, dan fotosintesis berhenti, bahkan sebelum tumbuhan tersebut layu secara keseluruhan. Sebagian penyakit disebabkan virus, mikoplasmadan nematode menyebabkan tingkat klorosis yang beragam. Pada sebagian besar penyakit tersebut, fotosintesis pada tumbuhan yang terinfeksi akan menurun tajam. Pada tingkat lanjut perkembangan penyakit, laju fotosintesis tidak sampai seperempat laju fotosintesis yang normal.

Selain pada daun pathogen yang menyerang bagian lain dari tumbuhan yaitu akar mempengaruhi sejumlah fungsi akar dan menurunkan penyerapan air. Pathogen pembuluh kayu juga menghambat translokasi air karena pembuluh disumbat oleh tubuh pathogen atau zat yang dihasilkan oleh pathogen atau inang akhirnya pembuluh mengecil dan pecah sehingga terbentuklah tilosa. Selain hal ini, banyak proses yang juga ikut terganggu seperti transpirasi dan translokasi unsur hara. Hal-hal yang dipengaruhi berhubungan dengan proses fotosintesis pada tanaman karena pada proses fotosintesis selain CO_2 diperlukan juga Air (H_2O). unsur hara sebenarnya tidak ikut terlibat di dalam proses fotosintesis namun menjadi penting karena unsur hara merupakan penunjang untuk menyediakan tempat bagi tanaman untuk melakukan fotosintesis contohnya N dan P. Nitrogen atau N merupakan penyusun asam amino, amida, purin, protrin, dan nucleoprotein. Sedangkan fosfor (P) merupakan komponen struktural dalam sejumlah senyawa, unsur ini bersifat mobile, molekul transfer ATP, ADP, NADP dan NADPH dan senyawa sistem informasi genetik DNA dan RNA. Ketika N mengalami defisiensi maka tanaman menjadi kerdil dan kuning sedangkan defisiensi P membuat tanaman daunnya menjadi berwarna hijau gelap dan kerdil hal ini berdampak pada hasil fotosintesis dan prosesnya

Terganggunya proses Respirasi Pada Tanaman Yang terserang Patogen

Respirasi merupakan suatu proses dimana sel mengalami oksidasi yang dikendalikan secara enzimatik terhadap karbohidrat dan asam lemak yang berenergi tinggi, membebaskan energy agar dapat digunakan untuk berlangsungnya berbagai proses seluler. Komplekskan respirasi dengan jumlah enzim yang terlibat dalam respirasi, kejadiannya didalam setiap sel, dan pengaruhnya yang luas terhadap fungsi dan keberadaan sel maka respirasi menjadi salah satu fungsi pertama yang dipengaruhi saat tanaman terinfeksi oleh pathogen. Pada saat

tanaman terserang oleh pathogen laju respirasinya meningkat itu berarti jaringan yang terserang pathogen menggunakan karbohidrat lebih cepat daripada jaringan yang sehat.

Peningkatan respirasi juga diikuti oleh peningkatan fermentasi secara luar biasa disbanding dengan yang terjadi pada tumbuhan sehat, mungkin akibat meningkatnya kebutuhan energy pada tanaman yang sakit arena berada ada keadaan aerob yang normal tidak dapat memenuhi kebutuhan energy yang dibutuhkan.

Adapun beberapa sebab peningkatan respirasi pada tanaman yang telah terserang parogen antara lain:

1. Tidak berpasangannya fosforilasi oksidatif
2. Sebagai akibat peningkatan metabolisme tanaman

Cabai merupakan salah satu contoh tanaman C3. Pada Fotosintesis ini sering disebut mekanisme C3, karena molekul yang pertama kali terbentuk setelah fiksasi karbon adalah molekul berkarbon 3,3-fosfoglisarat. Struktur kloroplas pada tanaman C3 homogen. Tanaman C3 mempunyai suatu peran penting dalam metabolisme dan mempunyai kemampuan fotorespirasi yang rendah karena tidak memerlukan energi untuk fiksasi sebelumnya.

Salah satu reaksi fotosintesis yaitu siklus Calvin memiliki Konsep Dasar dari pada tanaman C3 adalah CO₂ diikat oleh RUDP, kemudian dirubah menjadi senyawa organik C₆ yang tidak stabil, kemudian dirombak menjadi glukosa dengan menggunakan 12 NADPH dan 18 ATP. Siklus ini terjadi di kloroplas pada bagian stroma (Salisbury dan Ross, 1995). Budidaya tanaman cabai memiliki resiko tinggi akibat adanya serangan patogen yang dapat menyebabkan kegagalan panen.

Salah satu penyakit yang sering menyerang tanaman cabai adalah penyakit kuning yang disebabkan oleh virus Gemini. Gejala penyakit ini berupa daun menjadi berwarna kuning, kerdil dan menggulung ke atas (*cupping*). Serangga faktor yang menyebarkan virus tersebut yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci*). Setelah virus masuk dalam tanaman, maka virus akan mereplikasi dirinya sehingga jumlahnya meningkat. Selama berjalannya proses ini, tanaman mengalami peningkatan aktivitas protein yaitu protein *anaplerotik*, peningkatan laju fotosintesis dan peningkatan kandungan pati. Setelah laju replikasi menurun, maka laju fotosintesis juga akan menurun. Penurunan laju fotosintesis disebabkan oleh bentuk kloroplas

yang abnormal, dengan ukuran yang relatif lebih kecil dan jumlah tilakoid pada setiap grana yang menurun akibat infeksi virus.

Funayama dan Terashima (2006) menyebutkan bahwa tanaman yang terserang virus, maka terjadi penghambatan sintesis klorofil. Kerusakan utama akibat terserang virus pada tanaman adalah akumulasi klorofil, yang menyebabkan penurunan laju fotosintesis karena penurunan kemampuan mengabsorpsi cahaya. Klorosis pada daun tanaman yang terinfeksi terjadi karena pembentukan klorofil terhambat sehingga laju pembentukan klorofil sama atau lebih kecil dibandingkan dengan laju degradasi klorofil. Hal ini bisa terjadi karena ada dua hal, yaitu rasio klorofil a/b mengakibatkan dari laju pembentukan klorofil yang terhambat dan jumlah

membran tilakoid pada grana menurun sehingga terjadi defisiensi klorofil b yang mengakibatkan laju pembentukan klorofil terhambat. Cendawan

Fusarium oxysporum yang merupakan patogen penyebab penyakit layu, pada cabai rawit. Patogen ini dapat menyerang tanaman cabai rawit mulai dari masa perkecambahan sampai dewasa. Penyakit ini dapat menyebabkan kerugian dan gagal panen hingga 50%

Cendawan *Fusarium* spp. Akan membentuk polipeptida yang disebut likomarasmin, yaitu suatu toksin yang mengganggu permeabilitas membran plasma tanaman. Selain itu, *Fusarium* spp. Juga membentuk senyawa yang lebih sederhana, yaitu asam fusarat dan menghasilkan enzim pektolitik, terutama *pektinmetilesterase* (PME) yang berperan menghilangkan metil pada rantai pektin menjadi asam pektat dan *depolimerase* untuk memecah rantai asam pektat menjadi poligalakturonida dengan bermacam-macam berat molekul. Enzim-enzim tersebut memecah bahan pektin yang ada dalam dinding sel xilem. Fragmen-fragmen asam pektat masuk ke dalam pembuluh xilem kemudian membentuk massa koloidal yang mengandung bahan non-pektin yang dapat menyumbat pembuluh, sehingga akan mengganggu transportasi air untuk fotosintesis. Adanya perubahan warna pada berkas pembuluh menjadi coklat disebabkan oleh, fenol yang lepas dan masuk ke dalam berkas pembuluh, kemudian mengalami polimerisasi menjadi melanin yang berwarna coklat. Bahan warnai terutama di serap oleh pembuluh xilem yang berlignin yang menyebabkan warna khas yang coklat pada layu *Fusarium* di tanaman Cabai

Jamur tidak hanya menyerang daun tetapi juga menyerang tangkai, batang dan buah. Serangan patogen juga dapat menyebabkan daya tumbuh biji menjadi rendah, yaitu akibat dari infeksi jamur yang telah mengganggu proses fotosintesis. Proses fotosintesis abnormal menyebabkan pembentukan biji tidak optimal

sehingga berdampak menurunkan komponen produksi. Menurut Mignucci dan Boyer (1979), bahwa patogen pada tanaman dapat menghambat proses fotosintesis dan transpirasi. Penyakit pada cabai juga dapat disebabkan oleh bakteri, *Pseudomonas solanacearum* (E.F.) Sm

Bakteri ini biasanya menyerang tanaman cabai yang ditanam di dataran rendah, dibandingkan di dataran tinggi. Gejala serangan patogen yang terlihat adalah layu pada beberapa daun muda atau menguningnya daun tua. Gejala lain yang terlihat adalah berkas pembuluh pengangkut yang berwarna coklat tua. Munculnya Gejala serangannya yang mirip dengan gejala serangan layu fusarium, sehingga terkadang salah dalam hal identifikasi terhadap layu bakteri ini (BP4K, 2012). Serangga yang merupakan patogen dari tanaman cabai ini adalah *Empoasca terminalis*. Serangga ini dapat mengakibatkan daun mengeriting dan mengering. Kondisi ini disebut klorosis yang mengakibatkan terjadinya sintesis klorofil terhambat, sehingga dapat berdampak pada laju proses fotosintesis.

Patogen nematoda yang terdapat pada tanaman cabai adalah *Meloidogyne incognita*. Serangan nematoda ditandai dengan adanya bintil-bintil pada akar. Nematoda merupakan cacing tanah berukuran sangat kecil, hama ini merupakan cacing parasit penyerang bagian akar tanaman cabai, sehingga akan mengganggu penyerapan air yang merupakan salah satu bahan baku fotosintesis

Berdasarkan uraian sebelumnya, secara umum dapat dijelaskan bahwa perubahan utama akibat terserang patogen pada fotosintesis tumbuhan adalah terjadinya perubahan dan fungsi kloroplas tidak normal, yaitu terjadinya degenerasi yang dapat menghambat perkembangan jaringan muda. Selain itu juga terjadinya reduksi ini disebabkan penurunan aktivitas rRNA dan ribosom. Penyebab ketidak normalan kloroplas diperkirakan karena adanya toksin yang dikeluarkan oleh patogen, sehingga menghambat fosforilasi dan sintesis klorofil.

Sintesis Klorofil yang terhambat menyebabkan tanaman kekurangan klorofil dan mengakibatkan fotosintesis tidak berjalan dengan baik sehingga hasil yang dihasilkan tidak maksimal akibatnya tanaman semakin layu dan mati. Kematian ini berawal dari fotosintesis yang tidak maksimal dan akibat jaringan tanaman yang terinfeksi patogen menggunakan banyak karbohidrat dan energy untuk melakukan respirasi. Akibatnya kebutuhan tanaman berkurang karena telah diserap oleh patogen, Infeksi patogen dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada lubang stomata yang dapat mempengaruhi laju asimilasi karena terhambatnya laju aliran CO₂. Adanya perubahan pada fiksasi CO₂ akan menyebabkan terjadinya perubahan aktivitas enzim yang berperan dalam fotosintesis.

Masuknya Virus ke Dalam Tanaman

Salah satu faktor yang berperan sangat penting dalam epidemi penyakit kuning cabai yang diakibatkan oleh virus ini adalah keberadaan serangga vektor yang menyebarkan virus tersebut yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci*). Serangga ini termasuk ke dalam kelompok serangga penusuk penghisap. Kutu kebul memiliki hubungan dengan virus kuning cabai ini yang bersifat persisten. Kutu memperoleh virus ketika dia mengambil makanan dari tanaman yang telah terinfeksi (akuisisi). Adanya Virus yang diambil dari tanaman sakit ini dapat beredar melalui saluran pencernaan, menembus dinding usus, bersirkulasi dalam cairan tubuh yang ada di dalam serangga (haemolymph) dan selanjutnya kelenjar saliva. Pada saat dia menghisap makanan dari tanaman sehat, virus ikut masuk ke dalam tubuh tanaman bersama dengan cairan dari mulut serangga tersebut. Virus memiliki retensi di dalam tubuh serangga sangatlah lama sehingga bisa dipindahkan secara transovarial melalui telur ke tubuh progeni. Penelitian yang dilakukan oleh Seravina (2005) menunjukkan bahwa aktivitas kutu kebul masih rendah pada awal setelah pindah tanam. Aktivitasnya akan mulai naik pada 59-65 hari setelah tanaman pindah tanam (5 minggu setelah pindah tanam). Persentase tanaman terinfeksi 6 minggu setelah pindah tanam baru mencapai 5%, sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nur Aeni (2007). Aktivitas kutu kebul baru akan meningkat setelah tanaman mulai berbunga hingga pada awal pengisian buah. Meningkatnya aktivitas vektor tersebut karena meningkatnya jumlah makanan yang tersedia (Hirano et al., 1993). Virus yang ditularkan oleh kutu kebul bereplikasi di dalam nukleus dan bergerak dari sel ke sel melalui plasmodesmata. Pada gambar 1 terlihat bahwa tidak hanya virion dari hasil replikasi yang bergerak dari sel ke sel dan masuk ke dalam floem, namun juga coat protein (CP) dan movement protein (MP) berperan dalam proses penyebaran virus ke dalam tubuh tanaman. Ada beberapa protein yang bergerak yaitu movement protein dan Coat protein, protein ini bergerak melalui RE (retikulum endoplasma) menuju ke viral assembly site (VAS) sebelum masuk ke dalam floem dan bergerak bersama-sama di dalam floem ke seluruh tubuh tumbuhan.

Meskipun demikian, banyak tanaman yang gagal diinfeksi oleh virus. Menurut Dawson, W. (1999) untuk dapat menginfeksi tanaman secara sistematis, virus harus dapat :

- (1) masuk ke dalam jaringan yang sesuai;
- (2) melakukan replikasi;
- (3) bergerak ke sel-sel terdekat/sel tetangga;
- (4) memasuki sel tersebut;
- (5) dapat pindah ke dalam floem dan kemudian mengulangi langkah (2) dan (3).

Dari uraian di atas dapat kita lihat bahwa biasanya fase pertama adalah infeksi lokal pada daun dewasa yang terjadi setelah inokulasi yang dilakukan oleh serangga. Namun tidak semua daun dapat memperlihatkan gejala terinfeksi seperti daun menjadi berubah berwarna kuning, karena munculnya gejala sangat dipengaruhi oleh strain virus dan faktor lingkungan lain seperti suhu lingkungan. Dari Hasil Penelitian yang dilakukan, menunjukkan bahwa adanya perubahan warna daun yang hanya akan terjadi jika suhu lingkungan berada di atas 25°C dan intensitasnya akan meningkat apabila suhu lingkungan mencapai 40°C. Fase selanjutnya adalah virus bergerak dari sel ke sel yang lain hingga mencapai floem melalui vascular system, sehingga dapat bergerak cepat ke dalam daun-daun muda yang masih berkembang. Di sinilah biasanya gejala daun berubah menjadi kuning, mengeriting dan menjadi kerdil akan tampak, sehingga penyakit kuning cabai ini sering juga disebut sebagai jambul amerika karena yang menguning hanya daun bagian atas atau daun muda saja.

Proses Fisiologi yang Terganggu

Setelah virus masuk ke dalam tanaman, maka hal pertama yang akan dia lakukan adalah mereplikasi dirinya sehingga jumlah mereka mencukupi untuk menguasai tubuh tanaman. Menurut Te'csi, et al. (1996) virus yang telah masuk ke dalam tubuh tanaman akan melakukan replikasi dan pembentukan protein virus. Pada saat proses ini terjadi, tanaman tersebut akan mengalami peningkatan aktivitas protein anaplerotik, peningkatan laju fotosintesis dan peningkatan kandungan pati. Setelah laju replikasi menurun maka laju fotosintesis pun juga akan ikut menurun.

Virus yang menginfeksi tanaman tersebut akan melakukan replikasi sehingga mengakibatkan peningkatan aktivitas enzim anaplerotik, laju fotosintesis dan kandungan pati. Menurunnya sintesis protein menyebabkan, laju fotosintesis dan kandungan pati dalam daun juga akan menurun, sedangkan glikolisis dan respirasi dalam mitokondria akan meningkat. Perubahan ini ditunjukkan dengan terjadinya klorosis pada daun (Funayama dan Terashima, 2006).

Adapun proses pathogen menginfeksi tumbuhan yaitu

1. Inokulasi

Adanya kontak antara pathogen dengan tumbuhan biasa sering disebut inoculum.

2. Penetrasi

Pathogen masuk ke dalam bagian tumbuhan biasanya melalui luka yang ada pada tubuh tumbuhan atau melalui lubang-lubang alami.

3. Infeksi

Pathogen melakukan kontak dengan sel atau jaringan tumbuhan ,jika berhasil biasanya tanaman akan menimbulkan gejala baik perubahan warna atau perubahan bentuk.

4. Invasi

Pathogen masuk kedalam sel dan menyerang sel lainnya

5. Reproduksi

Pathogen berkembang di dalam sel dan merusak jaringan lainnya untuk memenuhi kebutuhan pathogen.

Klorofil Daun

Diantara patogen tanaman, virus tanaman memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap tanaman inangnya, karena mereka menggunakan mesin seluler inang untuk mereplikasi diri. Walaupun virus menyerang tanaman tetapi virus harus tetap mempertahankan tanaman inang agar bisa tetap hidup, karena mereka membutuhkan energi dari tanaman inang untuk proses hidupnya. Virus berlaku sebagai penambang yang baik pada tanaman inang. Resistensi tanaman, serta jenis infeksi yang lokal atau sistemik merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi virus memanfaatkan tanaman inangnya (Funayama dan Terashima, 2006).

Kloroplas merupakan organel utama yang akan diserang oleh virus tumbuhan. Bentuk kloroplas yang abnormal mengakibatkan penurunan laju fotosintesis, dengan ukuran yang relatif lebih kecil dan jumlah tilakoid pada setiap grana yang menurun akibat infeksi virus. Hasil penelitian Funayama dan Terashima (2006) menyebutkan bahwa apabila tanaman terserangi virus maka peningkatan kandungan klorofil setiap satuan daun akan terhenti ketika panjang daun mencapai setengah dari panjang daun maksimum, Klorosis atau warna daun menguning pada tanaman yang terserang ini terjadi karena beberapa sebab. Menurut Funayama dan Terashima (2006) klorosis pada daun tanaman yang terinfeksi terjadi karena pembentukan pada klorofil terhambat sehingga laju pembentukan klorofil sama atau lebih kecil dibandingkan dengan laju degradasi klorofil. Hal ini terjadi karena dua hal, yaitu rasio klorofil a/b meningkat akibat dari laju pembentukan klorofil yang terhambat dan jumlah membran tilakoid pada grana menurun sehingga terjadi defisiensi klorofil b yang mengakibatkan laju pembentukan klorofil terhambat. Nur Aeni (2007) melihat perbedaan kandungan klorofil a, klorofil b, rasio klorofil a/b dan klorofil total pada daun kuning dan daun hijau tanaman yang terinfeksi virus kuning cabai dengan perlakuan pupuk daun dan pupuk anorganik. Dalam penelitian ini terlihat bahwa klorofil a pada daun hijau dari tanaman terinfeksi yang diberi perlakuan pupuk daun jumlahnya lebih tinggi dibandingkan dengan

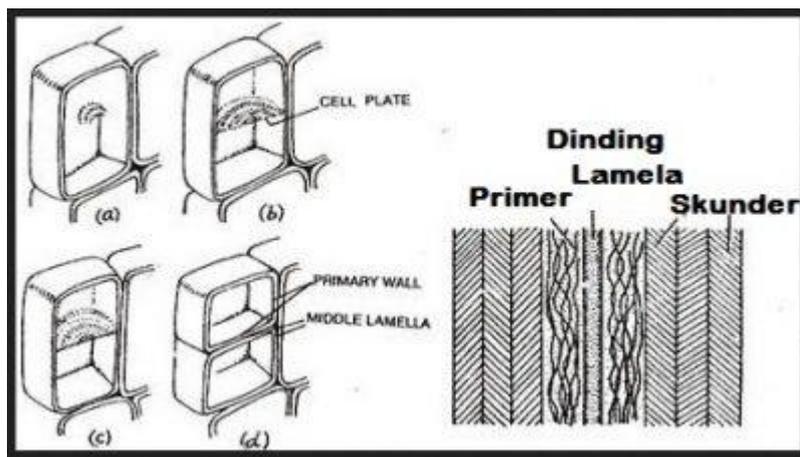
tanaman yang tidak tidak diberi pupuk daun. Sedangkan pada daun kuning, kandungan klorofil b pada tanaman yang tidak diberi pupuk daun lebih rendah dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi perlakuan pupuk daun. Secara keseluruhan klorofil total pada daun hijau lebih besar daripada klorofil total pada daun kuning. Terhambatnya pembentukan klorofil pada daun mengakibatkan akumulasi gula sehingga daun mengalami klorosis. Pada daun tanaman yang terinfeksi juga terjadi akumulasi karbohidrat . Kandungan nitrogen daun pada tanaman terinfeksi lebih rendah dibandingkan dengan daun tanaman yang tidak terinfeksi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena tanaman yang terinfeksi virus lebih banyak mengalokasikan nitrogen untuk bertahan dan replikasi virus dalam tubuh tanaman. Apabila jumlah nitrogen dalam daun rendah dan tanaman terkena cahaya matahari dengan intensitas tinggi maka daun akan mengalami penurunan protein klorofil daun (Funayama dan Terashima, 2006).

Mekanisme Penggunaan Enzim Pektinase Dan Selulase Oleh Patogen Dalam Merusak Dinding Sel

Mekanisme penggunaan enzim pektinase

Zat pektik adalah komponen penyusun utama lamela tengah, yaitu semen interseluler yang menempatkan sel-sel pada jaringan tumbuhan.. Skema yang mewakili struktur dan komposisi dinding sel Zat pektik adalah polisakarida yang terdiri dari molekul galakturonan yang diselingi dengan sejumlah kecil molekul rhamnosa dan rantai galakturonan samping sedikit dan beberapa gula

lainnya.



Skema yang mewakili struktur dan komposisi dinding sel

Sumber: <https://www.sridianti.com/bagian-bagian-dinding-sel-tumbuhan-dan-komposisi-kimianya.html>

Beberapa enzim telah diketahui sebagai pektinase atau enzim pektolitik yang menguraikan zat pektik. Zat pektik adalah polisakarida yang terdiri dari molekul galakturonan yang diselingi dengan sejumlah kecil molekul rhamnosa dan rantai galakturonan samping sedikit dan beberapa gula lainnya. Beberapa enzim telah diketahui sebagai pektinase atau enzim pektolitik yang menguraikan zat pektik. Beberapa pektin metil esterase membuang cabang-cabang kecil rantai pektin dan tidak mempunyai pengaruh terhadap panjang rantai pektin, tetapi enzim tersebut merubah daya larut pektin dan mempengaruhi laju penyerangan yang disebabkan oleh chainsplitting pectinase (enzim yang dapat memotong rantai pektik). Chain-splitting pectinase memotong rantai pektin dan melepaskan bagian rantai yang lebih pendek yang mengandung satu atau beberapa molekul galakturonan. Beberapa chain-splitting pectinase (poligalakturonase) memotong rantai pektik dengan menambah satu molekul air dan memutuskan (menghidrolisis) sambungan antara dua molekul galakturonan enzim yang lain (pektin liase atau transeliminase) memotong rantai tersebut dengan membuang satu molekul air dari sambungan dan dengan demikian memutuskan rantai pektik yang melepaskan hasil ikatan rangkap yang tidak jenuh.

Masing-masing enzim tersebut terdapat dalam bentuk yang dapat memotong rantai pektik pada sembarang tempat (endopektinase) dan melepaskan rantai yang lebih pendek atau hanya dapat memutuskan hubungan ujung rantai (ekso-pektinase) dan melepaskan unit galakturonan tunggal.

Patogen menghasilkan enzim pektolitik dalam jumlah yang paling rendah pada tempat yang terdapat pektin, dan pektin tersebut dilepaskan sejumlah kecil monomer atau oligomer galakturonan. Molekul-molekul tersebut apabila diserap oleh patogen, berperan sebagai pengimbas (inducer) untuk meningkatkan sintesis dan melepaskan enzim-enzim pektolitik (autocatalytic induction), yang selanjutnya meningkatkan monomer galakturonan. Monomer galakturonan dengan mudah diasimilasi oleh patogen, tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi molekul galakturonan menekan enzim yang sama (catabolite repression).

Enzim-enzim yang merombak pektin terlibat dalam menyebabkan banyak penyakit, terutama penyakit-penyakit penyebab jaringan busuk lunak. Perombakan pektin menghasilkan kumpulan cairan zat pektik yang menyatukan sel-sel tumbuhan bersamaan dengan melemahnya dinding sel, mendorong maserasi jaringan (jaringan tumbuhan menjadi lunak dan longgar serta terpisahnya sel-sel, dan akhirnya mati). Melunaknya dinding sel dan terjadinya maserasi jaringan tidak diragukan lagi memberi peluang terjadinya penyerangan secara inter atau intra seluler oleh patogen. Enzim pektik juga menyediakan makanan bagi patogen pada jaringan yang terinfeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanti, N. A. 2007. Mekanisme infeksi virus kuning cabai (Pepper Yellow Leaf Curl Virus) dan pengaruhnya terhadap proses fisiologi Tanaman Cabai. Seminar Nasional IVIII Biologi. 467-471
- Agrios. 1996. Ilmu Penyakit Tumbuhan (Terjemahan Munzir Busnia). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Fumayan. S. and terashima, I. 2006. effect of eupatorium yellow vein virus infection on photosynthesis rate. Chlorophyll content and chloroplast structure in leaves of eupatorium makinoi during leaf development *functional plant biology*. P.165-17
- Gander, F.P., R.B. Pearce, R.L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (terjemahan Herwati Susilo). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Salisbury, F.B. dan Ross, C.W., 1995. Fisiologi Tumbuhan Jilid 2. ITB. Bandung.
- Sastrhidayat, I.R. 1992. Ilmu Penyakit Tumbuhan. Seri Umum Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- Triharso. 1994. Dasar-dasar Perlindungan Tanaman. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Yunasfi. 2008. Serangan Patogen dan Gangguan Terhadap Proses Fisiologis Pohon. Universitas Sumatra Utara Repository. Sumatra Utara

“GENETIKA PENYAKIT TANAMAN”

A. Pendahuluan

Informasi genetik semua organisme, adalah informasi yang menentukan apa yang dapat dilakukan oleh suatu organisme, diberi kode atau tanda dalam asam nukleat (DNA) deoksiribosa. Pada virus RNA itu diberikan kode atau dalam asam nukleat ribosa (RNA). Pada semua organisme, sebagian besar DNA ada dalam kromosom. Banyak prokariot dan beberapa eukariot bagian bawah juga membawa molekul DNA sirkular yang lebih kecil yang disebut plasmid dalam sitoplasma. DNA plasmid juga membawa informasi genetik tetapi berkembang biak dan bergerak secara independen dari DNA kromosom. Selanjutnya, semua sel organisme eukariotik membawa DNA dalam mitokondria mereka. Informasi genetik dalam DNA dikodekan secara linier dalam urutan empat basa (A, adenin; C, sitosin; G, guanin; dan T, timin). Gen adalah bentangan molekul DNA, biasanya sekitar 100 hingga 500 atau lebih kembar tiga yang berdekatan, kode-kode untuk satu molekul protein atau, dalam

beberapa kasus, satu molekul RNA. Dalam eukariot daerah pengkodean gen sering terganggu oleh bentangan DNA yang bukan kode yang disebut intron. Kode gen berbeda untuk protein berbeda. Beberapa protein adalah bagian dari struktur membran sel, tetapi sebagian besar bertindak sebagai enzim. Protein memberi sel dan organisme dari sifat khususnya seperti bentuk, ukuran, dan warna; menentukan jenis zat kimia apa yang diproduksi oleh sel dan mengatur semua aktivitas sel dan organisme. Tentu saja tidak semua gen dalam sel diekspresikan setiap saat karena berbagai jenis sel pada waktu yang berbeda memiliki fungsi dan kebutuhan yang berbeda. Gen ketika mereka dinyalakan atau dimatikan dan untuk berapa lama mereka tinggal semua diatur oleh rentang DNA tambahan yang disebut promoter, enhancer, peredam suara, atau terminator. Ini bertindak sebagai sinyal bagi gen untuk diekspresikan atau untuk berhenti diekspresikan atau mereka bertindak sebagai sinyal untuk produksi RNA dan protein yang mereka sendiri bertindak sebagai penginduksi, promotor, dan peningkat ekspresi gen atau sebagai penekan dan terminator ekspresi gen. Dalam banyak kasus interaksi host-patogen, gen dalam satu organisme dipicu untuk diekspresikan oleh suatu zat yang dihasilkan oleh organisme lain. Sebagai contoh, gen untuk enzim pendegradasi dinding sel dalam patogen tampaknya diinduksi oleh adanya monomer atau oligomer makromolekul dinding sel inang yang merupakan substrat untuk enzim ini. Gen juga untuk reaksi pertahanan dalam inang, misalnya produksi phytoalexins, tampaknya dipicu oleh ekspresi oleh senyawa sinyal tertentu yang diaktifkan oleh molekul penginduksi (pemilih) yang dihasilkan oleh patogen.

Genetika dan Penyakit

Ketika tanaman yang berbeda, seperti tomat, apel, atau gandum, menjadi sakit karena infeksi oleh patogen, patogen umumnya berbeda untuk setiap jenis tanaman inang. Selain itu, patogen seringkali spesifik untuk patogen tertentu. Dengan demikian jamur *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* yang menyebabkan layu tomat, hanya menyerang tomat dan sama sekali tidak berpengaruh pada tanaman inang tertentu misalnya pada apel, gandum, atau tanaman lainnya. Demikian pula, jamur *Venturia inaequalis* yang menyebabkan keropeng apel, sedangkan jamur *Puccinia graminis f. sp. tritici* yang menyebabkan karat pada batang gandum. Apa yang memungkinkan pengembangan penyakit pada inang adalah adanya patogen dari satu atau morgena untuk patogenisitas, spesifisitas, dan virulensi terhadap inang tertentu. Gen untuk virulensi dalam patogen biasanya spesifik untuk satu atau beberapa jenis tanaman terkait yang merupakan inang bagi patogen. Juga, gen dan kombinasi gen yang membuat tanaman rentan, yaitu inang bagi patogen tertentu, hanya ada dalam satu jenis tanaman dan mungkin beberapa jenis tanaman terkait. Tentu saja beberapa patogen mampu menyerang banyak jenis, kadang-kadang ratusan tanaman inang. Patogen semacam itu

cenderung nekrotrof dan dapat menyerang banyak inang tampaknya karena mereka memiliki banyak gen yang beragam untuk virulensi atau lebih, mungkin karena gen virulensi mereka entah bagaimana memiliki kekhususan tanaman yang jauh lebih sedikit daripada spesimen patogen yang umumnya lebih khusus. Meskipun banyak patogen yang dapat menginfeksi mereka, kadang-kadang beberapa dan beberapa kali jumlah individu dari satu spesies tanaman seperti jagung, gandum, atau kedelai, bertahan hidup di tanah yang luas dari tahun ke tahun. Mengapa semua tanaman tidak diserang oleh patogen dan mengapa mereka yang diserang biasanya tidak dibunuh oleh patogen? Jawabannya kompleks, tetapi pada dasarnya hal itu terjadi karena tanaman melalui evolusi atau melalui pemuliaan sistematis, telah memperoleh gen yang membuatnya rentan terhadap patogen, satu atau biasanya banyak gen untuk resistensi yang melindungi tanaman dari infeksi atau dari penyakit parah. Ketika gen baru untuk resistensi terhadap patogen muncul atau dimasukkan ke dalam tanaman, tanaman menjadi resisten terhadap semua atau sebagian besar individu patogen yang sudah ada sebelumnya. Patogen semacam itu mengandung satu dan biasanya lebih dari satu gen untuk virulensi, tetapi jika mereka tidak mengandung gen baru untuk virulensi yang diperlukan untuk mengatasi efek gen resistensi baru pada tanaman mereka tidak dapat menginfeksi tanaman.

B. Variabilitas Dalam Organisme

Salah satu aspek biologi yang paling dinamis dan signifikan adalah bahwa karakteristik individu dalam suatu spesies tidak "tetap", yaitu mereka tidak identik tetapi berbeda dari satu individu ke individu lainnya. Faktanya, semua individu yang dihasilkan sebagai hasil dari proses seksual, seperti anak-anak dari satu keluarga, diharapkan berbeda satu sama lain dan dari orang tua mereka dalam sejumlah karakteristik, walaupun mereka mempertahankan sebagian besar kesamaan dengan mereka dan milik spesies yang sama. Ketika individu diproduksi secara aseksual, frekuensi dan derajat variabilitas di antara keturunan berkurang, tetapi bahkan kemudian individu-individu tertentu di antara keturunan akan menunjukkan karakteristik yang berbeda. Karena jumlah astronomi individu yang diproduksi oleh mikroorganisme secara aseksual, jumlah total variabilitas yang dihasilkan oleh setidaknya beberapa mikroorganisme mungkin sama besar dan mungkin lebih besar daripada total variabilitas yang ditemukan dalam mikroorganisme yang bereproduksi secara seksual. Ini adalah kasus dalam reproduksi jamur yang sangat aseksual melalui konidia, zoospora, sklerotia, dan uredospora, dan pada bakteri, molusute, dan virus.

Mekanisme Variabilitas

Pada tanaman inang dan patogen, seperti jamur, tanaman parasit yang lebih tinggi, dan nematoda, yang dapat, dan biasanya dilakukan, bereproduksi melalui proses seksual, variasi dalam keturunan diperkenalkan terutama melalui segregasi dan rekombinasi gen. selama divisi meiotik dari zygote. Bakteri juga, dan bahkan virus, menunjukkan variasi yang tampaknya merupakan hasil dari proses seksual. Dalam banyak jamur, heteroploid dan proses parasexual tertentu menyebabkan variasi. Namun, semua tanaman dan semua patogen, terutama bakteri, virus, dan jamur, dan mungkin mollicutes, dapat dan memang menghasilkan varian melalui mutasi tanpa adanya proses seksual.

Mekanisme Umum Variabilitas

Dua mekanisme variabilitas, yaitu mutasi dan rekombinasi, terjadi pada tanaman dan patogen. :

- Mutasi

Mutasi adalah perubahan yang kurang lebih tiba-tiba dalam materi genetik suatu organisme yang kemudian ditransmisikan secara turun-temurun kepada keturunannya. Mutasi mewakili perubahan dalam urutan basa dalam DNA baik melalui substitusi satu basa ke basa lain atau melalui penambahan atau penghapusan satu atau banyak pasangan basa. Perubahan tambahan dapat dilakukan dengan memperbesar segmen DNA tertentu ke banyak salinan dengan penyisipan atau eksisi elemen transposable, yaitu segmen DNA yang dapat dipindahkan ke dalam pengkodean atau urutan pengaturan gen dan dengan inversi segmen DNA. Rata-rata satu mutasi terjadi untuk setiap juta salinan gen per generasi. Karena genom jamur rata-rata terdiri dari sekitar 10.000 gen, satu sel dalam seratus bisa menjadi mutan atau dinyatakan berbeda, ada banyak mutan di setiap koloni jamur atau bakteri dll. Mutasi terjadi secara spontan di semua organisme hidup yang hanya menghasilkan secara seksual atau hanya secara seksual. Mutasi pada organisme bersel tunggal seperti bakteri, pada jamur dengan miselium haploid, dan pada virus, dapat diekspresikan segera setelah kejadiannya. Namun, kebanyakan mutasi biasanya bersifat resesif oleh karena itu, pada organisme diploid atau dikariotik, mutasi dapat tetap tidak diekspresikan sampai mereka disatukan dalam kondisi homozigot. Mutasi untuk virulensi mungkin terjadi tidak lebih sering daripada mutasi untuk karakteristik warisan lainnya, tetapi mengingat jumlah besar keturunan yang dihasilkan oleh patogen kemungkinan besar jumlah mutan yang berbeda dalam virulensi dari orang tua mereka diproduksi di alam setiap tahun.

- Rekombinasi

Rekombinasi terjadi terutama selama reproduksi seksual tanaman, jamur, dan nematoda setiap kali dua inti haploid yang mengandung bahan genetik yang mungkin berbeda di banyak lokus, bersatu untuk membentuk inti diploid yang disebut zigot. Zigot cepat atau lambat membelah secara meiotik dan menghasilkan sel-sel haploid baru (gamet, spora, miselium). Rekombinasi faktor genetik (gen yang berbeda atau alel dari gen yang sama) terjadi selama pembelahan meiotik zigot sebagai akibat dari persilangan genetik di mana bagian kromatid (dan gen yang mereka bawa) dari satu kromosom pasangan dipertukarkan dengan bagian kromatid dari kromosom pasangan lainnya. Rekombinasi gen dari dua nukleus induk terjadi di zigot dan nukleus haploid atau gamet akhirnya dihasilkan setelah meiosis berbeda baik dari gamet yang menghasilkan zigot dan dari satu sama lain. Seiring waktu, suatu organisme dapat mengakumulasi beberapa alel gen yang mengkode bentuk enzim yang sedikit berbeda yang disebut isozim.

C. Tahapan Variasi Dalam Tanaman

Total populasi organisme tertentu di bumi, misalnya, patogen jamur, memiliki karakteristik morfologi dan fenotipik tertentu yang sama dan membentuk spesies patogen, seperti *Puccinia graminis* penyebab karat batang sereal. Namun, beberapa individu dari spesies ini hanya menyerang gandum, dan individu-individu ini membentuk kelompok yang disebut varietas atau bentuk khusus (*formae specialis*) seperti *P. graminis f. sp. tritici* atau *P. graminis tritici*, *P. graminis hordei*, dan *P. graminis avenae*. Meskipun dalam setiap bentuk khusus beberapa individu menyerang beberapa varietas tanaman inang tetapi tidak yang lain, beberapa menyerang varietas tanaman inang lainnya dan seterusnya, dengan masing-masing kelompok individu tersebut membentuk ras. Dengan demikian ada lebih dari 200 ras *P. graminis tritici* (ras 1, ras 15, ras 59 dan sebagainya). Kadang-kadang, salah satu keturunan ras tiba-tiba dapat menyerang varietas atau menyebabkan gejala parah pada varietas yang hampir tidak dapat menginfeksi sebelumnya. Individu ini disebut varian. Individu identik yang diproduksi secara aseksual oleh varian membuat biotipe. Setiap ras terdiri dari satu atau beberapa biotipe. Munculnya biotipe patogen baru mungkin sangat dramatis ketika perubahan melibatkan kisaran inang patogen. Jika varian tersebut kehilangan kemampuan untuk menginfeksi varietas tanaman yang banyak dibudidayakan, patogen ini kehilangan kemampuannya untuk mencari penghidupan bagi dirinya sendiri dan akan mati tanpa membuat keberadaannya diketahui oleh kita. Namun, jika perubahan varian patogen memungkinkannya menginfeksi varietas tanaman yang dibudidayakan karena ketahanannya terhadap ras atau strain orang tua, varian individu menjadi satu-satunya yang dapat bertahan hidup pada varietas tanaman ini, tumbuh dan berlipat ganda pada varietas tersebut. varietas

baru tanpa kompetisi apa pun dan segera menghasilkan populasi besar yang menyebar dan menghancurkan varietas yang tahan sebelumnya. Ini adalah cara resistensi dari varietas tanaman dikatakan "dipecah," meskipun itu adalah perubahan patogen bukan tanaman inang yang menyebabkannya.

D. Jenis Ketahanan Tumbuhan Terhadap Patogen

Ketahanan terhadap hama tergantung stadia dan populasi hama yang menyerangnya. Demikian juga dengan populasi yang sama ketahanan padi saat pesemaian, anakan maksimum, premordia, berbunga, pengisian bulir, dan pematangan sangat berbeda. Ketahanan padi terhadap hama yang diterakan dalam deskripsi varietas adalah ketahanan relatif dan bukan absolut. Ketahanan yang dimaksud merupakan ketahanan yang relatif atau tidak permanen jika populasi hama atau jumlah hama berada pada ambang kerusakan maupun ambang ekonomi. Tanaman imun tidak akan menjadi tanaman inang bagi pemakan tumbuhan (herbivora) dan biasanya berada di luar kisaran tanaman inang untuk serangga. Resistensi tanaman dapat digolongkan menjadi 2, yaitu :

- Resistensi statis

Ialah suatu sistem pertahanan bawaan dalam tanaman sebelum terjadinya serangan dari patogen. Resistensi statis yang dimiliki tanaman diantaranya meliputi: kekuatan permukaan tanaman (ketebalan kutikula), halangan stomata (membuka dan menutupnya stomata), keberadaan senyawa-senyawa anti mikroba yang dimiliki tanaman.

- Resistensi dinamis

Merupakan sistem pertahanan tanaman setelah adanya serangan dari patogen, misalnya : Pembentukan lapisan papilla yang dapat menghambat perkembangan pathogen tanaman, Pembentukan lapisan imbibisi yang dapat menghambat perkembangan dari pathogen tanaman, Peningkatan senyawa anti mikroba, Mematikan sel yang terserang oleh pathogen tanaman.

Perlawanan Benar atau Tahan (RESISTENSI)

Pengertian tanaman tahan atau resisten terhadap OPT (Organisme Pengganggu Tanaman) yang disampaikan para ahli beragam sesuai sudut pandang mereka, antara lain: Painter (1951) menyatakan resistensi tanaman merupakan sifat-sifat tanaman yang diturunkan dan dapat mempengaruhi tingkat kerusakan oleh OPT. Beck (1965) menyatakan bahwa resistensi tanaman adalah semua ciri dan sifat tanaman yang memungkinkan tanaman terhindar dari patogen, mempunyai daya tahan atau daya sembuh yang kuat dalam kondisi

yang dapat membuat kerusakan lebih besar pada tanaman lain dari spesies yang sama. Teetes (1996) menjelaskan bahwa dalam pertanian, ketahanan tanaman ialah kemampuan tanaman untuk tumbuh atau berproduksi lebih baik dibandingkan tanaman lain dengan tingkat populasi hama yang sama.

Suatu varietas tanaman dapat disebut tahan apabila : Memiliki sifat-sifat yang memungkinkan tanaman itu menghindar, atau pulih kembali dari serangan hama pada keadaan yang akan mengakibatkan kerusakan pada varietas lain yang tidak tahan, memiliki sifat-sifat genetik yang dapat mengurangi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh serangan hama, memiliki sekumpulan sifat yang dapat diwariskan, yang dapat mengurangi kemungkinan hama untuk menggunakan tanaman tersebut sebagai inang, atau, mampu menghasilkan produk yang lebih banyak dan lebih baik dibandingkan dengan varietas lain pada tingkat populasi hama yang sama (Sumarno, 1992).

Painter (1951) membagi mekanisme resistensi tanaman terhadap serangan hama ke dalam 3 bentuk, yaitu: Ketidaksukaan (non preferences), Antibiotis, Toleran Sifat-sifat Resistensi Tanaman. Ketahanan tanaman inang terhadap hama dapat bersifat : Genetik, yaitu sifat tahan yang diatur oleh sifat-sifat genetik yang dapat diwariskan, Berdasarkan susunan dan sifat-sifat gen, ketahanan genetik dapat dibedakan menjadi : Monogenik, Oligogenik, Polygenik. Ketahanan genetik dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu: ketahanan vertikal, ketahanan horizontal atau ketahanan umum, ketahanan ganda. Dan yang kedua ialah morfologi, yaitu sifat tahan yang disebabkan oleh sifat morfologi tanaman yang tidak menguntungkan hama. Dan yang ketiga yaitu ekologi, yaitu ketahanan tanaman yang disebabkan oleh pengaruh faktor lingkungan. Ada 3 bentuk ketahanan ekologi yaitu; pengelakan inang (Escape), ketahanan dorongan, ketahanan karena luput dari serangan hama.

Perlawanan Sejatih

Perlawanan sejatih ini meliputi sebagai berikut:

1). Ketahanan Genetik

Faktor yang menentukan ketahanan tanaman inang terhadap serangan dari struktur tanaman, allelokimia, dan nutrisi yang tidak seimbang. Kualitas ketahanan adalah sifat yang diwariskan oleh induknya yang bekerja cenderung memberikan tidak kecocokan tanaman untuk digunakan pada serangan. Mekanisme ketahanan disebabkan terdapatnya non preferensi, antibiosis, dan tolerance (Painter, 1951).

2). Antixenosis

Antixenosis adalah bekerjanya mekanisme ketahanan oleh tanaman untuk menjerakan atau mereduksi kolonisasi oleh serangga. Akan tetapi disebabkan sifat tertentu, tanaman tidak dapat digunakan karena ada sifat penjerakan bagi serangga. Tanaman yang ketahanan memiliki sifat antixenosis dapat mengurangi jumlah awal koloni serangga pada satu musim, demikian juga ukuran populasi dapat direduksi pada tiap-tiap generasi dibanding tanaman yang rentan.

3). Antibiosis

Antibiosis ialah mekanisme ketahanan yang mampu bekerja setelah serangga berkolonisasi yang telah mulai menggunakan tanaman untuk kehidupannya. Bila satu serangga makan pada tanaman yang mempunyai antibiotik maka tanaman tersebut dapat mempengaruhi serangga dalam hal pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan kelangsungan hidup. Pengaruh antibiotik dapat menghasilkan pengurangan berat serangga, mengurangi proses metabolisme, meningkatkan kegelisahan (restlessness), banyaknya larva atau serangga pradewasa yang mati. Secara tidak langsung, antibiosis mampu meningkatkan penyingkapan (exposure) terhadap serangga untuk lebih mudah ditemukan oleh musuh alaminya. Tanaman yang memperlihatkan antibiosis dapat mereduksi laju peningkatan populasi dengan mengurangi laju reproduksi dan kelangsungan hidup serangga (Panda dan Khush, 1995).

4). Toleran

Toleran adalah sifat genetik dari tanaman yang dapat melindungi diri dari serangan populasi serangga, sehingga tidak ada kehilangan hasil secara ekonomi atau hasil yang dicapai memberikan kualitas yang dapat diperdagangkan. Toleransi sering keliru dengan ketahanan rendah atau ketahanan sedang (moderate). Mekanisme toleran berbeda dari antixenosis dan antibiosis. Tanaman yang toleran dapat menguntungkan karena tidak berpengaruh terhadap adanya hama, dan dapat meningkatkan ambang ekonomi, yaitu jika ambang ekonomi suatu varietas tanaman ditentukan sebagai A ekor serangga perumpun, maka ambang ekonomi pada varietas toleran adalah $(A + x)$ ekor serangga perumpun. Toleran adalah mekanisme adaptasi untuk kelangsungan hidup tanaman dan sedikit banyak bebas dari pengaruh serangga.

5). Ketahanan Ekologi (Ecological resistance)

Ketahanan ekologi telah dikategorikan sebagai ketahanan semu (pseudoresistance) dan ketahanan induksi (induced resistance). Ketahanan semu bukan dari sifat genetik yang dibawa pada tanaman akan tetapi dari beberapa perubahan sementara (temporary shifts) yang ada di dalam kondisi lingkungan yang cocok bagi varietas rentan. Adapun ketahanan induksi

terjadi saat tanggap tanaman terhadap kerusakan oleh pathogen, herbivora, stres lingkungan, atau akibat perlakuan

6). Ketahanan semu (Pseudoresistance)

Perubahan dalam pola pertumbuhan tanaman yang dihasilkan dalam ketidak sinkronan antara serangga dan fenologi tanaman adalah suatu modal untuk mendapatkan ketahanan semu. Tanaman yang matang lebih awal telah digunakan dalam pertanian sebagai strategi pengelolaan tanaman terpadu yang efektif, namun demikian tanaman semacam ini akan terserang hebat bila hamanya berkembang biak lebih awal.

7). Ketahanan induksi (Induced resistance)

Ketahanan induksi sangat berpengaruh baik dalam produktivitas tanaman. Hal ini terbukti bila menanam varietas padi rentan wereng coklat di musim kemarau jarang sekali terserang wereng coklat, disebabkan perkembangan wereng coklat di musim kemarau sangat rendah, sulit mencapai ambang ekonomi walaupun pada varietas rentan (Baehaki, 1994). Perkembangan wereng coklat pada varietas tahan IR64 sangat rendah baik di musim hujan maupun di musim kemarau. Demikian juga dengan irigasi berselang atau gursat (intermittent irrigation) akan membuat hama wereng coklat kurang berkembang pada sistem pengairan tersebut (Baehaki et al., 1997).

Tipe Ketahanan Varietas

Pada pembahasan ketahanan varietas berdasar genetika, maka ketahanan tersebut dapat dibagi dua yaitu tahan vertikal (vertical resistance) dan tahan horizontal (horizontal resistance).

1). Ketahanan Vertikal

Ketahanan vertikal mengurangi inokulum awal yang efektif dari epidemik awal, sehingga akan menunda serangan penyakit. Dengan perkataan lain bila sederetan varietas diinfeksi oleh biotipe yang sama, maka beberapa varietas akan bereaksi tahan dan yang lainnya bereaksi rentan. Ketahanan vertikal merupakan ketahanan dengan golongan tinggi dan dikendalikan oleh gen mayor atau oligogen yang sedikit stabil.

2). Ketahanan horizontal

Bila tanaman inang sama efektifnya terhadap semua ras penyakit maka disebut ketahanan horizontal atau lateral. Ketahanan horizontal digambarkan sebagai situasi dimana sederetan varietas berbeda tidak menunjukkan perbedaan interaksi bila diinfeksi oleh biotipe serangga yang berbeda. Varietas tahan horizontal dikendalikan oleh beberapa gen polygenik atau gen minor, masing-masing dengan sumbangan yang kecil terhadap ketahanan.

Ketahanan horizontal adalah tidak menimbulkan tekanan yang tinggi terhadap patogen sehingga penggunaan varietas tahan horizontal lebih stabil atau lestari (Panda dan Khush, 1995).

E. Genetika Virulensi Dalam Patogen dan Perlawanan Pada Tanaman Inang

Contoh resistensi di atas disebut resistensi vertikal atau resistensi differensial (Vanderplank 1963). Ini adalah salah satu kelemahannya. Akan tetapi keuntungan dari resistensi vertikal adalah mudah ditangani oleh pemulia. Jika suatu gen resistensi telah menurun ketahanannya karena suatu ras patogen baru terbentuk, maka pemulia tanaman dapat dengan cepat mengganti atau menambah suatu gen resisten baru yang mana belum ada ras patogen yang mampu menyerangnya.

Resistensi vertikal dari inang adalah berpadanan dengan virulensi di dalam patogen (gen- ke-gen). Patogen dapat beradaptasi terhadap kultivar-kultivar yang baru dengan resistensi vertikal dengan adanya mutasi dan rekombinasi gen-gen virulens.

Konsep Gen untuk Gen

Gen untuk resistensi didapatkan dari sumber yang sama yang digunakan untuk memperoleh sifat-sifat agronomik lainnya, yaitu: tanaman asli, kultivar komersial dari tempat negara lain, varietas lama yang selama ini dilupakan, tumbuhan liar yang sefamili dengan tanaman yang diinginkan, dan kadang kala mutasi yang disengaja.

Sering kali gen ketahanan didapatkan dari kelompok tanaman yang rentan, tetapi ada beberapa tanaman yang tidak terserang walaupun tanaman disekitarnya sudah rusak berat. Tanaman semacam ini biasanya digunakan sebagai sumber gen ketahanan di dalam proses pemuliaan. Jika tidak ada tanaman tahan ditemukan pada populasi lokal, maka tanaman yang satu species ataupun berbeda species dari tempat lain dapat digunakan sebagai sumber ketahanan. Misalnya tumbuhan sumber gen ketahanan terhadap penyakit hawar daun biasanya dicari di daerah asal mula tanaman kentang. Dengan asumsi bahwa kalau ada tanaman liar yang bertahan tidak punah, pasti mempunyai gen ketahanan terhadap patogen tersebut. Walaupun mungkin tanaman itu tidak mempunyai sifat agronomik yang unggul, tetapi gen ketahanannya dapat diambil dan dipindahkan ke varietas yang mempunyai sifat unggul tetapi tidak tahan terhadap hawar daun.

Sifat Perlawanan Terhadap Penyakit

Resistensi inang terhadap masuknya parasit dipisahkan menjadi dua tipe: resistensi non-spesifik dan resistensi spesifik. Resistensi spesifik, atau imunitas, merupakan mekanisme pertahanan yang telah dikembangkan untuk merespon suatu parasit tertentu, atau

spesifik. Mekanisme pertahanan imun spesifik demikian didapatkan inang sebagai suatu akibat dari permulaan adanya parasit.

Dalam dunia organisme, resistensi nonspesifik merupakan hal paling umum dan mendasar untuk pencegahan penyakit. Tumbuhan dan sebagian besar hewan bertahan hanya dengan resistensi nonspesifik terhadap dunia patogen potensial. Hanya hewan vertebrata yang memiliki resistensi spesifik atau mendapatkan suatu respon imun spesifik. Oleh karena itu mereka lebih efisien dalam melawan infeksi. Pertama mereka menggunakan mekanisme resistensi nonspesifik, dengan segera tersedia, menyerang masuknya parasit; selanjutnya mereka mengandalkan imunitas spesifik sebagai bantuan atau, pada suatu penyakit yang terus-menerus, sebagai akhir dari resistensi. Jika pengaruh gabungan dari resistensi alami dan imunitas didapatkan tidak mampu menghentikan penyebaran infeksi, akhirnya selalu terjadi kematian inang. Untuk menolong inang, dilakukan terapi antimikroba, seperti penggunaan antibiotik. Pengobatan ini tidak selalu menghancurkan parasit secara sempurna. Dalam hal kebanyakan hanya “membeli waktu” untuk memberi kesempatan kepada inang untuk menghilangkan parasit dengan mekanisme pertahanan inang apa saja yang dapat berhubungan dengan parasit.

Genetika Resisten Melalui Respon Hipersensitif

Genetika resisten tanaman ialah suatu sifat tanaman atau genetika tanaman yang memiliki daya tahan tubuh lebih baik atau lebih tahan dari gangguan OPT atau patogen. Sedangkan respon hipersensitif merupakan suatu usaha pertahanan tanaman yang menunjukkan tanaman dengan bentuk nekrosis dan terjadinya kematian sel untuk mengatasi pergerakan patogen. Respon Hipersensitif (Hypersensitive Response) terjadi pada tanaman sebagai adanya gejala infeksi terhadap cendawan, virus dan bakteri patogen tanaman. Fungsi respon hipersensitif pada tumbuhan, antara lain :

- **Mengikat Patogen**

Reaksi hipersensitif yang timbul berhubungan erat dengan ketahanan tanaman terhadap patogen, tetapi bagian mana dari sel yang mengalami kematian masih dalam perdebatan. Suatu hipotesis menyatakan bahwa kematian sel tanaman adalah respons langsung untuk membatasi pertumbuhan dan penyebaran patogen bahkan kematian sel-sel disekitar tempat infeksi patogen. Hubungan ini telah ditemukan pada sel-sel kentang yang mengalami kematian menjadi tahan. Pembentukan lesio pada daun tembakau yang tererhadap *Phytophthora infestans* yang menggunakan haustoria untuk menginfeksi dan mematikan sel tanaman. Kematian sel yang cepat mempengaruhi plasmodesmata melalui perpindahan virus tanaman dari satu sel ke sel lain dan

kandungan sel akan mengalami perubahan oleh bakteri dalam waktu yang panjang di dalam jaringan tanaman. Beberapa patogen menghambat kematian sel dengan menginvasi.

- Mengaktivasi gen-gen pertahanan lokal tanaman

Pembentukan kematian sel hipersensitif seiring dengan aktivasi mekanisme pertahanan lokal di dalam sel yang mengalami kematian di sekitar jaringan yang infeksi. Contoh ekspresi gen pertahanan yaitu gen yang mengkode PR protein atau enzim yang terlibat dalam jalur fenilpropanoid yang terinduksi cepat oleh patogen yang menginduksi respon hipersensitif. Protein yang mengkode mungkin berpengaruh langsung dan tidak langsung terhadap patogen karena kematian sel yang cepat akibat dari pelepasan senyawa pertahanan protein-related dan metabolisme beracun (toksik) pada apoplas di lokasi bakteri atau cendawan patogen berada.⁸ Produksi ROS (reactive oxygen spesies) dan asam salisilat atau faktor-faktor lain yang mengakibatkan sel-sel bunuh diri dalam memberi sinyal ketahanan dan ekspresi gen-gen pertahanan di sekeliling jaringan terinfeksi yang membentuk struktur sekunder untuk menghalangi penyebaran patogen. Kematian sel ini memberi sinyal secara langsung untuk meng-offkan sinyal untuk aktivasi amplifikasi transkripsi dan melindungi sel-sel yang tidak terinfeksi dari dismutasi superoksida, polyubiquitin, glutathion S- transferase atau glutathion peroksidase.

- Menginduksi SAR (Systemic Acquired Resistance)

Mekanisme pertahanan lokal pada tanaman dilakukan melalui mekanisme ketahanan sekunder yang dikenal SAR. SAR dipicu melalui interaksi antara reaksi kompatibel dan inkompatibel yang menyebabkan kematian sel, tetapi hal ini muncul setelah terjadi kematian sel HR. Beberapa mutan tanaman transgenik secara spontan memperlihatkan kematian sel mirip HR yang menunjukkan tingkat ketahanan sistemik yang tinggi. Ini menunjukkan bahwa ada hubungan timbal balik antara HR dan SAR.

Regulasi genetik kematian sel pada tanaman hipersensitif respon bukan saja dikarenakan patogen melainkan hasil dari aktivitas proses genetic tanaman secara intrinsik dikarenakan beberapa faktor, seperti :

- Produk gen R yang berhubungan dengan pengenalan patogen terhadap HR

- Protein kinase dan protein signal lainnya dan faktor transkripsi
- HR membutuhkan aktivitas metabolisme tanaman, termasuk sistem transkripsi dan translasi
- Elisitor cendawan dapat menginduksi berbagai aspek multi komponen respons ketahanan pada saat terjadinya ketahanan penyakit dan lesio yang cocok dengan HR saat kehadiran patogen
- Ekspresi dari berbagai gen asing terkadang mengaktifkan HR mirip PCD

Interaksi antara patogen dan tanaman terbanyak adalah respon hipersensitif, respon yang inkompatibel yang berhubungan dengan fenomena respon ketahanan pada tanaman melibatkan tiga langkah, yaitu :

- pengenalan oleh patogen
- transduksi sinyal
- pelaksanaan aktivasi program ketahanan seperti kematian sel oleh HR, ledakan oksidatif, dan transkripsi yang mengaktifasi gen pertahanan yang menginduksi SAR.

Respons Hipersensitif kematian sel ini dianggap sebagai reaksi bunuh diri dari sel tumbuhan melawan patogen sehingga penyebaran patogen dapat dihambat. Pada tumbuhan selama kematian sel, HR telah terbukti secara genetik dikendalikan oleh kematian sel terprogram (PCD) seperti beberapa fitur apoptosis pada sel hewan. Pembangkitan spesies oksigen reaktif (ROS) yang mengarah pada AOS, memainkan peran sentral untuk membangkitkan sinyal transduksi saat terjadinya kematian sel. Hal ini diikuti oleh pembentukan lipid peroksidasi, sebagai akibat dari kegiatan radikal bebas peroksidasi atau enzim lipoxygenase sehingga terjadi degradasi atau disfungsi membran sel. Aktivasi enzim nucleases juga mendegradasi kromosom DNA ke oligonucleosomal. Fragmentasi DNA juga telah dilaporkan pada beberapa jaringan tanaman yang mengalami PCD. Ada cara atau model umum mekanisme PCD pada tanaman yaitu keputusan bagaimana untuk mati, persiapan kematian, dilanjutkan pelaksanaan, eksekusi dan manifestasi.

F. Pembiakan Varietas Tahan

Ilmu resistensi dalam mengendalikan penyakit tanaman dimulai pada awal 1900-an. Kemajuan dalam ilmu genetika dan keuntungan nyata dari menanam varietas tahan bukannya varietas rentan membuat perkembangbiakan varietas tahan diinginkan. Realisasi yang lebih baru dari bahaya pencemaran lingkungan melalui kontrol kimiawi terhadap penyakit tanaman

memberi dorongan tambahan dan penting bagi pengembangbiakan varietas tahan. Dengan demikian, varietas tahan pemuliaan, yang merupakan salah satu bagian dari program pemuliaan tanaman yang lebih luas, adalah lebih populer dan lebih intensif hari ini daripada sebelumnya. Kegunaan dan pentingnya sangat penting dalam produksi makanan dan serat. Namun demikian, beberapa aspek pemuliaan tanaman, dan varietas tahan pemuliaan di Indonesia khususnya, telah menunjukkan kelemahan tertentu dan telah memungkinkan beberapa epidemi penyakit tanaman terjadi yang tidak bisa telah berkembang kalau bukan karena keseragaman yang diciptakan dalam tanaman melalui pemuliaan tanaman.

Variabilitas alami pada tanaman

Tanaman-tanaman yang dibudidayakan sekarang merupakan hasil seleksi, atau seleksi dan pemuliaan, dari garis tanaman yang berevolusi secara alami dalam satu atau banyak wilayah geografis dunia selama jutaan tahun. Evolusi tanaman dari mereka leluhur kuno untuk tanaman saat ini telah terjadi secara perlahan dan telah menghasilkan beragam genetik yang tak terhitung jumlahnya bentuk tanaman ini. Banyak tanaman seperti itu masih ada sebagai jenis liar di titik asal atau di daerah penyebaran alami dari tanaman. Meskipun tanaman ini mungkin muncul sebagai sisa-sisa evolusi yang tidak berguna yang tidak mungkin berperan setiap kemajuan di masa depan di bidang pertanian, keanekaragaman dan kelangsungan hidup mereka dalam menghadapi berbagai patogen yang mempengaruhi tanaman yang dipermasalahkan menunjukkan bahwa mereka membawa banyak gen untuk ketahanan terhadap patogen ini.

Sejak awal dari pertanian, beberapa tanaman liar di setiap lokasi telah dipilih dan dibudidayakan dan dengan demikian diproduksi banyak garis atau varietas yang dibudidayakan. Varietas yang paling produktif ini diabadikan di setiap tempat dari tahun ke tahun, dan mereka yang selamat dari iklim lokal dan patogen terus dibudidayakan. Alam dan patogen menghilangkan yang lemah dan rentan, sementara petani memilih hasil terbaik di antara selamat. Varietas yang bertahan memiliki rangkaian gen mayor dan minor yang berbeda untuk resistensi. Dengan cara ini, pemilihan tanaman terus dilakukan di mana pun mereka tumbuh, dengan orang-orang di setiap daerah memilih secara mandiri varietas yang disesuaikan dengan lingkungan lokal dan tahan terhadap patogen lokal. Dengan demikian, banyak varietas dari setiap tanaman dibudidayakan di seluruh dunia dan dengan keanekaragaman genetik mereka sendiri, berkontribusi untuk membuat tanaman secara lokal beradaptasi secara genetik yang tidak seragam sehingga aman dari wabah patogen tunggal yang tiba-tiba di area yang luas.

Efek pembibitan tanaman terhadap variabilitas tanaman

Selama abad ke-20 hingga abad ke-21, para pemulia tanaman di seluruh dunia berupaya untuk membiakkan tanaman yang menggabungkan gen yang paling berguna maupun berkualitas untuk hasil yang lebih tinggi, kualitas yang lebih baik, ukuran seragam tanaman dan buah, pematangan yang seragam, tahan banting, dan penyakit perlawanan. Dalam mencari gen baru yang bermanfaat, pemulia tanaman melintasi varietas yang ada, lokal, dan dibudidayakan satu sama lain, dengan orang-orang dari daerah lain, baik di sini maupun di luar negeri, dan dengan spesies tanaman liar dari mana saja mereka bisa diperoleh. Selain itu, pemulia tanaman sering berusaha untuk menghasilkan variasi genetik tambahan dengan merawat bahan tanaman mereka dengan agen mutagenik. Baru-baru ini, pemulia tanaman telah menghasilkan genetik yang lebih besar variabilitas dan memodifikasi atau mempercepat evolusi tanaman ke arah tertentu oleh berbagai rekayasa genetika. Dengan menggunakan teknik ini, pemulia tanaman dapat mengkombinasikan bahan genetik (DNA) ke dalam sel tanaman secara langsung melalui perangkat balistik, melalui vektor (seperti *A. tumefaciens*), atau melalui fusi protoplas. Petani juga dapat memperoleh tanaman dengan karakteristik yang berbeda melalui kultur dan regenerasi sel tanaman somatik, dengan diploidisasi tanaman haploid, dan sebagainya.

Langkah-langkah awal dalam pemuliaan tanaman umumnya meningkatkan variabilitas genetik karakteristik tanaman di lokasi tertentu dengan menggabungkan gen tanaman yang kurang lebih luas dipisahkan oleh jarak sebelumnya. Akan tetapi, seiring berjalannya program pemuliaan, dan seperti beberapa gen yang paling bermanfaat diidentifikasi, langkah selanjutnya dalam pemuliaan cenderung menghilangkan variabilitas dengan menggabungkan gen terbaik dalam beberapa budidaya varietas dan meninggalkan atau membuang garis tanaman yang tampaknya tidak memiliki kegunaan pada saat itu. Dalam waktu singkat beberapa varietas “unggul” menggantikan sebagian besar atau semua varietas lain di atas lahan yang luas. Kadang-kadang, bahkan tipe liar sendiri dapat diganti oleh varietas seperti itu. Jadi, apel Lezat Merah, buah persik Elberta, gandum kerdil dan varietas padi tertentu, pasti garis genetik jagung dan kentang, satu atau dua jenis pisang, dan tebu ditanam di areal luas di seluruh dunia. Di hampir setiap tanaman, varietas relatif sedikit membentuk sebagian besar dari areal yang dibudidayakan tanaman di seluruh negara atau di seluruh dunia. Basis genetik varietas ini seringkali sempit, terutama karena banyak dari mereka berasal dari persilangan leluhur yang sama atau terkait. Ini beberapa varietas digunakan secara luas karena mereka adalah yang terbaik yang tersedia, mereka stabil dan seragam, dan karenanya semua orang menginginkannya tumbuh mereka. Namun, pada saat yang sama, karena mereka dibudidayakan secara luas, mereka tidak hanya membawa.

Berkat tetapi juga bahaya keseragaman. Bahaya paling serius dari ini adalah kerentanan seragam besar penanaman untuk wabah tiba-tiba dari epidemi penyakit tanaman bencana.

Pembibitan tanaman untuk resisten patogen

Kebanyakan pemuliaan tanaman dilakukan untuk pengembangan varietas yang menghasilkan panen lebih besar atau kualitas lebih baik. Sementara varietas tersebut sedang dikembangkan, mereka diuji bentuknya tahan terhadap beberapa patogen yang paling penting hadir di daerah di mana varietas dikembangkan dan di mana diharapkan akan dibudidayakan. Jika variasinya tahan terhadap patogen ini, mungkin dilepaskan ke petani untuk produksi segera. Namun, jika rentan terhadap satu atau lebih patogen, varietas biasanya disimpan atau dibuang kadang-kadang dilepaskan untuk produksi jika patogen dapat dikendalikan dengan cara lain, seperti dengan bahan kimia, tetapi lebih sering menjadi sasaran lebih lanjut berkembang biak dalam upaya untuk memasukkan ke dalam gen berbagai yang akan membuatnya tahan terhadap patogen tanpa mengubah karakteristik yang diinginkan.

➤ Sumber gen resistensi

Sumber gen untuk resistensi adalah kumpulan gen yang sama dari tanaman yang menyediakan gen untuk setiap warisan lainnya karakteristik, yaitu, varietas komersial asli atau asing lainnya, varietas lama ditinggalkan sebelumnya atau stok peternak yang dibuang, kerabat tumbuhan liar, dan, kadang-kadang, mutasi yang diinduksi. Seringkali gen resistensi hadir dalam varietas atau spesies yang biasanya tumbuh di daerah di mana penyakitnya parah dan membutuhkannya varietas tahan paling mendesak. Dengan sebagian besar penyakit, beberapa tanaman tetap tidak terpengaruh oleh patogen, meskipun sebagian besar atau semua tanaman lain di daerah tersebut mungkin sakit parah. Tanaman yang selamat seperti itu kemungkinan besar memiliki tetap sehat karena karakteristik resisten hadir di dalamnya. Jika tidak ada tanaman yang tahan dapat ditemukan di dalam populasi lokal dari spesies, tanaman dari spesies yang sama dari daerah lain dan tanaman dari spesies lain (dibudidayakan atau liar) diperiksa untuk resistensi. Jika tanaman tahan ditemukan, mereka disilangkan dengan varietas yang dibudidayakan di sebuah upaya untuk memasukkan gen resistensi dari spesies lain ke dalam varietas yang dibudidayakan. Dengan beberapa penyakit, seperti itu sebagai penyakit busuk daun kentang, perlu untuk mencari gen resistensi pada spesies yang tumbuh di daerah di mana penyakit berasal. Sehingga, tanaman yang ada di daerah-daerah itu berhasil bertahan hidup lama patogen karena resistensi mereka terhadapnya.

➤ Teknik Pemuliaan Klasik untuk Ketahanan Penyakit

Metode yang sama digunakan untuk berkembang biak untuk setiap karakteristik yang diwariskan juga digunakan untuk berkembang biak untuk resistensi penyakit dan bergantung pada sistem perkawinan tanaman (diserbuki sendiri atau disilangkan). Namun, berkembang biak untuk resistensi penyakit jauh lebih rumit. Alasannya adalah bahwa resistensi hanya dapat diuji dengan membuat tanaman sakit, yaitu dengan menggunakan makhluk hidup lain dan beragam yang harus berinteraksi dengan tanaman. Namun dalam beberapa tahun terakhir, penanda molekuler yang terkait dengan enzim, fenolat, dan senyawa lain yang terkait dengan resistensi telah digunakan secara efektif memilih resistensi di tempat menginokulasi tanaman dengan patogen, setidaknya pada tahap awal pembiakan. Pembiakan untuk resistensi juga rumit karena resistensi mungkin tidak stabil dan dapat rusak dalam kondisi tertentu. Untuk alasan ini, beberapa sistem penyaringan yang lebih atau kurang canggih untuk resistensi telah dikembangkan. Sistem penyaringan ini antara lain :

- kondisi yang tepat untuk menginokulasi tanaman dengan patogen
- pemantauan dan kontrol yang akurat dari kondisi lingkungan di mana tanaman diinokulasi disimpan
- penilaian yang akurat tentang kejadian penyakit (persentase tanaman, daun, atau buah yang terinfeksi) dan penyakit keparahan (proporsi dari total area jaringan tanaman yang terkena penyakit).

➤ **Benih, Silsilah, dan Pemilihan Berulang**

Seleksi masal benih dari tanaman yang paling resisten bertahan di bidang di mana infeksi alami terjadi secara teratur adalah metode sederhana tetapi hanya meningkatkan tanaman perlahan. Selain itu, pada tanaman yang diserbuki silang tidak ada kontrol sumber serbuk sari. Dalam pemilihan garis atau silsilah murni, masing-masing tanaman sangat tahan dan keturunannya disebarkan secara terpisah dan diinokulasi berulang kali untuk menguji resistensi. Metode ini mudah dan paling efektif dengan tanaman yang diserbuki sendiri, tetapi cukup sulit dengan tanaman yang diserbuki silang. Dalam pemilihan berulang atau melintasi kembali, varietas tanaman yang diinginkan tetapi rentan disilangkan dengan kerabat lain yang dibudidayakan atau liar membawa resistensi terhadap patogen tertentu. Progeni kemudian diuji untuk resistensi, dan individu yang resisten kembali ke varietas yang diinginkan. Ini diulangi beberapa kali sampai resistensi stabil pada genetic latar belakang varietas yang diinginkan. Metode ini memakan waktu dan efektivitasnya sangat bervariasi setiap kasus

tertentu. Ini dapat diterapkan agak lebih mudah pada penyerbukan silang daripada pada tanaman penyerbukan sendiri.

Daftar Pustaka

- LeiwakabessyChris. 2011. RESPONS HIPERSENSITIF (HR). Bogor. Institut Pertanian Bogor
- George. N. Agrios. 2015. Genetics of Plant Disease at https://www.researchgate.net/publication/282136393_Genetics_of_Plant_Disease (diakses 19/05/19)
- Jabs T and Slusarenko AJ. 2000. The Hypersensitive Response: In: AJ Slusarenko, RSS Fraser, and LC Van Loon editor. Mechanism of Resistance to Plant Disease, p. 279-323.

EPIDEMIOLOGI PENYAKIT TANAMAN

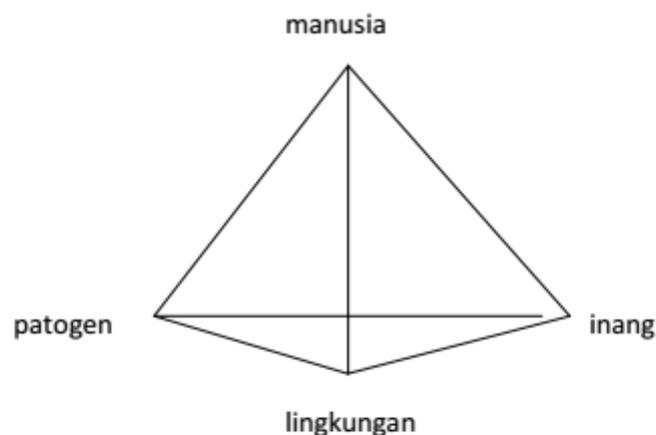
Epidemiologi penyakit tumbuhan adalah ilmu yang mempelajari penyakit yang berkembang atau mewabah pada populasi tanaman dalam waktu tertentu. Populasi yang terlibat yaitu populasi inang (tanaman) dan populasi patogen, adanya interaksi antara satu sama lain sehingga timbul suatu penyakit dalam waktu tertentu yang menyebabkan kehilangan hasil. Epidemio terjadi karena adanya peningkatan insiden penyakit (disease incidence) pada suatu populasi tanaman persatuan luas persatuan waktu (Vanderplank, 1963). Kemudian ditambahkan oleh (Zadoks, 1979) bahwa epidemi merupakan pertambahan penyakit pada suatu populasi persatuan luas persatuan waktu yang memiliki fase awal, optimal, dan akhir, sehingga populasi patogen merupakan fungsi dari waktu ($X = ft$).

Interaksi antara inang (tanaman) dan patogen dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dapat mendukung atau menghambat proses terjadinya epidemi diantaranya disebabkan oleh faktor ketahanan inang, virulensi patogen dan lingkungan baik makro maupun mikro. Ketahanan inang diperoleh dari jenis varietas tanaman berhubungan dengan genetik, sedangkan virulensi patogen diperoleh oleh jenis patogen. Disamping itu kondisi lingkungan seperti

intensitas cahaya, suhu, kelembaban udara dan curah hujan memicu terjadinya epidemi.

Proses epidemi yang terjadi pada suatu luasan dapat diukur dengan laju infeksi. Laju infeksi merupakan percepatan yang diukur dari perbedaan luas infeksi pertama dan luas infeksi akhir dalam jangka waktu tertentu. Semakin rentan kondisi inang (tanaman) semakin laju infeksi yang ditunjukkan dengan tingkat serangan. Disamping itu semakin virulen patogen pada suatu jenis inang (tanaman), maka semakin besar laju infeksi. Sebagai akibat adanya interaksi antara inang (tanaman) dengan patogen dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor fisik, biotik, dan manusia yang terjadi dalam waktu tertentu sehingga mengakibatkan kerugian pada tanaman.

Untuk mempermudah pemahaman mengenai interaksi antara inang (tanaman) dan patogen serta lingkungan dan manusia yang mempengaruhi baik secara langsung maupun tidak langsung, maka digambarkan limas penyakit yang disebut Tertadhron penyakit (Zadoks, 1979) sebagai berikut.



Gambar 1. Limas penyakit. Bidang dasar menggambarkan interaksi antara patogen inang dan lingkungan, sedangkan manusia mempengaruhinya dengan berbagai cara yang penting artinya dalam perkembangan epidemi dan pengendaliannya (Zadoks, 1979).

Limas pada gambar 1, menjelaskan interaksi antara inang (tanaman), patogen, dan lingkungan. Patogen berkembang pada inang dan memiliki potensi menimbulkan penyakit apabila patogen memiliki potensi virulensi yang tinggi, pada saat bersamaan kondisi lingkungan dapat mendukung dan menghambat terjadinya infeksi patogen. Sebagai contoh pada tanaman bawang merah yang terinfeksi oleh patogen *Alternaria porri*. Patogen tersebut dapat berkembang dan menyebabkan penyakit apabila kondisi lingkungan lembab.

Manusia sebagai faktor dalam konsep tertadhrun berperan penting terhadap terjadinya epidemi. Peranan manusia sebagai kontrol dan monitoring dalam tindakan pencegahan dan pengendalian penyakit.

A. Faktor-faktor yang mempengaruhi epidemiologi tumbuhan

Pada umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan epidemiologi tumbuhan dibagi menjadi dua antara lain :

1. Faktor dari dalam yaitu faktor yang berada dalam tubuh organisme seperti organ tubuh dan keadaan fisiologisnya.
2. Faktor dari luar yaitu yang berada diluar tubuh organisme yang mempengaruhi langsung dan tidak langsung seperti faktor fisik, biotik, dan makanan.

Faktor fisik dapat dibagi menjadi dua yaitu unsur cuaca dan topografi sebagai faktor penghambat atau mempengaruhi penyebaran epidemiologi tumbuhan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan topografi pada suatu daerah yang menyebabkan terjadinya perbedaan iklim sehingga secara tidak langsung menimbulkan perbedaan tumbuhan yang tumbuh.

Faktor biotik adalah faktor yang berperan secara langsung dalam keseimbangan populasi epidemiologi tumbuhan seperti lingkungan.

Faktor makanan merupakan unsur utama dalam menentukan perkembangan patogen, tersedianya inang (tanaman) menjadi sumber makanan oleh organisme (patogen).

Faktor cuaca dapat mempengaruhi siklus kehidupan organisme, penyebarannya dan segala sesuatu sistem organisme antara lain : fisiologi, perilaku, dan ciri-ciri biologis baik secara langsung maupun tidak langsung. Organisme khususnya serangga memiliki daya tahan terhadap faktor fisik sehingga menjadi kebal. Serangga dapat beradaptasi berhubungan dengan faktor genetik atau penyesuaian dengan sifat fisiologisnya.

B. Unsur-unsur Epidemiologi

Segitiga penyakit menanamkan tiga elemen umum yaitu inang, patogen, lingkungan (Islam et al, 2017). Khusus untuk segitiga penyakit selesai ketika

tuan inang rentan, patogen virulen dan lingkungan yang menguntungkan untuk pembentukan infeksi (Agrios, 2005). Dengan kata sederhana, konjugasi di atas tiga menjamin perkembangan penyakit.

Hal penting lainnya yang dapat memainkan perannya dalam semua proses ini adalah waktu. Jadi untuk mengesampingkan kemungkinan penyakit, salah satu dari ketiga faktor ini dapat dimodifikasi atau diubah. Sebagai contoh, kerentanan tanaman dapat diminimalkan melalui penggabungan kultivar tanaman yang tahan penyakit atau toleran (Noman et al., 2016)

1. Unsur inang

Inang ada yang rentan dan tahan terhadap infeksi patogen, ada dua jenis reaksi inang terhadap penyakit yaitu rentan dan tahan atau resisten. Inang (tanaman) yang rentan akan mudah terserang oleh patogen sementara inang yang resisten atau tahan akan dapat beradaptasi dengan serangan patogen (Vanderplank, 1963)

a) Ketahanan dan Virulensi Vertikal

Resisten vertikal dapat kehilangan ketahanannya dengan cepat apabila muncul jenis patogen baru yang memiliki virulen tinggi. Patogen dapat berinteraksi dengan kultivar-kultivar yang baru, dengan adanya resisten vertikal adanya mutasi dan rekomendasi gen-gen virulens. Inilah kelemahan resisten vertikal, akan tetapi akan mudah ditangani oleh pemulia. Jika resisten mulai menurun maka pemulia akan mencegah atau menambah suatu gen resisten yang baru

.

b) Ketahanan dan Virulensi Horizontal

Vanderplank mengasumsikan bahwa pada resistensi horizontal dasar genetiknya adalah poligen di mana gen tersebut tidak spesifik ras (tidak diferensial), jadi bukan hanya tahan (resisten) atau tidak tahan (rentan) tetapi lebih atau kurang rentan/resisten. Vertikal resisten dan horizontal resisten yang berdasarkan pada sistem genetik yang berbeda dapat ditemukan pada satu kultivar resistensi dengan dua dimensi (Vanderplank, 1963).

2. Unsur patogen

Adanya beberapa faktor internal dan eksternal pada patogen dapat mempengaruhi munculnya perkembangan epidemi penyakit tanaman.

a) Tingkat Virulensi Patogen

Virulensi adalah tingkat kemampuan patogen yang tinggi yang mampu menimbulkan penyakit pada inang (tanaman). Patogen yang memiliki kemampuan virulensi tinggi dapat menimbulkan penyakit pada inang dalam rentang waktu yang singkat dan tingkat serangan yang tinggi mampu menghasilkan spora dalam jumlah banyak yang memudahkan penyebaran penyakit.

b) Reproduksi Patogen

Reproduksi patogen tanaman mempunyai siklus hidup yang singkat sehingga mampu menghasilkan banyak generasi di dalam satu musim pertanaman. Patogen jenis ini bersifat polisiklik karena menghasilkan beberapa generasi dalam satu musim pertanaman. Seperti penyebab penyakit karat dan penyakit bercak-bercak dan hawar daun yang paling banyak muncul dan menimbulkan kerusakan yang tiba-tiba dan dalam skala besar.

Ada beberapa jenis patogen memerlukan waktu sepanjang tahun untuk menyelesaikan satu siklus hidup, patogen jenis ini bersifat monosiklik karena hanya menyelesaikan satu siklus penyakit dalam setahun. Inokulum akan terakumulasi dari tahun ke tahun, sehingga terjadinya epidemi memerlukan waktu tahunan untuk berkembang.

c) Ekologi Patogen

Patogen akan menghasilkan inokulum berupa spora pada bagian permukaan inang (tanaman). Spora akan berkembang dan menghasilkan inokulum yang berperan sebagai hifa infeksi yang berfungsi mengambil nutrisi makanan dari inang kemudian spora akan dengan mudah menyebar dan menyebabkan epidemi yang luas, Adapun patogen jenis bakteri dan virus memperbanyak diri dalam jaringan inang (tanaman). Patogen jenis ini tidak dapat menyebar tanpa adanya bantuan vektor.

Spora dan berbagai jenis patogen lainnya akan menyebar dalam skala yang luas melalui angin, air dan lainnya. Sehingga akan terjadi epidemi dalam area yang luas.

3. Unsur Manusia

Banyaknya kegiatan manusia akan mempengaruhi baik secara langsung maupun tidak langsung epidemi penyakit tanaman diantaranya sebagai berikut :

a) Pemilihan Lokasi

Dimana lokasi lahan yang rendah dengan kondisi drainase yang buruk menjadi sumber munculnya inokulum yang memicu terjadinya epidemi. Disamping itu apabila lokasi lahan sudah terkontaminasi dengan patogen sebaiknya dilakukan pergiliran tanaman.

b) Praktek Budaya

Pada sistem penanaman monokultur spesies atau varietas yang sama secara terus menerus pada area lahan yang sama, pengaruh pemupukan yang tinggi atau tidak sesuai dosis misalnya pemberian N dalam dosis tinggi, dan pengaruh pemberian bahan kimia seperti pestisida, fungisida akan meningkatkan peluang terjadinya epidemi penyakit tanaman.

c) Teknik Pengendalian

Pengendalian secara kimia, pengendalian secara hayati dengan penggunaan varietas, dan praktek budidaya (pergiliran tanaman), serta teknik pengendalian lainnya dapat mencegah dan memicu terjadinya epidemi. Seperti penggunaan bahan kimia akan menimbulkan varietas yang tahan terhadap jenis zat kimia tertentu sehingga timbulnya epidemi.

d) Membawa Jenis Patogen Baru

Dengan adanya aktivitas manusia yang berpergian tak jarang produk pertanian ikut terbawa yang mungkin mengandung patogen baru sehingga jenis patogen baru tersebut masuk kedalam wilayah dan memungkinkan terjadinya penyebaran sehingga timbulnya epidemi.

4. Unsur Lingkungan

Peranan lingkungan dalam perkembangan epidemi penyakit tanaman sangat jelas dapat mempengaruhi baik inang maupun patogen. Lingkungan dapat menghambat dan mendukung terjadinya epidemi, apabila kondisi lingkungan mendukung maka potensi infeksi patogen besar dalam menimbulkan penyakit sedangkan pada saat kondisi lingkungan tidak mendukung potensi infeksi patogen terhadap inang (tanaman) rendah. Unsur-unsur seperti inang, patogen, lingkungan saling mempengaruhi disamping itu ada unsur manusia dan waktu yang berperan dalam memicu terjadinya epidemi.

C. Perkembangan Penyakit

Penyakit tanaman pada awal infeksi akan mulai dengan serangan yang rendah terlebih dahulu, dimana hanya beberapa tanaman dan sejumlah kecil jaringan tanaman yang terserang penyakit. Akan tetapi intensitas serangan tersebut akan meningkat dari waktu ke waktu. Sebagai contoh pada penyakit busuk pada lada yang disebabkan oleh *Phytophthora capsici* dan penyakit busuk pada bulir jagung yang disebabkan oleh *Fusarium verticilloides* menunjukkan pola perkembangan yang linear terutama pada tahap awal. Sedangkan penyakit karat pada tanaman legum atau kacang-kacangan yang disebabkan oleh *Uromyces phaseoli* dan penyakit bercak daun abu-abu pada tanaman jagung disebabkan oleh *Cercospora zea maydis* menunjukkan pola perkembangan yang mengalami laju peningkatan serangan yang bertambah seiringnya bertambah waktu sehingga perkembangannya eksponensial.

Akan tetapi tidak semua jenis patogen perkembangan penyakitnya menyerupai pola tersebut hanya saja pada umumnya pola perkembangan ada yang linear dan eksponensial pada awal perkembangan dan kemudian akan mendatar setelah mencapai titik batas.

a) Monosinklik

Pada umumnya ada tiga jenis penyakit tanaman yang cenderung menghasilkan hanya satu siklus infeksi per musim tanam, yaitu:

1. Penyakit Pascapanen

Ada beberapa penyakit tanaman pada pasca panen yang tidak akan akan menghasilkan epidemi yang bersifat monosiklik, tetapi dalam beberapa hal pada umumnya pada infeksi yang menyebabkan busuk pada saat penyimpanan dapat berawal pada masa pertanaman sebelum panen dan terjadi saat panen penanganan pasca panen sebelum dimasukkan ke penyimpanan.

2. Penyakit oleh Pathogen Tular Tanah

Pada umumnya ada banyak penyakit seperti busuk akar, layu, dan lain-lain yang disebabkan oleh patogen tular tanah, penyakit ini hanya menghasilkan satu siklus infeksi per musim tanam. Akan tetapi tidak semua patogen tular tanah menghasilkan epidemi monosiklik.

3. Penyakit Karat Tanpa Urediniospora (Demisiklik)

Ada beberapa penyakit karat tidak dapat menghasilkan urediniospora pada satu inang dan inokulum yang diperoleh pada satu spesies inang harus terlebih dahulu menginfeksi spesies inang yang berbeda. Dalam Pergantian inang telah terjadi adaptasi patogen terhadap siklus hidup dari inang yang tahunan dan dapat dilihat dengan adanya satu siklus penyakit pada setiap inang dalam setahun.

b) Polisiklik

Epidemi yang bersifat polisiklik mempunyai siklus infeksi yang berulang-ulang atau secara terus menerus yaitu infeksi yang kemudian diikuti oleh perkembangan patogen, produksi inokulum baru, penyebaran ke bagian-bagian tanaman yang rentan, dan infeksi baru, semuanya terjadi dalam satu musim tanam.

c) Gabungan

Tidak semua epidemik penyakit dapat digolongkan ke dalam monosiklik atau polisiklik dengan jelas ada beberapa siklus infeksi patogen termasuk diantaranya yaitu gabungan. Epidemik yang disebabkan oleh cendawan dengan dua tingkatan spora dapat menyebabkan

adanya siklus hidup gabungan, dimana ada saatnya keduanya dapat dibedakan dengan jelas dan ada saatnya keduanya terjadi secara bersamaan.

D. Faktor lingkungan dan perkembangan penyakit tanaman

Lingkungan adalah suatu komponen dari keadaan fisik yang meliputi sumber daya alam maupun sumber daya buatan seperti air, tanah, mineral, flora, fauna dan sebagainya dengan struktur lembaga sebagai hasil dari ciptaan manusia. contoh sederhanya adalah keputusan yang dibuat tentang bagaimana akan memanfaatkan keadaan fisik. Selain itu, lingkungan juga dapat dipahami sebagai segala hal yang eksis disekitar manusia serta memiliki kemampuan untuk memengaruhi proses perkembangan hidup manusia (Zadoks, 1979)

Tanaman adalah tanaman yang sengaja dibudidayakan oleh manusia dan tangan manusia ikut campur dalam segala sesuatu yang berkaitan dengan tanaman ini dimulai dari pembibitan, penanaman, perawatan, hingga pemanenan.

Penyakit tanaman adalah sebuah kondisi dimana tanaman tersebut terganggu ataupun terhamat yang mana penyebabnya bukan berasal dari hama. Penyakit tanaman banyak disebabkan oleh jamur, virus, ganggang, bakteri dan sebagainya. Dari segi geologi penyakit tanaman adalah proses fisiologi yang tidak normal yang disebabkan oleh pathogen seperti gangguan pertumbuhan, reproduksi dan sebagainya. Sedangkan dari segi ekonomi penyakit tumbuhan adalah ketidakmampuan dari tanaman yang diusahakan untuk memberikan hasil yang cukup baik kualitas maupun kuantitasnya. Suatu tanaman yang terserang penyakit dapat dilihat dengan Gejala yang terlihat biasanya muncul pada bagian daun, akar, kulit batang, batang dan lain-lain.

Keterkaitan antara faktor lingkungan dengan suatu penyakit dalam tanaman sangatlah erat dimana dapat terjadi ketidakseimbangan ekosistem dalam system pertanian antara tanaman dengan hasil panen yang akan dikonsumsi oleh manusia. Pada tanaman yang berpenyakit membutuhkan 4 unsure lingkungan yaitu:

1. Komponen ruang

Ruang adalah 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. 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 sentimeter. Ruang makro adalah udara diatas tanaman hingga jauh ke troposfir yang berkisar 16-18 kilometer diatas permukaan laut. Proses perkembangan suatu penyakit pada ruang makro ini misalnya dispesi jarak jauh spora.

2. Lingkungan fisik

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

3. Lingkungan fisik-kimia

Lingkungan fisik-kimia yang mempengaruhi perkembangan suatu penyakit tanaman adalah lingkungan fisik dan kimia yang terdapat diluar dan di dalam tanaman itu sendiri. Pupuk kimia, zat perangsang dan pestisida merupakan lingkungan kimia bagisuatu penyakit tanaman dan perkembangannya. Fungsida tertentu terkadang mrangsang 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. Fungsida seperti itu sesungguhnya lebih berfungsi sebagai tonik. Pupuk urea yang berlebihan ternyata dapat menjadikan tanaman lebih rentan terhadap serangan pathogen.

E. Pengaruh faktor lingkungan terhadap perkembangan penyakit tanaman

Faktor lingkungan fisik yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman terdapat 5 komponen (Nurhayati, 2011) yaitu:

1. Temperature

Pada tanaman yang dapat menyebabkan penyakit terdapat temperature suhu dan Temperature tanah, Temperature dapat menyebabkan penyakit pada tanaman karena memiliki 3 sifat yaitu suhu minimum, optimum dan juga maksimum. Pada kondisi minimum Faktor suhu sangat mempengaruhi terhadap terjadinya suatu penyakit pada

tanaman. Suhu yang terlalu lembab akan menyebabkan tanaman mudah terserang oleh penyakit karena bakteri, virus, inang, dan ganggang dapat tumbuh secara pesat dikondisi suhu yang sangat dingin atau lembab.

2. Intensitas Matahari

Intensitas matahari dapat mempengaruhi perkembangan penyakit pada tanaman. Apabila intensitas matahari tergolong tinggi menyebabkan kelembaban udara rendah sehingga pathogen susah untuk berkembang karena kelembaban udara yang tidak sesuai. Sebaliknya, apabila intensitas matahari rendah maka kelembaban udara tinggi sehingga menyebabkan pathogen berkembang dengan cepat karena kondisi sekitar yang mendukungnya untuk berkembang. Pathogen yang paling cepat berkembang dengan kelembaban udara yang tinggi seperti bakteri, jamur, virus dan sebagainya.

3. Kelembaban

Kelembaban dapat mempengaruhi perkembangan penyakit pada tanaman. Sumber kelembaban ini berasal dari hujan, irigasi dan juga kelembaban relative. Kelembaban sangat berpengaruh terhadap timbulnya penyakit pada tanaman karena pathogen pada umumnya memerlukan adanya lapisan air atau kelembaban tertentu untuk dapat melakukan infeksi atau penetrasi pada inangnya. Adanya air bebas atau kelembaban relative kebutuhannya tergantung dari pathogen. Beberapa pathogen membutuhkan kelembaban udara relative sepanjang hidupnya tetapi ada juga yang hanya memerlukan pada awal terjadi infeksi bahkan beberapa pathogen tidak begitu menghendaki keadaan yang basah untuk perkembangannya. Kelembaban udara relative dan air bebas pada permukaan daun tanaman, memegang peranan penting dalam epidemic penyakit tanaman pada umumnya. Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan tanaman inang menjadi sukulen dan rentan terhadap pathogen.

4. Irigasi

Irigasi dapat berpengaruh terhadap perkembangan penyakit melalui berbagai hal. Adanya irigasi dapat berpengaruh terhadap perkembangan suatu penyakit baik secara langsung ataupun tidak langsung. Secara langsung irigasi dapat menyebabkan tanaman lebih rentan terhadap pathogen sedangkan secara tidak langsung adanya irigasi dapat

menurunkan temperature disekitar tanaman dan meningkatkan kelembaban sehingga memungkinkan perkembangan suatu penyakit lebih cepat.

5. Angin

Angin berpengaruh terhadap perkembangan penyakit melalui perannya dalam penyebaran inter dapat di inokulum. Bertiupnya angin dapat menyebarkan spora jamur dan serangga vector sampai jarak yang sangat jauh, bisa sampai antara wilayah, antar provinsi, antar Negara bahkan antar benua. Spora pathogen 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 pathogen-patogen luka dan air borne untuk menginfeksi inangnya. Hembusan sangat menguntungkan bagi bakteri, jamur dan lain sebagainya untuk merusak tanaman yang tanam oleh petani.

F. Penyakit tanaman dan kehilangan hasil

Penyakit pada tanaman menyebabkan hasil pertanian menjadi rusak dan merug yang pada akhirnya petani harus mengeluarkan biaya yang ekstra untuk menanggulangi atau tidak panen sama sekali. Dengan adanya penyakit tanaman dapat mengakibatkan bahan pokok yang tersedia dipasaran menjadi kosong atau tidak memiliki stok sama sekali yang akan mengakibatkan harga bahan pokok menjadi naik yang sangat mahal. Kehilangan hasil atau gagal panen merupakan pengurangan hasil baik secara kualitas dan kuantitas.

Macam-macam kerugian di pertanian:

1. Kerugian hasil potensi dan actual

Kerugian hasil potensial adalah kehilangan yang diakibatkan karena tidak adanya tindakan pengendalian. Dengan petani mendapatkan pengetahuan mengenai epidemiologi terhadap lingkungan suatu pathogen dan tentang kapasitasnya untuk menyebarkan sangat diperlukan untuk merancang pencegahan introduksi baru.

2. Kerugian actual

Kerugian actual adalah kerugian yang telah dan sedang terjadi. (Khater, dkk, 2016) Ada 2 jenis kerugian yaitu:

(1) Kerugian tidak langsung

Kerugian tidak langsung adalah kerugian yang dirasakan oleh petani secara mendadak. Kerugian tersebut meliputi kerugian terhadap komunitas pedesaan dapat dirasakan langsung oleh masyarakat dipedesaan yang biasanya memiliki penghasilan tetap tetap dalam desa yang berasal dari hasil panen petani tetapi Karena kerugian yang didapat akibat dari tanaman yang terserang penyakit yang menurunkan hasil pendapatan seperti contoh suatu desa yang selalu memiliki hasil dari kebun teh yang memiliki penghasilan tetap karena terserang penyakit tanaman yang mengakibatkan hasil dari komunitas pedesaan tersebut menjadi turun dan berpengaruh terhadap keuangan petani dan komunitas.

Kerugian pada petani yang mengakibatkan pendapatan yang dapat memaksakan mereka untuk menghentikan usaha pertanian. Meninggalkan usaha pertanian merupakan efek tidak langsung dari penyakit tanaman, tetapi meninggalkan usaha petani juga dapat menimbulkan efek secara langsung.

Hasil ekspor merupakan sumber penting pada skala nasional seperti contoh hasil dari kopi dan coklat yang hanya ada di Negara tropis yang merupakan pendapatan pasti dinegara tropis. Ekspor produk dalam jumlah besar dapat terinfeksi oleh jamur nonpatogenik yang berbahaya bagi konsumen.

Seseorang harus membayar kerugian yang terjadi seperti pedagang besar/kecil, Umumnya kerugian yang terjadi selama penyimpanan, transport, perdagangan borongan dan eceran setelah panen cukup beragam tergantung pada komoditas dan kondisi konsumen.

Lingkungan adalah kerugian yang paling nyata berdampak berupa polusi udara akibat penggunaan bahan-bahan kimia dalam pengolahan hasil pertanian seperti penggunaan pestisida. Polusi akibat penggunaan dari fungisida dan insektisida yang mengandung copper pada kebun apel mengurangi populasi cacing tanah padahal cacing tanah dapat membantu dalam mengendalikan penyakit kudis pada apel.

(2) Kerugian langsung

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

Kerugian primer yaitu kerugian yang sebelum dan sesudah yang disebabkan oleh penyakit tanaman yang mengakibatkan menjadi gagal panen. Kerugian ini terjadi dari awal yaitu pada saat penyimpanan, perkecambahan, pertumbuhan dan panen

hasil sampai ke penanganan dan penyimpanan. Hasil ini erlanjut sampai ke tanan konsumen yang berawal dari pengangkutan, perdagangan grosir dan eceran. Kerugian primer terdiri dari meningkatnya biaya-biaya produksi.

Kerugian sekunder yaitu kerugian dalam kapasitas hasil dari pertanaman berikutnya. Efek kumulatif dari penyakit-penyakit yang ditularkan oleh tanah, benih dan umbi pada tanaman semusim telah dikenal luas. Pada sudut pandang ekonomis, kerugian ini seperti kehilangan modal terinvestasi di dalam tanah,benih atau pohon secara berkelanjutan pada tingkatan lahan pertanian.

(3) Kerugian lainnya

Kerugian incidental terjadi hanya pada interval sekali atau secara tak beraturan. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat kondisi iklim yang ekstrim yang berlangsung selama periode waktu yang lama yang menyebabkan terjadinya epidemic.aspek ekonomis dari erugian regular pada tanaman semusim dan tahunan hampir sama yitu berupa kehilangan pendapatan.

Kerugian transisional adalah suatu cirri sementara alam, ini terjadi apabila petani berubah dari satu system pertanian ke sistim lainnya. Ada banyak contoh kerugian transisional.

Kerugian structural yaitu kerugian yang tidak dapt dihindari pada kondisi pertanian seperti contoh akibat penyakit sigatoka leaf spot pada pisang di tropika basah.

Hidden losses yaitu kelanjutan pada suatu tanaman normal yang lebih rendah dari hasil potensialnya sebab ini melibatkan pertumbuhn suatu tanaman yang seluruh kerugian dicegah.

Daftar Pustaka

Agrios, G. 2005. Plant Pathology. Academic Press. ISBN 978-0-12-044565-3.

Islam,W.J. et al. 2017. Plant virus ecology: A glimpse of recent accomplishments.
Appl. Ecol. Env. Res. 15(1): 691-705.

Khater, M., A. de la Escosura-Muniz, and A. Merkoci. 2016. Biosensors for plant pathogen detection. Biosensors and Bioelectronics 93: 72-86

- Noman, A.R et al. 2016. Success of transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Fiction or re-ality? *Cogent OA*. 2: 1207844.
- Nurhayati. 2011. *Epidemiologi Penyakit Tanaman*. Percetakan universitas Sriwijaya. Palembang
- Van der plank, J.L. 1963. *Plant Disease: Epidemics and Control*. New York : Academic Press.
- Zadoks, J.C, and R.D Schein. 1979. *Epiemiology and Plant Disease Management*. New York : Oxford University Press.

Genetics and Variability Of Phatogenesis

Indonesia merupakan salah satu negara dibagian Asia Tenggara yang di kenal dengan sumber daya alamnya yang luar biasa. Hal ini di buktikan dengan kekayaan alam yang di milikinya, baik dalambidang minyak bumi, batubara, perikanan, kehutanan dan pertanian. Indonesia juga di kenal sebagai negara maritime dan agraris. Dikatakan sebagai negara maritime karena 2/3 bagian dari Indonesia adalah lautan, sedangkan di katakan sebagai negara agraris karena sebagian besar penduduknya berprofesi sebagai petani.

Pertanian merupakan salah satu sektor yang sangat penting dalamsuatu bangsa atau negara karena perannya sebagai sumber devisa negara, sumber pendapatan penduduk, sumber penyediaan bahan baku industri, sebagian penyediaan lapangan pekerjaan dan yang terpenting sebagai sektor yang memenuhi kebutuhan pangan dalam negeri. Bahkan Ir. Soekarno pernah berkata “pangan adalah kunci hidup matinya suatu bangsa”.

Dengan letak geografis dan iklim yang baik, membuat tanah di wilayah-wilayah Indonesia subur dan tumbuhan dengan berbagai jenis dapat tumbuh dengan mudah. Namun daripada itu, permasalahan dalambidang pertanian terus bermunculan, yang mengakibatkan menurunnya hasil produksi pada bidang pertanian. Misalnya seperti di Kalimantan Timur, salah satu desa di Kalimantan Timur yaitu Desa Mulawarman, Kabupaten Kutai Kartanegara pernah menjadi lumbung padi karena menghasilkan padi yang berlimpah, namun sekarang sudah tidak lagi, karena produksinya yang sangat menurun yang di sebabkan alih fungsi lahan. Secara umum permasalahan pada bidang pertanian yaitu alih fungsi lahan, kurangnya jumlah petani dan kurangnya tenaga penyuluh. Hal itu di sampaikan oleh wakil ketua komite II

Dewan Perwakilan Daerah (DPD), Ari Muhammad Mirza Wardana ia mengatakan permasalahan yang kini di alami petani di kalimantan timur adalah kurangnya tenaga penyuluh.

Secara spesifik, salah satu permasalahan terbesar pada bidang pertanian yaitu hama dan penyakit tanaman. Ketika manusia masih menggunakan sistem (Shifting Cultivation) atau ladang berpindah, dan manusia belum mengenal bercocok tanam, ekosistem masih seimbang, yang artinya jumlah hara yang dikeluarkan masih seimbang dengan hara yang dimasukkan. Misalnya seperti hutan, daun yang berguguran terurai kembali dan menjadi pupuk untuk memenuhi kebutuhan unsur hara hutan tersebut. Namun setelah manusia mengenal bercocok tanam, keseimbangan ekosistem mulai terganggu, dan dimulai dari situlah asal muasal munculnya hama dan penyakit pada tanaman. Secara umum, hama dan penyakit memiliki definisi yang berbeda. Hama adalah hewan atau binatang yang dapat memberikan kerugian pada manusia khususnya pada bidang pertanian. Ciri-ciri bahwa tanaman diserang hama dapat dilihat langsung menggunakan mata telanjang karena kerusakan yang diakibatkan oleh hama sangat jelas, seperti bekas gigitan, tanaman rebah, bahkan mati. Sedangkan penyakit tanaman adalah keadaan dimana tanaman terganggu atau terhambat pertumbuhannya yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti musim, cuaca, iklim bahkan bisa juga disebabkan oleh hama. Jika gangguan tanaman oleh organisme hama didominasi oleh kelompok serangga dan hewan pengerat, maka pada serangan penyakit tanaman disebabkan oleh fungi, bakteri, virus dan mikroplasma. Oleh sebagian para ahli, nematoda juga dianggap sebagai patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Hama dan penyakit akan menyerang tanaman jika adanya tiga faktor atau biasa dikenal dengan segitiga penyakit (Agrios, 1997) yaitu:

- (1) Inang atau tumbuhan di mana pathogen memperoleh makanan atau kebutuhan hidupnya
- (2) Patogen yaitu organisme penyebab penyakit;
- (3) Lingkungan terutama yang bersifat abiotik: suhu, kelembaban, curah hujan, angin, intensitas sinar matahari.

Dari permasalahan tersebut, dalam dunia pertanian terdapat ilmu yang mempelajari mengenai penyakit tanaman yang biasa dikenal dengan Ilmu Penyakit Tanaman. Ilmu Penyakit Tanaman adalah ilmu yang mempelajari tentang segala macam faktor-faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman. Kerusakan yang dimaksud yaitu kerusakan yang disebabkan oleh aktifitas atau serangan organisme di dalam bagian tubuh tanaman, di luar

tubuh tanaman, atau di sekitarnya. Didalam tubuh tanaman biasanya dilakukan oleh organisme yang menginfeksi bagian tubuh tanaman seperti pada daun, batang dan perakaran, organisme yang melakukan perusakandi antaranya:fungi, bakteri, virus, serangga baik faseulat maupun fase dewasa. Di bagian luar tubuh tanaman dilakukan oleh berbagai jenis dari golongan organisme seperti di atas. Gangguan dari bagian sekitartubuh tanaman misalnya, pengaruh persaingan dengan gulma dalam mendapatkan air, hara, sinar matahari, dan kebutuhan hidup lainnya. Kerusakan-kerusakan yang dimaksud bukan karena kesalahan atau kelemahan dari sistem budidaya dan eksploitasi, karena kedua masalah tersebut ditangani oleh ahli masing-masing. Khusus untuk masalah gulma, terdapat ilmu tersendiri yaitu Ilmu Gulma yang akan diberikan pada mahasiswa-mahasiswa Pertanian.

Organisme yang menyebabkan penyakit disebut patogen, yang menyerang tanaman dengan cara (yang disebut juga patogenitas) sebagai berikut:

- (1) Mengonsumsi isi sel tumbuhan
- (2) Membunuh atau mengganggu metabolisme tumbuhan melalui toksin, enzim atau zat tumbuh.
- (3) Melemahkan tumbuhan dengan menghisap isi sel untuk digunakan sendiri.
- (4) Memblokir jaringan pembuluh.

Kemampuan patogen untuk menimbulkan penyakit disebut patogenitas sedangkan rangkaian proses penimbunan penyakit disebut patogenesis.

Daur Penyakit (Disease Cycle)

Disease Cycle adalah daur terjadinya penyakit yang melibatkan perubahan pada tumbuhan dan gejala tumbuhan serta perubahan kehidupan patogen pada masa periode dalam satu musim (tanam) dan dari satu musim tanam ke musim tanam berikutnya

Daur penyakit merupakan proses dalam pathogenesis meliputi:

- (1) Inokulasi yaitu proses kontak antara inokulum dengan tumbuhan inang pada saat inokulasi berhasil pendaratan atau sampainya inokulum ke bagian tanaman atau kondisi predisposisi patogen sangat menentukan tahap awal dari proses terjadinya penyakit;
- (2) Penetrasi yaitu masuknya patogen ke dalam jaringan tanaman inang misalnya melalui kutikula, sel epidermis, atau ruang interselular; proses ini dimulai dengan perkecambahan spora (pada kasus patogennya adalah fungi) atau munculnya tabung kecambah yang kemudian berkembang menjadi struktur yang berperan untuk

melekatkan diri ke permukaan inang, kemudian tumbuh haustorium yaitu suatu struktur atau organ yang berperan khusus mengambil makanan;

- (3) Penetrasi atau proses masuknya patogen dan atau bagian tubuh patogen ke dalam tubuh tanaman bisa melalui lubang alami atau melalui luka seperti yang biasa dilakukan oleh bakteri; virus masuk melalui luka yang dibuat oleh (serangga) vektornya, sedangkan fungi melakukan penetrasi selain melalui lubang alami dan luka juga melakukan penetrasi langsung dengan menggunakan apresorium yang merupakan ujung hifa yang runcing.
- (4) Infeksi yaitu proses patogen mengadakan kontak dengan sel-sel jaringan tumbuhan yang peka dan mengambil makanan dari inangnya sehingga timbul penyakit. Untuk terjadinya infeksi maka, ada tiga kondisi yang harus terpenuhi yaitu organisme harus dalam keadaan patogenik, tumbuhan inang yang peka, dan kondisi lingkungannya sesuai. Batas waktu atau jarak antara infeksi pada tumbuhan dan timbulnya gejala penyakit disebut periode inkubasi
- (5) Invasi atau fase penyerangan, di mana untuk fungi akan tumbuh miselium di dalam sel-sel dilapisan atau jaringan kutikula, epidermis, atau jaringan lainnya atau dapat juga menyelimuti permukaan sel-sel atau jaringan pada saat ini miselium dapat menyebar atau tumbuh berkembang secara intraselular atau interselular. Bakteri sebagai sel tunggal dan virus menyerang secara intraselular atau masing-masing melakukan pertumbuhan di dalam sel, sedangkan fungi bisa tumbuh dari satu sel menembus sel lainnya;
- (6) Pertumbuhan dan reproduksi, patogen tumbuh menghasilkan struktur tubuh yang biasa digunakan untuk kelangsungan hidup jenis ini di luar sistem patogenitas atau untuk keperluan tumbuh dan hidup di sistem patogenitas yang baru atau pada inang yang baru dan dikenal sebagai inokulum yaitu seperti: spora, miselium konidium, sklerotium, kladospora.
- (7) Diseminasi atau pemencaran atau penyebaran inokulum yaitu pemindahan inokulum patogen dari suatu sumber (di bagian inang yang terserang patogen) ke inang lainnya.

Pemencaran inokulum dilakukan melalui:

- i. Udara aliran udara akan memindahkan atau memencarkan inokulum;
- ii. Melalui air dapat dalam bentuk: tersebar melalui air hujan dan air irigasi yang bergerak ke permukaan tanah, pemindahan inokulum melalui percikan air hujan atau penyemprotan.

- iii. Pemencaran oleh manusia. Ketika patogen merampung seluruh langkah tersebut, maka patogen dikatakan sudah menyelesaikan siklus penyakitnya. Dari satu siklus, maka reproduksilainnya di permukaan tubuh inang.

Tanaman yang terserang hama maupun penyakit biasanya ditandai dengan gejala. Gejala adalah kelainan atau penyimpangan dari keadaan normal yang ditunjukkan oleh tumbuhan atau tanaman. Suatu penyakit pada tanaman dapat menimbulkan gejala yang berbeda atau dapat pula sama dari tanaman-tanaman yang berbeda jenisnya. Apabila beberapa penyakit bersama-sama menyerang satu tanaman, maka gejala yang ditunjukkan oleh tanaman akan sangat sulit untuk dipisahkan atau ditentukan penyebab utama karena gejala yang timbul merupakan suatu campuran. Pengetahuan mengenai gejala penyakit sangat penting untuk diketahui agar penyebab sakitnya tanaman dapat diketahui, sehingga tindakan pencegahan pengendaliannya segera dapat dilakukan. Gejala tanaman sakit dapat dibagi berdasarkan sifat gejala yang timbul, pengaruh langsung dan tidak langsung, berdasarkan ukuran gejala, serta secara morfologis dan anatomis.

Berdasarkan sifat gejala yang timbul, gejala tanaman yang sakit dibagi menjadi:

- a) Gejala lokal (local symptoms): gejala timbul hanya terbatas pada bagian-bagian tanaman tertentu saja misalnya penyakit pada daun, akar atau buah.
- b) Gejala sistemik (systemic symptoms): gejala yang timbul disebabkan oleh penyakit yang menyerang seluruh bagian tanaman: misalnya yang disebabkan oleh virus, diseluruh bagian tanaman terdapat virus walaupun tepat infeksi pada bagian tertentu dari tanaman tersebut.

Berdasarkan pengaruh langsung dan tidak langsung, gejala tanaman sakit dibagi menjadi:

- a) Gejala primer (primary symptoms): gejala yang timbul langsung dibagian tanaman tempat infeksi;
- b) Gejala sekunder (secondary symptoms); gejala yang timbul pada jaringan yang tidak diserang yang timbul secara tidak langsung akibat adanya patogen (penyebab penyakit) di dalam tanaman.

Berdasarkan ukurannya, gejala tanaman sakit dibedakan menjadi:

- a) Gejala mikroskopis (microscopic symptoms): gejala suatu penyakit hanya dapat dilihat bila menggunakan alat pembesar (mikroskop)
- b) Gejala makroskopis (macroscopic symptoms): gejala suatu penyakit yang dapat dilihat dengan mata telanjang.

Secara morfologi dan anatomi gejala penyakit tumbuhan dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) **Hyperplasia** adalah pertumbuhan luar biasa oleh perpanjangan atau pembesaran sel-sel, dinamakan juga hipertropi. Gejala ini meliputi:
 - a) **Curl (kriting)** ialah gejala pembengkakan tunas atau pengulungan daun sebagai akibat pertumbuhan tunas atau pengulungan daun sebagai akibat pertumbuhan setempat dari suatu bagian anggota tubuh.
 - b) **Scab (kudis)** adalah bercak-bercak yang tersembul ke atas dan kasar sebagai akibat pertumbuhan luar biasa dari sel epidermis dan jaringan di bawahnya.
 - c) **Intumesensi** adalah gejala kekurangan zat makanan akibat pengembangan setempat sel epidermis.
 - d) **Tumefaksi (tumefacion)** adalah penumpukan bahan makanan yang berlebihan dibagian atas batang atau akar sehingga menimbulkan pembengkakan; bentuk-bentuknya adalah: puru (galls), bintil (knots), dan kutil (warts)
 - e) **Fasikulasi (fasciculation)** yaitu bentuk pertumbuhan yang menyimpang suatu organ;
 - f) **Proliferasi** yaitu pertumbuhan yang melebihi ukuran normal
- 2) **Hipoplasia** yaitu pertumbuhan regresif dengan ukuran sel-sel; atau ukurannya tidak dapat mencapai ukuran normal atau kerdil (dwarf).
- 3) **Perubahan warna** terdiri dari:
 - a) **Bercak kuning**, dengan ciri-ciri berdasarkan patogen yang meyerangnya. Bercak kuning tidak teratur (disebut mosaik) biasanya disebabkan oleh virus bentuk bercak tampak seperti karat, leaf spot, dan bentuk lain yang menyerupainya, biasanya disebabkan oleh jamur misalnya; bercaknya bulat dan kecil, biasanya disebabkan oleh bakteri
 - b) **Mati pucuk (dieback)**
 - c) **Daun keperak-perakan (shilvery shine)**
 - d) **Bercak air (water spot)**
 - e) **Bercak seperti berlemak**
- 4) **Kekeringan atau layu** yaitu gejala dengan ciri gugurnya daun yang diikuti keringnya batang dan tunas. Penyebab dapat berupa jamur, bakteri dan virus. Gejala yang termasuk dalam kelompok ini diantaranya damping off yaitu gejala

penyakit persemaian yang menunjukkan kematian bagian tanaman yaitu pada jaringan sel pangkal perakarannya

- 5) Nekrosis yaitu matinya jaringan baik pada kulit kayu maupun daun yang disebabkan oleh patogen meliputi gejala:
 - a) Blight yaitu kematian yang cepat dari seluruh anggota tubuh tumbuhan atau bagian luas dari daun termasuk tulang daun karena aktifitas patogen.
 - b) Terbakar (scorch/burn) yaitu daun yang menunjukkan kematian yang cepat dan meliputi bagian yang luas dan tidak teratur.
 - c) Blast yaitu kematian yang cepat dari bagian pucuk atau bagian perbungaan.
 - d) Busuk kering (dry rot atau bark rot) terdapat pada kulit kayu; disebabkan oleh fungi. Jika jaringan kalus terbentuk pada tepi bagian yang kena infeksi, maka akan terbentuk kanker.
 - e) Busuk basah (wet rot) adalah nekrosis berlendir dan basah, bercak tidak mempunyai bentuk yang khusus termasuk dalam gejala inisial yang disebabkan oleh fungi, nematoda dan virus adalah busuk akar (root rot) dan damping off
- 6) Tumbuhnya fungi dipermukaan daun diantaranya:
 - a) Powdery mildew disebabkan oleh fungi Ascomycetes di mana hifa tubuh pada permukaan daun.
 - b) Downy mildew disebabkan oleh fungi Phycomycetes dimana sporangiofor atau sporangium membentuk lapisan berwarna putih keabu-abuan pada permukaan daun.
 - c) Scoty mildew dimana hifa berwarna hitam menutupi permukaan daun
 - d) Rhizomorfa yaitu struktur miselium fungi Basidiomycetes yang berbentuk tali atau ban.

Penyebab timbulnya penyakit tanaman secara garis besar dibagi menjadi tiga golongan patogen utama, tiga golongan patogen tersebut yaitu jamur (cendawan), bakteri, dan virus.

1) Fungi (Jamur)

Jamur (*fungi*) merupakan organisme yang bersifat eukariotik dan tidak memiliki klorofil. Jamur (*fungi*) melakukan reproduksi secara aseksual menghasilkan spora, kuncup, dan fragmentasi. Sedangkan reproduksi secara seksual dengan zigospora, askospora, dan basidiospora. Jamur (*fungi*) hidup ditempat-tempat yang lembap, air laut, air tawar,

ditempat yang asam dan bersimbiosis dengan ganggang yang kemudian membentuk lumut (*lichenes*). Dengan tidak adanya klorofil, maka fungi tidak akan mengadakan transpirasi, respirasi, dan fotosintesis, dapat hidup sama baik di tempat gelap atau tempatterang, sinar matahari langsung tidak di perlukan, makananya dari zat organik hidup lainnya atau zat organik yang mati.

Fungi tumbuh dan bersiklus dimulai dari spora. Spora adalah bagian tubuh fungi berukuran sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan alat pembesar dan bentuknya dapat bermacam-macam. Spora dihasilkan oleh kotak spora yang disebut sporofor. Sporofor mempunyai bentuk tersendiri yang berbeda dengan bentuk vegetatifnya. Ukurannya bervariasi dari beberapa mikron sampai beberapa cm, banyak di antaranya diambil manusia untuk dimakan dan disebut sebagai fungi; biasanya dapat bertahan dari beberapa jam sampai beberapa tahun bahkan ada yang dapat berumur sampai 75-80 tahun. Sebuah sporofor dapat menghasilkan beberapa spora sampai beberapa juta spora. Untuk berkecambah spora membutuhkan kondisi cuaca tertentu, misalnya kelembapan yang tinggi. Spora yang berkecambah menghasilkan tabung kecil seperti benang yang akan tumbuh cepat dan bercabang-cabang membentuk miselium.

Dalam kehidupannya, jamur mempunyai dua fase atau stadia yaitu:

- (i) Bentuk vegetatif yaitu suatu stadia dimana fungi melakukan pembelahan dan menghasilkan struktur yang akan digunakan dalam perkembangbiakannya,
- (ii) Bentuk reproduktif yaitu fungi memperbanyak diri dengan spora yang berfungsi seperti biji-biji dari tanaman.

Perkembangan-biakan secara vegetatif dilakukan fungi dengan cara:

- (i) Hifa tumbuh dan menghasilkan tunas (blatospora) yang akan tumbuh sebagai koloni baru
- (ii) hifa mengalami fragmentasi dan masing-masing potongannya tumbuh membentuk koloni baru,
- (iii) menghasilkan konidia yaitu bagian ujung tertentu

Jamur (Fungi) memiliki ciri-ciri tersendiri, yaitu :

- Tidak memiliki klorofil, sehingga jamur merupakan tumbuhan yang hidup sebagai parasit.
- Mempunyai inti sejati.

- Tubuh terdiri atas satu sel atau banyak sel.
- Tubuh memiliki berupa benang-benang halus yang disebut hifa.
- Tubuh belum dapat dibedakan antara akar, batang, dan daun.
- Menyimpan makanan dalam bentuk glikogen.
- Dinding sel tersusun oleh zat kitin.
- Berkembang biak dengan membentuk spora, dan membelah diri.

Jamur memiliki berbagai klasifikasi, yaitu :

a) ***Zygomycota***

Jamur *Zygomycota* memiliki ciri-ciri :

- Hidup sebagai saprofit.
- Tubuh bersel banyak dan hifa membentuk anyaman (miselium) dan tidak memiliki sekat.
- Reproduksi aseksual dengan membentuk spora, sedangkan reproduksi seksual dengan menghasilkan zigospora
- Hampir semua kelompoknya hidup didarat.

b) ***Ascomycota***

Jamur *Ascomycota* memiliki ciri-ciri :

- Mempunyai struktur khusus seperti kantong.
- Tubuhnya ada yang berbentuk uniseluler dan ada yang berbentuk multiseluler.
- Hifanya memiliki sekat dan berinti banyak.
- Hidupnya ada yang bersifat *parasit*, *saprofit*, dan ada yang bersimbiosis dengan ganggang yang kemudian membentuk lumut.
- Reproduksi secara *vegetatif* dengan membentuk tunas-tunas, dan spora , sedangkan secara generatif membentuk askus yang menghasilkan *askospora*.

c) ***Basidiomycota***

Basidiomycota memiliki ciri-ciri :

- Memiliki hifa yang bersekat-sekat, dan dari hifa tersebut tumbuh tubuh buah yang bentuknya beraneka ragam.

- Ujung miselium akan menggelembung kemudian membentuk basidium untuk memproduksi empat spora bertangkai.
- Berkembang biak secara seksual yaitu dengan basidiospora dan secara aseksual dengan konidiospora.
- Kebanyakan berukuran sangat kecil atau makroskopis, dan hidup sebagai parasit dan saprofit

d) **Deuteromycota**

Jamur *Deuteromycota* memiliki ciri-ciri :

- Perkembangbiakan aseksual dengan konidia.
- Hifanya memiliki sekat.
- Hidup sebagai saprofit dan parasit.
- Tubuh berukuran mikroskopis.

2) **Bakteri**

Bakteri adalah mikroorganisme bersel satu yang dapat ditemukan di beberapa lingkungan seperti tanah, air, udara serta hidup di dalam tubuh makhluk hidup seperti hewan, tumbuhan, atau manusia. Bakteri berasal dari bahasa Yunani yaitu dari kata *bacterion* yang berarti batang kecil. Bakteri merupakan organisme yang paling banyak dari semua organisme. Meski ukurannya yang sangat kecil dan tidak dapat dilihat tanpa bantuan mikroskop, bakteri ada di mana saja baik itu di tanah, air, udara dan tubuh makhluk hidup.

Berikut adalah beberapa ciri ciri bakteri :

- Bersel satu dan sangat sederhana.
- Prokariotik.
- Kandungan kromosomnya yaitu haploid (n).
- Hidup secara autotrof atau heterotrof.
- Berkembang biak dengan cara seksual dan aseksual.
- Memiliki beberapa macam bentuk sel, yaitu batang, bulat, spiral, dan beberapa bentuk lainnya.
- Ada yang memiliki alat untuk gerak berupa flagel dan ada yang tidak. Memerlukan kelembapan yang tinggi untuk kehidupannya yaitu sekitar 85%. Secara Seksual

Secara struktur, bakteri tersusun atas kapsul, materi genetik, dinding sel, membran sel, sitoplasma, ribosom, bulu cambuk, dan plasmid

a) Kapsul

Kapsul adalah selubung atau pelindung bakteri yang tersusun atas polisakarida. Hanya bakteri yang bersifat patogen yang mempunyai kapsul. Fungsi kapsul adalah untuk melindungi dari kekeringan dan mempertahankan dari antitoksin yang dihasilkan oleh sel inang.

b) Materi Genetik

DNA bakteri terdapat pada daerah tertentu yang disebut nukleoid. DNA berfungsi mengendalikan sintesis protein dan merupakan zat pembawa pewarisan sifat

c) Dinding Sel

Dinding sel bakteri tersusun atas protein yang berikatan dengan polisakarida. Dinding sel terletak di luar membran sel. Dinding sel berfungsi untuk melindungi sel bakteri terhadap lingkungannya dan menjaga bentuk bakteri agar tidak berubah.

d) Membran Sel

Membran sel tersusun atas molekul lemak dan protein serta bersifat semipermeabel. Fungsinya adalah untuk membungkus plasma dan mengatur pertukaran mineral dari sel ke luar sel.

e) Sitoplasma

Sitoplasma adalah cairan yang terdapat di dalam sel. Sitoplasma mengandung berbagai molekul organik seperti karbohidrat, lemak, protein, dan mineral. Sitoplasma merupakan tempat terjadinya reaksi-reaksi metabolisme.

f) Flagel

Flagel adalah alat untuk bergerak pada bakteri sehingga membantu bakteri untuk mendekati makanan atau menjauh jika ada racun atau bahan kimia.

g) Ribosom

Ribosom tersusun dari protein, ribosom terlihat seperti struktur kecil yang melingkar. Ribosom berfungsi dalam proses sintesis protein.

h) Plasmid

Selain DNA, bakteri juga mempunyai plasmid. Plasmid mengandung beberapa

gen-gen tertentu, misalnya gen kebal antibiotik dan gen patogen. Plasmid mampu memperbanyak diri, dalam satu sel bakteri bisa terbentuk sekitar 20 Plasmid.

Cara bakteri bereproduksi yaitu secara seksual melalui transduksi, transformasi, dan konjugasi atau secara aseksual dengan cara pembelahan biner atau diri.

- 1) Transduksi adalah pemindahan materi genetik melalui perantara virus. Proses ini diawali dengan masuknya virus ke dalam bakteri, kemudian virus akan berkembang biak sehingga menyebabkan sel bakteri yang dimasukinya mengalami pecah, dan virus yang baru terbentuk akan berhamburan keluar dari sel bakteri.
- 2) Transformasi
Transformasi adalah pemindahan sedikit materi genetik dari bakteri satu ke bakteri yang lain
- 3) Konjugasi
Konjugasi adalah perkawinan antara kedua sel kelamin bakteri.

Secara Aseksual

Perkembang biakan bakteri secara aseksual adalah dengan cara membelah diri. Bakteri akan membelah diri dari 1 menjadi 2 sel anakan, 2 menjadi 4, dan seterusnya. Pembelahan diri bakteri akan selesai setelah terbentuknya dinding sel. Dalam kondisi yang ideal, bakteri akan melakukan pembelahan diri setiap 15-20 menit. Meskipun bakteri mampu berkembang biak secara cepat, namun pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah suhu, sinar matahari, kelembapan, dan zat kimia.

Berdasarkan cara hidupnya bakteri di bagi menjadi 2 yaitu heterotrof dan autotrof :

- 1) Heterotrof
Heterotrof adalah bakteri tidak bisa membuat atau memproduksi makanannya sendiri, dibagi menjadi parasit (Hidup pada inang), dan saprofit (Menguraikan sampah organik).
- 2) Autotrof
Autotrof adalah bakteri yang bisa membuat atau memproduksi makanannya sendiri, terbagi menjadi fotoautotrof (Membuat makanan dengan bantuan cahaya), dan kemoautotrof (Membuat makanan dengan bantuan senyawa kimia).

Berdasarkan kebutuhan oksigennya bakteri di bagi menjadi 2 yaitu aerob dan anaerob :

1) Aerob

Aerob adalah bakteri yang untuk hidupnya membutuhkan oksigen, terbagi menjadi obligat (Sangat membutuhkan oksigen), dan fakultatif (Bisa hidup tanpa oksigen atau ada oksigen).

2) Anaerob

Anaerob adalah jenis bakteri yang tidak membutuhkan oksigen untuk hidupnya

3) Virus

Pada tahun 1950, Seorang ilmuwan bernama Bawden mendefinisikan virus, yaitu suatu patogen parasit obligat yang ukurannya lebih kecil dari 200 nm. Definisi tersebut di ambil berdasarkan ukuran virion, kepatogenan, dan ketidakmampuan virus bereplikasi di luar sel inang. Definisi berdasarkan ukuran tidak dapat membedakan antara patogen lain, seperti mikoplasma dan rickettsia yang juga dapat melewati saringan yang tidak dapat dilewati bakteri. Gibbs dan Harrison (1976) mendefinisikan virus sebagai suatu parasit yang dapat menular, mempunyai genom dengan bobot molekul lebih kecil dari 3×10^8 dalton, dan membutuhkan komponen lain pada sel inang untuk memperbanyak diri. Definisi ini juga tidak dapat memuaskan karena termasuk ke dalamnya viroid yang mempunyai genom lebih kecil dari 105 dalton. Definisi virus yang lebih kompleks oleh Matthews, yaitu virus adalah satu set dari satu atau lebih molekul genom berupa molekul RNA atau DNA, biasanya dibungkus oleh selubung pengaman berupa protein selubung atau lipoprotein dan hanya dapat bereproduksi atau memperbanyak diri dalam sel inang yang sesuai dengan memanfaatkan metabolisme, materi, dan energi dari sel inang. Virus dapat didefinisikan sebagai “organisme bukan sel yang mempunyai genom yang hanya dapat bereplikasi dalam sel inang menggunakan perangkat metabolisme sel inang untuk membentuk seluruh komponen virus”. Virus dapat diartikan sebagai agen infeksi yang tidak memiliki sel dan memiliki 2 karakteristik,

yaitu:

- 1) Mengandung asam nukleat (DNA atau RNA) di dalam pelindung protein (*protein coat*)
- 2) Tidak dapat bereproduksi sendiri (hanya dapat bereproduksi jika bahan genetiknya memasuki sel inang dan mengambil alih prosesnya)

Berdasarkan pengertian diatas, dapat disimpulkan bahwa Virus adalah organisme nonseluler yang tersusun dari protein dan berukuran sangat kecil atau mikroskopis dan memiliki sifat parasit obligat (hanya mampu hidup di dalam sel yang masih hidup). Virus memiliki sangat banyak jenisnya, mulai dari envelope, prolate, helical, dan complex. Oleh karena itu kita ambil yang umum saja yaitu T virus atau bakteriofag. Virus bakteriofag memiliki bentuk seperti laba laba , Virus yang utuh adalah virus yang memiliki kepala, ekor, tabung ekor dan termasuk kaki.

Dalam kepala virus bakteriofag terdapat materi genetik atau pusat informasi keturunan yang dilindungi oleh selubung protein yang disebut kapsid. Kapsid sendiri tersusun oleh subunit kecil protein yang disebut kapsomer. Tabung pada virus bakteriofag tersebut digunakan sebagai alat untuk memasukkan materi genetik pada proses infeksi virus ke sel inang. Kemudian dalam kondisi yang pas, virus akan mulai memperbanyak diri dalam sel inang dan kemudian meledakkan sel inangnya. Setelah melakukan infeksi virus memerlukan jeda waktu untuk penyusunan ulang dan memperbanyak diri dan waktu jeda itu di sebut waktu inkubasi.

Ukuran virus untuk ukuran normalnya adalah 20-450 nm. Akan tetapi virus terbesar pernah ditemukan berdiamater 500 nm dan panjang 700-1000 nm. Kalau kita bertanya – tanya bagaimana cara mengukur virus yang sangat kecil tersebut yaitu dengan menggunakan metode sentrifugasi ultra high speed (kecepatan sangat tinggi).

Berikut adalah beberapa ciri ciri virus:

- Virus hanya memiliki satu jenis materi genetik saja yaitu DNA saja atau RNA saja.
- Virus memiliki materi genetik yang unik yaitu DNA rantai tunggal serta ada juga yang RNA rantai ganda. Sedangkan pada sel hanya ditemukan DNA rantai ganda dan RNA rantai tunggal.
- Virus tidak menghasilkan ATP.
- Virus tidak melakukan penyusunan protein karena virus tidak memiliki ribosom melainkan mengambil dari inangnya.
- Virus tidak memiliki membran lipid
- Virus tidak dapat dipengaruhi oleh antibiotik , akan tetapi sel inangnya dapat dipengaruhi.
- Virus tidak memiliki organel seperti sel.

- Virus pada umumnya memiliki reseptor khusus sehingga hanya menginfeksi yang bersesuaian dengan reseptor tersebut.
- Virus memiliki dua daur replikasi diri yaitu daur litik dan daur lisogenik dan semuanya berlangsung dalam sel inang.
- Virus berukuran sangat kecil yaitu sekitar 20 -450 nm.

Virus tumbuhan berbeda dengan virus yang menyerang hewan atau bakteri. Salah satu perbedaan dari kedua virus tersebut adalah mekanisme penetrasi virus ke dalam sel inang. Virus tumbuhan hanya dapat masuk ke dalam sel tumbuhan melalui luka yang terjadi secara mekanis atau serangga vektor. Hal ini disebabkan oleh virus tumbuhan tidak mempunyai alat penetrasi untuk menembus dinding sel tumbuhan. Sebaliknya, sebagian besar virus yang menyerang hewan dan bakteri dapat melakukan penetrasi langsung melalui selaput sel, seperti bakteriofage (virus yang menyerang bakteri) yang mempunyai alat penetrasi yang dapat menembus selaput sel bakteri.

Virus-virus penting pada bidang pertanian, yaitu :

1. **Tobacco Mosaic Virus (TMV)**

- penyebab penyakit mosaik pada tembakau
- termasuk juga ke dalam kelompok (+)ssRNA, family *Virgaviridae*, genus *Tobamovirus*
- partikel berbentuk batang, panjang 300µm dan diameter 15µm
- mempunyai beberapa strain ditularkan secara mekanis
- virus mosaik tembakau dapat bertahan selama bertahun-tahun di jaringan tembakau kering, di tangkai dan jaringan akar tanam yang terserang mosaik sebelumnya tembakau, lada, dan terong _inang TMV

2. **Cucumber mosaic virus (CMV)**

- berbentuk bulat, diameter 29 nm
- tidak mempunyai amplop genom terdiri dari RNA, berantai tunggal dan termasuk dalam kelompok (+)ssRNA, famili : *Bromoviridae*, genus *Cucumovirus*

- virus ini juga menginfeksi sayuran – sayuran yang lain seperti labu, melon, paprika, kacang-kacangan, tomat, wortel, seledri, selada, bayam, dan bit
- ditularkan secara mekanis, yaitu oleh kutu daun melalui mulut (*stylet*) _*Aphis craccivora*, *Myzus persicae*
- dapat juga ditularkan dalam biji dan oleh gulma parasit, **tali putri** (*Cuscuta sp*)

3. *Potato virus Y*

- PVY juga termasuk dalam kelompok (+)ssRNA, *family* Potyviridae, genus *Potyvirus*
- berbentuk filamen dengan panjang 750 nm; diameter 11-15 nm
- PVY ditularkan oleh vektor kutu *Myzus persicae*
- PVY dapat menginfeksi tembakau, tomat, dan merica
- Kutu daun hanya perlu makan tanaman yang terinfeksi virus sekitar 20 detik
- PVY dapat dibawa dari satu tanaman kentang ke tanaman lainnya melalui bibit yang terinfeksi
- PVY dapat menginfeksi tembakau, tomat, dan merica

4. *Rice tungro bacilliform virus (RTBV)*

- penyebab penyakit tungro pada padi
- termasuk dalam kelompok dsDNA, *family* Caulimoviridae, genus *Tungrovirus*
- ditularkan oleh wereng hijau (*Nephotettix virescens*)
- *N. virescens* dapat memperoleh RTBV dalam waktu 30 menit selama makan 8 jam dan dapat mempertahankan daya tularnya sampai 7 hari

5. *Tomato spotted wilt virus (TSWV)*

- TSWV juga termasuk dalam kelompok (-)ssRNA, *family* Bunyaviridae, genus *Tospovirus*
- *Tospovirus* ini ditularkan oleh *thrips* (*ordo*: Thysanoptera) yang dapat menularkan lebih dari 13 jenis virus
- TSWV dapat menginfeksi lebih dari 1000 organisme
- spesies tumbuhan dan menyebabkan
- kerusakan ekonomi yang signifikan bagi

- banyak tanaman agronomi dan hortikultura

6. *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV)

- virus penyebab penyakit kuning keriting padatanaman tomat
- termasuk dalam kelompok ssDNA, *family*Geminiviridae, genus *Begomovirus*
- ditularkan oleh vektor serangga dari ordo
- Hemiptera, adalah *whitefly* atau kutuputih (*Bemisia tabaci*)
- Inang utama untuk TYLCV adalah tomat, daninang tanaman lain adalah terong, kentang,tembakau, kacang-kacangan, dan paprika
- Gejalanya adalah daun keriting (ke atas),bintik-bintik, ukuran daun mengecil, tanamankerdil, dan gugurnya bunga sehingga sangatmengurangi hasil buah

Gejala yang disebabkan oleh virustumbuhan

- Tumbuhan yang terinfeksi virus dapat menimbulkan berbagaimacam gejala pada sebagian atau seluruh bagian daritumbuhan
- Gejala yang paling umum adalah penurunan lajupertumbuhan dari tanaman yang menyebabkan pengkerdilan(stunting)
- Hampir semua penyakit virus dapat menyebabkan penurunanhasil dan memperpendek umur tanaman
- Gejala yang paling jelas dari tanaman yangterinfeksi virus biasanya tampak pada daun,tapi beberapa virus dapat menyebabkangejala pada batang, buah dan akar denganatau tanpa gejala pada daun
- Virus tanaman tidak mempunyai enzim, toksinatau senyawa lain seperti pada patogen lain,tetapi virus dapat menyebabkan kerusakan padatanaman
- RNA virus adalah yang menyebabkan terjadinyapenyakit, tetapi jumlah RNA dalam jumlah besarbelum tentu menyebabkan timbulnya gejalapenyakit
- Beberapa virus dapat menginfeksi tanaman tanpamenimbulkan gejala yang dapat dilihat, virustersebut *laten virus* dan inangnya *symptomlesscarriers*beberapa tanaman yang terinfeksi dapat tidakmenunjukkan gejala dibawah kondisi lingkungantertentu. Bila kondisi lingkungan berubah makadapat timbul gejala *masked*
- Infeksi virus _mempengaruhi metabolisme sel danmenyebabkan terjadinya perubahan biokimiawi danfisiologi sel

- Perubahan tersebut bersifat eksternal atau makroskopis/gejala eksternal
- Ada juga perubahan yang bersifat internal atau mikroskopis/gejala internal

DAFTAR PUSTAKA

Calhoun J. 1979. Predisposition by the environment. In:

JG Horsfall & EB Cowling (eds.). Plant disease, 4th Vol. Academic Press. New York. pp. 75-96.

Dropkin VH. 1991. Pengantar Nematologi Tumbuhan. Diterjemahkan oleh Supratoyo. Mada University Press. Yogyakarta. Dwidjoseputro D. 1978. Pengantar Mikologi. Alumni. Bandung

Sutarman. Hadi S, Saefuddin A, Achmad, Suryani A. 2004. Epidemiologi hawar daun bibit *Pinus merkusii* yang disebabkan oleh *Pestalotia theae*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 10 (1): 43-60.

Sutarman. 2015. Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman. Sidoarjo : Umsida Press

KETAHANAN TUMBUHAN ATAU TANAMAN

Pada mulanya, tanaman akan memberikan respon terhadap serangan patogen dan akan melakukan resisten terhadap patogen itu. Akibat terjadinya serangan itu lah tanaman akan memberikan reaksi pertahanan untuk melindunginya.

Serangan patogen pada tumbuhan atau tanaman budidaya, seringkali mengakibatkan kerugian ekonomi yang cukup besar. Meskipun, sebagian besar terdapat tanaman yang tahan terhadap serangan patogen dan ada pula yang tidak tahan.

Di dalam kenyataan individu tanaman jarang ditemukan penampakan tanda atau sign oleh infeksi patogen, terhadap daun, buah, maupun organ bawah tanah. Di situlah timbul satu pernyataan yang unik yaitu mengapa beberapa infeksi penyakit pada tanaman, memiliki dampak yang sangat kecil, dan tempat yang monoton, sedangkan infeksi lain bahkan ada

yang berkembang secara berkelanjutan dan menyebar pada tanaman inang serta sering mengakibatkan kematian.

Mekanisme ketahanan tanaman sebagian besar patogen merupakan sesuatu topik yang menarik dan bagi para ahli penyakit tumbuhan serta ahli pemuliaan tanaman, mekanisme tersebut menjadi topik utama dalam penelitiannya.

Dalam proses perpindahan (mutasi) atau hibridasi tumbuhan atau tanaman telah dihasilkan ciri-ciri tanaman sesuai dengan asal mulanya, baik dalam bentuk struktural ataupun fisiologinya. Selain itu, proses ini dapat juga memproduksi suatu ketahanan tanaman yang sangat diperlukan untuk melawan patogen. Contoh ketahanan tanaman dalam bentuk struktural yaitu ada kutikula dan dinding sel epidermis. Ketahanan ini merupakan suatu ketahanan yang pertama kali ada pada inang terhadap infeksi. Sedangkan dalam bentuk ketahanan fisiologi merupakan hasil reaksi biokimia terhadap infeksi atau merupakan pembuangan bahan kimia secara alami dari inang yang terinfeksi oleh patogen.

Kenyataannya bahwa ketahanan tumbuhan atau tanaman terhadap penyakit dapat berlangsung dalam beberapa tahap infeksi, tahap awal dimulai dari perkecambahan spora pada permukaan tubuh inang sampai kolonisasi jaringan ataupun sampai reproduksi patogen pada permukaan inang. Setiap varietas tanaman menerapkan perpaduan mekanisme yang berbeda tergantung pada patogen yang secara umum, reaksi inang pada patogen dipengaruhi oleh lingkungan.

Ketahanan terhadap penyakit dapat kita pelajari dengan cara melihat cara kerja dari ketahanan itu sendiri, dan kontrol genetiknya. Agar mendapatkan pengetahuan yang baik diperlukan adanya pengetahuan morfologi dan fisiologi pada tanaman atau tumbuhan yang sehat, kemudian mekanisme yang terjadi dan secara karakteristiknya.

Awal mula dari pembelajaran ini diawali dengan munculnya spora patogen dalam bentuk penyebaran pada permukaan tanaman inang. Pada inang yang sensitif, mekanisme infeksi akan berlangsung dengan mudah, namun pada tanaman yang resisten maka mekanisme penetrasi, kolonisasi dan reproduksi patogen dibatasi oleh waktu. Salah satu reaksi dari ketahanan merupakan hasil stimulus patogen oleh tanaman inang, hal ini lebih sedikit terjadi jika dibandingkan dengan ketahanan yang sudah ada terlebih dahulu di dalam tubuh inang. Ketahanan hasil dari stimulus disebut dengan ketahanan aktif dan yang sudah ada di dalam inang disebut ketahanan pasif.

Struktur pertahanan sebelum ada serangan patogen

Terdiri dari jumlah dan kualitas lapisan lilin dan kutikula yang melindungi sel epidermis, ukuran, letak dan bentuk stomata dan lentisen, dan jaringan dinding sel yang menghambat gerakannya patogen

Struktur pertahanan sebagai tanggapan terhadap infeksi patogen

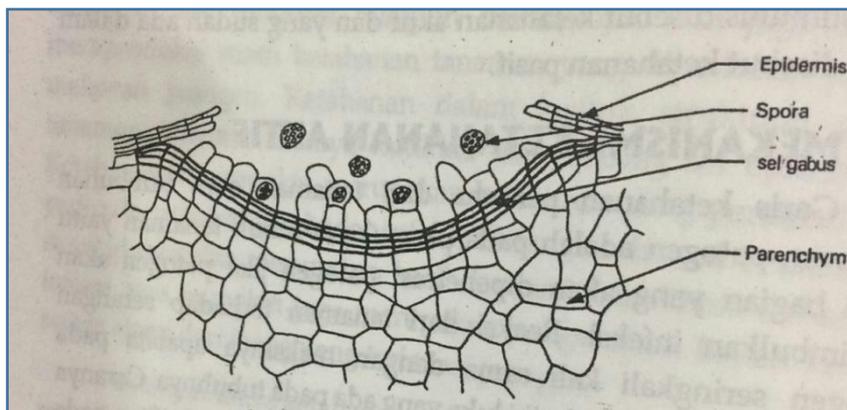
Jika patogen berhasil menembus pertahanan struktural maka jaringan pada tanaman akan membentuk stuktur pertahanan yang meliputi histological defense stucture (jaringan), cellular defense stucture (sel) dan cytoplasmic defense reaction (reaksi sitoplasma)

1. Histological Defense Structure (Struktur Pertahanan Jaringan)

Lapisan gabus

Lapisan gabus dapat terbentuk karena adanya respon yang secara cepat dari inang terhadap penetrasi patogen dan bisa jadi karena pengrusakan secara mekanik. Setelah beberapa hari penetrasi patogen, dan juga biasanya sel pada bawah lapisa yang terinfeksi secara cepat akan membentuk lapisan kambium gabus. Misalnya pada pembentukan lapisan gabus yang pada reaksi umbi kentang terhadap infeksi *spongospora subterranea* yaitu pada jamur penyebab.

Pada penyakit kudis yang sangat umum menyerang akar, umbi muda dan batang (Gambar 1). Pembentukan lapisan gabus ini berfungsi sebagai pencegah agar jamur tidak mengkolonisasi serta mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut yaitu dengan cara memblokir semua racun yang masuk ke dalam tubuh inang.

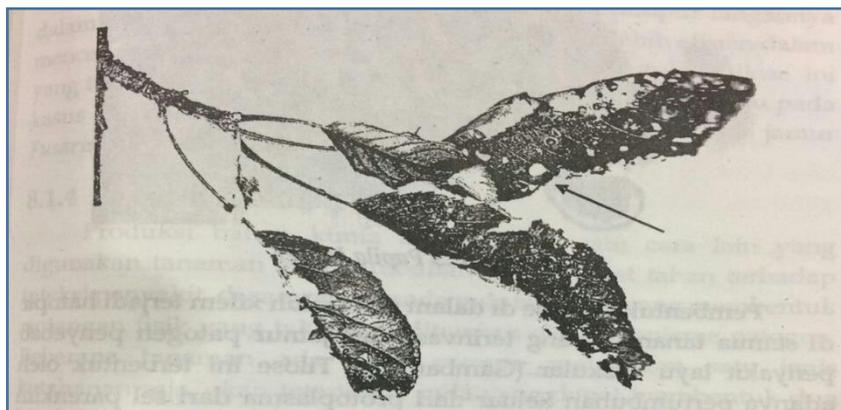


Sumber : Buku Ilmu Penyakit Tanaman, Iurini Yudianti, Graha Ilmu.

Selain itu pada pembentukan lapisan gabus pada tanaman juga berfungsi untuk membatasi luka. Misalnya pada tanaman kubis terdapat kasus penyakit bercak daun yang disebabkan oleh jamur (fungi). *Alternaria brassicae*. Melalui proses yaitu lapisan gabus yang pertama dengan cepat terbentuk melingkari daerah infeksi, namun patogen akan berusaha mematahkan lapisan gabus tersebut untuk masuk ke lapisan gabus yang lainnya. Dengan demikian proses ini akan berulang sampai terbentuk kerusakan yang berbentuk lingkaran yang dikelilingi oleh lapisan gabus.

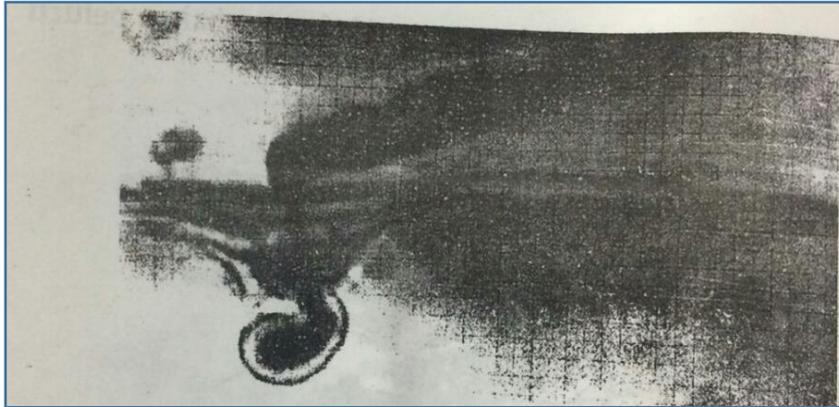
Lapisan absisi

Lapisan ini merupakan mekanisme ketahanan aktif dari tanaman yaitu dengan cara memproduksi lapisan absisi. Lapisan absisi merupakan pembentukan kambium gabus yang mengelilingi daerah infeksi dan melebar dari epidermis atas sampai epidermis bawah. Pada pembentukan lapisan absisi yang sempurna, pusat jaringan yang terinfeksi membentuk lubang sama seperti bekas tembakan peluru atau “shothole” (Gambar 2).

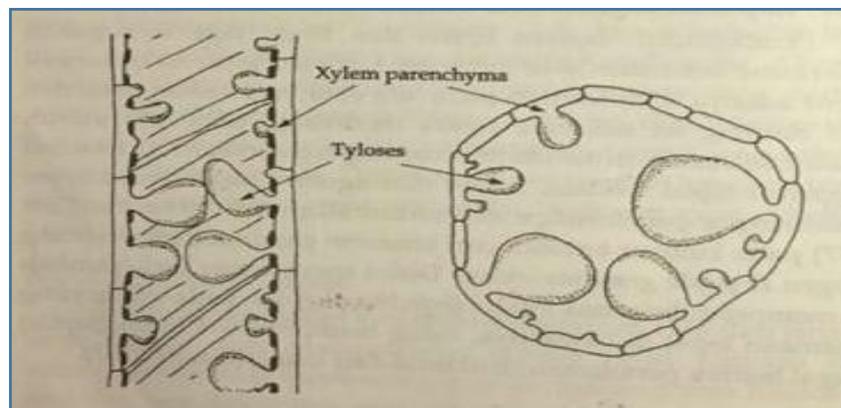


Lapisan lignin dan tilose

Pembentukan lapisan ini merupakan ketahanan aktif tanaman. Lapisan lignin terbentuk karena adanya stimulus pada hifa yang melakukan penetrasi pada dinding sel tanaman. Untuk melewati jalan hifa masuk ke dalam sel, tanaman membentuk rintangan pada jalan hifa tersebut dengan cara melapisi selulase, kalose dan lignin. Contoh dari mekanisme ketahanan pre-penetrasi tipe ini sudah diuraikan oleh Carver dan Carr (1977) pada kultivar tertentu oleh tanaman gandum yang terserang patogen *Erysiphe graminis avenae*. Pada tahap ini spora jamur berkecambah dan memproduksi pasak infeksi (*infection peg*) dengan waktu yang bersamaan tepat di bawahnya, inang juga memproduksi bintil (*Papila*) sebagai bentuk ketahanan struktural dari inang (Gambar 3)



Pembentukan tilose di dalam pembuluh xilem terjadi disemua tanaman yang terinfeksi oleh jamur patogen penyebab penyakit layu vaskular (Gambar 4). Tilose ini berbentuk adanya pertumbuhan keluar dari protoplasma dan dari sel parenkim yang berdekatan dan kemudian membentuk tonjolan sehingga pembentukdi dalam tersebut membesar. Adanya tilose ini maka penyebaran patogen pada sistim pembuluh dapat terhalangi.



Sumber : Buku Ilmu Penyakit Tanaman, Turrini Yudiarti, Graha Ilmu.

Tilose sebenarnya berperan dalam menimbullkan gejala kelayuan pada tanaman melalui campur tangan dari transport air, tetapi keberadaannya amenimbulkan efisien dalam pencegahan penyebaran patogen. Misalnya, pada pembentukan tilose terbukti bahwa salah satu ketahanan yang sangat efektif yaitu padda kasus penyakit yang melanda tanaman ketela rambat oleh jamur *Fusarium oxysporum batatus*.

Pengendapan getah atau blendok

Dengan terbentuknya getah penghalang yang tidak dapat dipenetrasi oleh patogen sehingga patogen terisolasi dan tidak mendapat nutrisi kemudian lama-kelamaan akan mati.

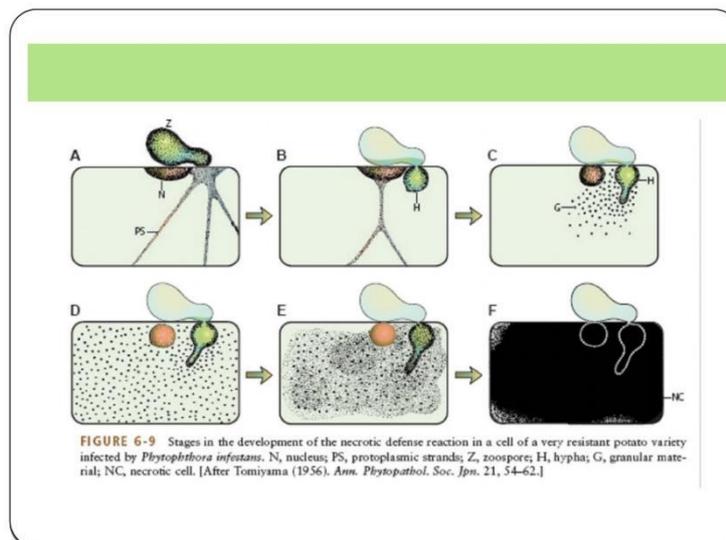
2. Cellular Defense Structure (Struktur Pertahanan Selular)

- Terjadi pembengkakan pada lapisan luar sel disertai dengan zat berserat (amorphous) yang dapat mencegah bakteri untuk berkembangbiak.
- Dinding sel yang mengalami penebalan sebagai respon terhadap beberapa jenis virus dan jamur patogen
- Kalosa palpila yang terdeposit pada sisi bagian dalam dinding sel sebagai respon terhadap serangan jamur patogen.

3. Cytoplasmic Defense Reaction (Reaksi Pertahanan Sitoplasmik)

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

Reaksi Pertahanan Nekrotik : pertahanan melalui hipersensitivitas



- A. Infeksi Patogen dimulai dengan patogen melakukan penetrasi pada dinding sel, setelah patogen berkumpul pada protoplasma
- B. Inti sel bergerak menuju ke arah serangan patogen dan segera terdisintegrasi/ pecah dan membentuk bulat berwarna coklat di dalam sitoplasma.
- C. Kemudian keadaan tersebut mengelilingi patogen dan kemudian ke seluruh sitoplasma.

- D. Saat sitoplasma berubah warna menjadi coklat dan kemudian akhirnya mati hifa yang menyerang mulai mengalami degenerasi
- E. Hifa tidak dapat tumbuh keluar sel yang terserang dan serangan selanjutnya akan terhenti.
- F. Jaringan yang mengalami nekrotik akan terisolasi parasit obligat dari substansi yang hidup disekitarnya sehingga menyebabkan patogen itu mati.

Mekanisme ketahanan aktif

Garis ketahanan pertama dari tanaman atau tumbuhan terhadap penyakit melawan patogen adalah pada permukaan tubuh tanaman yaitu pada bagian yang akan dipenetrasi patogen jika patogen akan menimbulkan infeksi. Reaksi tanaman terhadap serangan patogen seringkali sama dengan reaksinya apabila pada tanaman akan memperbaiki luka yang ada pada tubuh tanaman itu sendiri. Yaitu dengan cara memproduksi substansi yang aktif pada pembelahan sel untuk menutup area yang terinfeksi atau dengan cara perbaikan jaringan yang rusak. Mekanisme ketahanan tanaman sudah dilakukan sebelum adanya patogen melakukan penetrasi pada tanaman inang. Oleh sebab itu pada banyaknya spesies tanaman dapat di amati saat perkecambahan spora. Agar tidak terjadinya proses penetrasi pada inang maka perlu dilakukannya adanya penghambatan dan tabung kecambah atau germ tube di belokan arahnya.

Mekanisme Ketahanan Pasif

Ketahanan pasif terhadap penyakit dapat berbentuk struktural dan kimia. Rintangan mekanik pertama terhadap infeksi biasanya dimulai oleh lapisan kutikula dan baru dinding sel epidermis. Secara teori, lapisan kutikula ini mempunyai kandungan lilin tebal yang berguna untuk membatasi penetasan air dari tanaman, selain itu dapat berfungsi juga untuk menghalangi penetrasi patogen ke dalam tubuh tanaman.

Ketahanan Fisiologi

Jika kekebalan merupakan reaksi ketahanan yang ekstrim, maka dari itu kepekaan merupakan reaksi ekstrim yang lainnya lagi. Reaksi-reaksi di antara keduanya adalah reaksi parsial dan akan membentuk variasi tergantung dari genotip inang, patogen dan lingkungannya. Semua mekanisme ketahanan parsial bekerja dengan tahap yang berbeda dari suatu siklus penyakit dan akan berakibat pada epidemiologi penyakit itu sendiri, pengurangan dan

penundaan terjadinya epidemik. Mekanisme ketahanan tersebut akan berpengaruh pada masa inkubasi, masa laten, dan sporulasi ini di klasifikasikan ke dalam ketahanan fisiologi.

Masa inkubasi adalah masa antara infeksi dan munculnya gejala visual. Sedangkan masa laten adalah masa antara infeksi dan sporulasi pada inang. Masa inkubasi dan masa laten akan membentuk variasi yang di tentukan pada genotip dari inang namun juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.

Ada tipe ketahanan yang lain namun tidak jelas mekanismenya yaitu ketahanan lapangan dan ketahanan lama. Ketahanan lapangan sering di samakan dengan ketahanan tanaman dewasa dan ini merupakan ketahanan turunan, non spesifik dan mungkin merupakan efek dari beberapa mekanisme.

Mekanisme Resistensi Tanaman

Ada 4 dasar strategi yang digunakan tanaman untuk mekanisme pertahanan tanaman sebagai cara untuk mengurangi kerusakan akibat serangan serangga herbivor, yaitu:

- Escape atau menghindar dari serangan serangga berdasarkan waktu dan tempat.
- Tanaman toleran terhadap herbivor dengan cara menghilangkan herbivor untuk makan bagian tanaman yang tidak penting bagi tanaman tersebut atau dengan mengembangkan kemampuan untuk melakukan penyembuhan (recovery) dari kerusakan akibat serangan herbivor.
- Tanaman menarik datangnya musuh alami bagi herbivor yang dapat melindungi tanaman tersebut dari serangan serangga.
- Tanaman melindungi dirinya dengan cara konfrontasi menggunakan mekanisme pertahanan kimia atau mekanik.

Sifat-sifat pertahanan tiap tanaman berbeda-beda tergantung dari :

1. Umur tanaman
2. Jenis organ dan tubuh yang sering diserang
3. Keadaan hara tumbuhan
4. Kondisi cuaca

Patogen menyebabkan penyakit pada tanaman dengan cara sebagai berikut :

1. Melemahkan inang dengan cara menyerap makanan secara terus menerus dari sel sel inang secara keseluruhan
2. terganggunya metabolisme sel inang dengan toksin, enzim, atau zat pengatur tumbuh yang disekresinya
3. Menghalang jalannya transportasi makanan, hara mineral, dan air melalui jaringan pengangkut
4. Mengonsumsi kandungan sel inang setelah terjadi kontak

Tumbuhan menjadi sakit bila tumbuhan tersebut diserang oleh patogen (parasit) atau dipengaruhi oleh agensia abiotik (fisiopath). Oleh karena itu, agar terjadinya penyakit tumbuhan, harus ada terjadinya kontak dan terjadinya interaksi antara dua komponen (tumbuhan dan patogen). Pada saat terjadinya reaksi kemudian terjadi keadaan yang sangat dingin, sangat panas, sangat kering, atau beberapa keadaan ekstrim lainnya, maka patogen mungkin tidak akan mampu menyerang atau tumbuhan mungkin mampu menahan serangan patogen, meskipun sudah terjadi kontak antara keduanya, penyakit tidak berkembang.

Sepertinya komponen ketiga juga harus ada untuk dapat berkembang penyakit. tetapi, masing-masing dari ketiga komponen tersebut dapat menunjukkan keragaman yang luar biasa, dan apabila salah satu komponen tersebut berubah, maka akan mempengaruhi tingkat serangan penyakit dalam individu tumbuhan atau dalam populasi tumbuhan. Interaksi ketiga komponen tersebut telah umum ditunjukkan sebagai suatu segitiga, yang biasa kita sebut segitiga penyakit (disease triangle). Setiap sisi sebanding dengan total jumlah sifat-sifat tiap komponen yang kemungkinan terjadinya penyakit. Sebagai contoh, jika tumbuhan sifatnya tahan, maka pada tingkat yang tidak menguntungkan atau dengan jarak tanam yang lebar, segitiga penyakit dan jumlah penyakit akan kecil atau tidak ada, sedangkan pada saat tumbuhan yang rentan, pada tingkat pertumbuhan yang rentan atau dengan jarak tanam rapat, maka sisi inangnya akan panjang dan jumlah potensial penyakit akan bertambah besar. Dengan cara yang sama, patogen lebih virulen, dalam jumlah berlimpah dan dalam keadaan aktif, maka sisi patogen akan bertambah panjang dan jumlah potensial penyakitnya lebih besar. Juga keadaan yang lebih menguntungkan untuk membantu patogen, misalnya suhu, kelembaban dan angin yang dapat menurunkan tingkat ketahanan inang, maka sisi lingkungan akan menjadi lebih panjang dan jumlah potensial penyakit lebih besar.

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERKEMBANGAN PENYAKIT

A. Penyebab Penyakit Faktor Lingkungan

Bila penyebab penyakit adalah faktor lingkungan fisik atau kimia jadi biasanya penyakit akan semakin berat dengan pertambahannya waktu, sedangkan kecepatan perkembangan tersebut beragam menurut jenis pohon, jenis faktor penyebab penyakit serta seberapa jauh penyimpangan kondisi faktor penyebab tersebut dari kondisi yang cukup baik untuk perkembangan pohon yang bersangkutan.

Semakin besar penyimpangan jenis pohon, makin cepatlah dan mungkin makin beratlah penyakit yang ditimbulkannya. Tiap jenis pohon memerlukan syarat mengenai faktor fisik atau kimia tertentu untuk pertumbuhannya yang optimal, oleh karena itu jika suatu kondisi lingkungan fisik atau kimia tertentu cukup baik untuk pertumbuhan jenis pohon yang satu tetapi tidak baik untuk pertumbuhan jenis pohon yang lain. Demikian pula pada suatu kondisi lingkungan fisik atau kimia tertentu, suatu jenis pohon yang awalnya pada umur-umur tertentu tidak menunjang gejala suatu penyakit, pada umur-umur lebih lanjut dapat menjadi sakit.

Pengaruh suhu tumbuhan pada umumnya tumbuh pada suhu 1 sampai 40 OC, kebanyakan jenis tumbuhan tumbuh sangat baik antara 15 dan 30 OC. Tumbuhan berbeda kemampuan bertahannya terhadap suhu ekstrim pada tingkat pertumbuhan yang berbeda. Contohnya , tumbuhan yang lebih tua, dan lebih keras akan lebih tahan terhadap suhu rendah dibanding kecambah muda. Jaringan atau organ berbeda dari tumbuhan yang sama mungkin sangat bervariasi kepekaannya terhadap suhu rendah yang sama. Tunas jauh lebih peka dibanding daun dan sebagainya.

B. Pengaruh Suhu Tinggi

Pada awalnya tumbuhan lebih cepat rusak dan lebih cepat meluas kerusakannya apabila suhu lebih tinggi dari suhu maksimum untuk pertumbuhannya dibanding apabila suhu lebih rendah dari suhu minimum. Pengaruh suhu tinggi pada pertumbuhan ada hubungannya dengan pengaruh faktor lingkungan yang lain, terutama kelebihan cahaya, kekeringan, kekurangan oksigen, atau angin kencang bersamaan dengan kelembaban relatif yang rendah. Suhu yang tinggi biasanya berperan dalam kerusakan sunscald yang tampak terlihat pada bagian terkena sinar matahari pada buah berdaging dan sayuran, seperti cabe, apel, tomat, umbi lapis bawang dan umbi kentang. Hal ini menghasilkan perubahan warna, kelihatan

basah berair, melepuh, dan keringnya jaringan di bawah kulit, yang mengakibatkan terjadinya permukaan buah lekuk.

Suhu tinggi juga terlibat dalam kekacauan air biji (water core) pada apel dan penurunan oksigen yang mengakibatkan terjadinya blachart pada kentang.

C. Pengaruh Suhu Rendah

Kerusakan tumbuhan yang diakibatkan oleh suhu rendah lebih besar dibanding dengan suhu tinggi. Suhu di bawah titik beku menyebabkan berbagai kerusakan terhadap tumbuhan. Kerusakan tersebut meliputi kerusakan yang disebabkan oleh late frost (embun upas) terhadap titik meristemik muda atau keseluruhan bagian tumbuhan herbal,, embun upas yang membunuh tunas pada persik, cherry, dan pepohonan lain, dan membunuh bunga, buah muda dan kadang-kadang ranting sukulen sebagian pepohonan. Kerusakan yang terjadi sangat bervariasi tergantung pada tingkat penurunan suhu dan lama suhu rendah tersebut berlangsung. Kerusakan awal hanya akan mempengaruhi jaringan vaskular utama yang lebih meluas yang berselang-selang pada umbi akan menghasilkan nekrosis seperti jaring.

Tingkat kerusakan yang lebih umum, sebagian besar umbi menjadi rusak, menghasilkan nekrosis yang disebut blotch-type (tipe bisul).

D. Pengaruh Kelembaban

1. Pengaruh Kelembaban Tanah Rendah

Gangguan pada kelembaban di dalam tanah mungkin mempunyai tanggung jawab pada lebih banyaknya tumbuhan yang tumbuh jelek dan menjadi tidak produktif sepanjang musim. Kekurangan air bisa terjadi secara lokal pada jenis tanah tertentu, kemiringan tertentu atau lapisan tanah yang tipis yang dibawahnya terdapat batu atau pasir. Tumbuhan yang menderita karena kekurangan kelembaban tanah biasanya menjadi kerdil, hijau pucat sampai kuning terang, mempunyai daun, bunga dan buah sedikit, kecil dan jarang, dan jika kekeringan berlanjut maka tumbuhan akan layu dan mati.

Walaupun tumbuhan setahun lebih peka terhadap periode pendek kekurangan air, tetapi tumbuhan dan pepohonan juga dapat rusak dengan periode kering yang berlangsung lama dan menghasilkan pertumbuhan yang lambat, daun menjadi mengecil dan gosong, ranting pendek, dieback, defoliasi (pengguguran daun), dan akhirnya layu dan mati. Tumbuhan yang lemah mengakibatkan kekeringan juga lebih rentan terhadap serangan patogen dan serangga tertentu.

2. Pengaruh Kelembaban Tanah Tinggi

Faktor dari kelebihan kelembaban pada tanah yang disebabkan oleh banjir atau drainase yang jelek, bulu-bulu akar tumbuhan membusuk, mungkin karena menurunnya produksi oksigen ke akar. Kekurangan oksigen menyebabkan sel-sel akar mengalami stres, sesak napas dan kolapsi. Keadaan basah, an-aerob menguntungkan pertumbuhan mikroorganisme an-aerob, yang selama proses hidupnya membentuk substansi seperti nitrit, yang beracun bagi tumbuhan. Disamping itu, sel-sel akar yang dirusak juga secara langsung disebabkan oleh kekurangan oksigen tentang kehilangan permeabilitas selektifnya dan dapat memberi peluang terangkatnya zat-zat besi atau bahan-bahan beracun lain oleh tumbuhan. Drainase yang jelek menyebabkan tumbuhan tidak vigor, sering mengakibatkan layu dan daun berwarna hijau pucat atau hijau kekuningan. Banjir selama musim tanam dapat menyebabkan kelayuan tetap dan kematian tumbuhan semusim sukulen dalam dua hari sampai tiga hari. Pepohonan akan mati karena tergenang air, tetapi biasanya timbul kerusakan lebih lambat yaitu selama beberapa minggu jika akar tergenang terus-menerus. □

Kekurangan Oksigen Tingkat oksigen rendah yang terjadi pada pusat buah atau sayuran yang berdaging di lapangan, terutama selama periode pernapasan cepat pada suhu tinggi, atau pada penyimpanan produk tersebut di dalam tumpukan yang besar sekali. Contohnya yaitu adalah berkembangnya penyakit yang disebut blackheart pada kentang, yang dalam suhu cukup tinggi merangsang pernapasan dan reaksi enzimatik yang abnormal pada umbi kentang. Suplai (penyediaan) oksigen sel pada bagian dalam umbi tidak mencukupi untuk mendukung peningkatan pernapasan, dan sel tersebut mati karena kekurangan oksidasi. Reaksi enzimatik yang diaktivasi oleh suhu tinggi dan kurang oksidasi berjalan sebelum, selama dan sesudah kematian sel.

Pigmen menyebar ke sekitar jaringan umbi dan pada akhirnya menjadikan umbi tampak hitam. Cahaya Kekurangan akan memperlambat pembentukan klorofil dan mendorong pertumbuhan ramping dengan ruas yang panjang, kemudian menyebabkan daun berwarna hijau pucat, pertumbuhan seperti kumparan, dan gugurnya daun bunga secara prematur. Keadaan tersebut dikenal dengan etiolasi. Tumbuhan yang terdapat di lapangan bila tumbuhan tersebut ditanam dengan jarak yang terlalu dekat atau apabila ditanam di bawah pohon atau benda lain.

Kelebihan cahaya jarang terjadi di alam dan jarang merusak tumbuhan. Banyak kerusakan yang berhubungan dengan cahaya mungkin akibat suhu tinggi yang disertai intensitas cahaya tinggi.

Polutan Udara Hampir semua polutan udara yang mengakibatkan kerusakan pada tumbuhan berupa gas, tetapi beberapa bahan yang berbentuk partikel atau debu juga mempengaruhi vegetasi. Beberapa gas kontaminasi seperti etilen, amoniak, klorin dan kadang-kadang uap air raksa, menyebarkan pengaruh buruk melewati daerah tertentu. Sering terjadi pada tumbuhan atau hasil tumbuhan yang disimpan dalam gudang dengan memakai ventilasi yang tidak baik dipengaruhi oleh polutan yang dihasilkan oleh tumbuhan itu sendiri (etilen) atau dari kebocoran sistem pendingin (amoniak).

Beberapa kerusakan yang diakibatkan oleh polutan udara sebagai berikut :

- Klorin (Cl_2) yang berasal dari kilang minyak, menyebabkan daun terlihat keputihan, terjadinya nekrosis antar tulang daun, tepi daun nampak seperti hangus.
- Etilen (CH_2CH_2) yang berasal dari gas buangan automobil, menyebabkan tumbuhan tetap kerdil, daun berkembang secara abnormal dan senesen secara prematur.
- Sulfur dioksida (SO_2) yang berasal dari asap pabrik, pada konsentrasi menyebabkan klorosis umum dan pada konsentrasi tinggi menyebabkan keputihan pada jaringan antar tulang daun.

Gejala yang Diakibatkan Jamur pada Tumbuhan

Jamur menyebabkan gejala sistemik pada inangnya, dan gejala tersebut mungkin terjadi secara terpisah pada inang yang berbeda, secara bersamaan pada inang yang sama atau yang satu mengikuti yang lain pada inang yang sama. Pada umumnya jamur menyebabkan nekrosis lokal atau nekrosis umum dan membunuh jaringan tumbuhan, hipotropfi, dan hipoplasia (kerdil) organ-organ tumbuhan atau keseluruhan tumbuhan, dan hiperplasia (pertumbuhan kerdil) bagian-bagian atau keseluruhan tumbuhan.

- a. Gejala nekrosis yang sangat umum adalah sebagai berikut : Bercak daun (leaf spot) yaitu : luka atau noda yang bersifat lokal pada daun inang yang terdiri atas sel-sel yang mati., Mati ujung (dieback) yaitu : nekrosis ranting secara ekstensif yang berawal dari ujung dan berkembang menuju pangkalnya. Busuk akar yaitu : hancur dan membusuknya sebagian atau seluruh sistem perakaran tumbuhan. Rebah kecambah atau patah rebah (damping off) yaitu : kalopsi dan mati dengan cepat kecambah yang masih sangat muda pada pembibitan di lapangan. Busuk batang bawah yaitu : hancurnya batang bagian bawah. Busuk basah dan busuk kering yaitu : terjadinya maserasi (pembusukan) dan hancurnya buah, akar, umbi, umbi lapis dan

daun yang berdaging. Antraknosa yaitu : luka nekrosis yang lekuk seperti mangkuk pada batang, daun, buah atau bunga tumbuhan inang. Kudis yaitu : luka yang teralokasi pada buah, daun dan umbi dan lain-lain, biasanya sedikit menonjol dan puncaknya mencekung dan pecah, yang memberi bentuk seperti kudis. Decline yaitu : tumbuhan yang tumbuh lurus, daun mengecil, kaku, menguning atau merah, ada yang terdefoliasi (menggugurkan daun) dan mati ujung (dieback). Hampir segala jenis gejala di atas mungkin dapat mengakibatkan tumbuhan yang terinfeksi menjadi sangat kerdil. Di samping itu, gejala yang lain seperti karat daun, embun (mildew), layu dan bahkan penyakit tertentu menyebabkan hiperplasia pada beberapa organ tumbuhan, seperti akar pekok (clubroot) mungkin menyebabkan kekerdilan tumbuhan secara menyeluruh.

- b. Gejala yang bersama-sama dengan hipertopi atau hiperplasia dan perubahan bentuk atau pemutaran (distorsi) pada bagian tumbuhan meliputi :

Akar pekok : akar membesar terlihat seperti kumparan atau gada. Witches-broom (sapu setan) yaitu : cabang-cabang ranting yang mengarah ke atas sangat banyak. Keriting daun yaitu : daun berubah bentuk, menebal dan keriting. Layu : gejala sekunder yang menyeluruh dimana daun atau tunas kehilangan turgor dan merunduk diakibatkan terganggunya sistem vaskular akar dan batang. Karat yaitu : terdapat banyak luka-luka kecil pada daun atau batang, biasanya berwarna seperti karat. Mildew (embun) yaitu : bagian daun, batang dan buah yang klorosis atau nekrosis, biasanya ditutupi oleh miselium dan fruktifikasi jamur. Parasit-parasit tanaman terutama jamur, menghasilkan bermacam-macam senyawa kinia yang dapat menghasilkan gejala pebnyakit-penyakit tanaman meskipun tidak ada organisme penyebab penyakit. Salah satu contohnya yaitu asam fusarat yang dihasilkan oleh *Fusarium spp.* Asam fusarat atau asam 5- nbutilpiridin-2-karboksilat merupakan racun yang larut di dalam air yang sekaligus juga antibiotik. Racun ini mengganggu permeabilitas membran dan akhirnya mempengaruhi ekonomi air tanaman.

Cara Tumbuhan Melindungi Diri

Tumbuhan melakukan perlindungan diri untuk dirinya dengan cara yang berbeda. Tumbuhan melindungi diri biasanya dilakukan dengan menyesuaikan bagian – bagian atau sifat dari tumbuhan itu sendiri. Yaitu melindungi diri dengan menggunakan bagian – bagian tubuhnya seperti duri, bulu atau rambut , racun, getah, serta lewat aroma yang menyengat

sehingga membuat makhluk lain yang mendekatinya atau menjauh karena sengatan aroma tubuhnya.

1. Menggunakan Duri

Salah satu bentuk perlindungan diri yang dilakukan oleh tumbuhan adalah dengan menggunakan durinya yang tumbuh di batang pada tubuhnya itu. Perlindungan ini cukup efektif untuk melindungi diri dari serangan mangsa yang ingin memakan tubuhnya. Dengan adanya duri ini, hewan yang semula ingin memakan sebagian atau seluruh bagian tubuh tumbuhan ini, akan terganggu karena tertusuk oleh duri yang tajam.

Beberapa contoh tumbuhan yang melindungi diri dengan menggunakan duri adalah seperti tumbuhan bunga mawar, salak, putri malu, durian, alang – alang pas saat sedang muda, kaktus dan masih banyak lagi

2. Menggunakan Bulu atau Rambut

Selanjutnya ialah dengan menggunakan bulu. Selain dengan duri, beberapa tumbuhan juga melakukan perlindungan diri dengan menggunakan bulu atau rambut yang ada pada tubuh mereka. Sebagian diantaranya menghasilkan bulu atau rambut yang dapat membuat rasa gatal yang cukup parah pada si pemangsanya. Contoh tumbuhan yang mempunyai bulu adalah bambu. Pelepah bambu mempunyai fungsi melindungi tunas yang baru pada ruas bambu itu sendiri.

Pelepah ini dilengkapi dengan bulu yang apabila terkena ke kulit akan menimbulkan gatal yang mengakibatkan kulit merah dan bentol – bentol. Sebagai contoh tumbuhan yang seperti ini adalah tumbuhan ijuk dan pohon rambutan.

3. Dengan Menggunakan Racun

Tumbuhan melindungi diri dari pemangsanya menggunakan racun yang ada dalam tubuh mereka. Cara tumbuhan melindungi dengan racun itu dilakukan oleh beberapa jenis tumbuhan yang berjenis umbi – umbian, karet dan gadung.

Selain itu, tumbuhan kecubung, jarak, dan pohon upas juga menggunakan racun mencegah dirinya dimakan oleh hewan pemakan tumbuhan.

4. Menggunakan Getah

Cara tumbuhan melindungi diri berikutnya yakni menggunakan getahnya. Selain berfungsi sebagai media transportasi, unsur hara dan fotosintat dalam pembuluh angkut, getah juga ternyata dapat berfungsi sebagai media untuk dijadikan perlindungan diri pada tumbuhan. Cara tumbuhan melindungi dirinya menggunakan getah biasanya dilakukan oleh tumbuhan tumbuhan nangka dan karet.

5. Dengan Aroma

Selain yang di atas, beberapa tumbuhan juga ada yang melindungi dirinya dengan mengeluarkan aroma tertentu yang terkandung dalam tubuh tumbuhan tersebut. Contohnya, bunga bangkai. Bunga yang sangat langka ini menggunakan aromanya untuk melindungi dirinya dari mangsanya.

6. Menggunakan Cangkang Keras

Beberapa tumbuhan yang memiliki biji dilengkapi dengan cangkang yang keras. Contohnya buah kelapa, kelapa sawit, salak, durian dan lain sebagainya yang memang mempunyai

cangkang yang cukup keras. Hhl ini merupakan salah satu media yang digunakan oleh tumbuhan tersebut untuk melindungi biji mereka dari tumbuhan atau hewan lain yang ingin merusaknya. Dengan cangkang yang keras pohon – pohon itu dapat meneruskan perkembang biakan tanpa diganggu atau dimangsa oleh hewan penganggu lainnya.

7. Melindungi Diri Dari Rasa

Selain ke enam cara perlindungan diri yang dilakukan oleh tumbuhan, ada satu cara lagi yang biasa dilakukan oleh tumbuhan belimbing wuluh . Iya, melindungi diri dengan rasanya. Karena rasanya yang pahit menjadikan hewan atau makhluk lainnya tidak jadi memangsa buah dari belimbing ini.

Penyebab Terjadinya Penyakit oleh Faktor yang Dapat Menular

Bagi penyakit yang diakibatkan oleh faktor yang dapat menular, berhasil atau tidaknya suatu penyakit berkembang pada suatu pohon atau pertanaman tergantung pada tiga faktor yaitu faktor sifat genetik pohon, keganasan (virulensi) patogen dan keadaan lingkungan. Sifat Genetik Pohon Dalam populasi tiap jenis terdapat ketahanan pohon terhadap suatu jenis patogen. Beberapa individu, galur, atau tanaman yang berasal dari tempat tumbuh tertentu mungkin lebih tahan terhadap suatu jenis patogen, dibandingkan dengan individu, galur, atau yang berasal dari tempat tumbuh lain. Ketahanan akan terjadi karena kemampuan pohon agar membentuk struktur-struktur tertentu yang tidak menguntungkan perkembangan patogen pada pohon tersebut, seperti kurangnya jumlah stomata per satuan luas daun, pembentukan lapisan kutikula yang tebal, pembentukan jaringan dengan sel-sel yang berdinding gabus tebal segera setelah patogen masuk ke dalam jaringan tanaman atau produksi bahan-bahan toksik di dalam jaringan yang cukup banyak sebelum atau sesudah patogen masuk ke jaringan tanaman, sehingga patogen mati sebelum dapat berkembang lebih lanjut dan gagal menyebabkan penyakit pada pohon.

Ketahanan suatu jenis pohon terhadap serangan suatu jenis patogen tidak selalu sama pada semua umur. Contoh yang khas adalah penyakit lodoh yang disebabkan oleh *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Fusarium* spp. dan *Rhizoctonia* spp. yang hanya terjadi pada kecambah. Keganasan Patogen Penyakit yang disebabkan oleh patogen seperti jamur, bakteri, virus, mikoplasma, nematoda dan sebagainya, mempunyai sifat-sifat fisiologis yang beragam dan termasuk kemampuannya dalam menyebabkan penyakit pada suatu jenis pohon.

Berbagai galur atau asal (isolat) suatu jenis patogen dapat beragam keganasannya (virulensinya), tergantung pada gen yang terkandung di dalam inti atau bahan yang bertindak sebagai inti. Mengingat pada susunan gen karena berbagai proses dapat berubah, maka dengan itu virulensi pada suatu jenis patogen dapat berubah dari waktu ke waktu. Perubahan itu bisa terjadi karena hibridisasi, heterokariosis dan paraseksualisme. Pada bakteri dikenal adanya konjugasi, transfusi, dan transduksi.

Selain itu perubahan keganasan pada virulensi dapat terjadi akibat perpindahan dan adaptasi sitoplasmik. Itulah sebabnya kenapa suatu jenis patogen yang sama, dan yang memiliki bentuk serta cara perkembangbiakan yang sama, tetapi berasal dari berbagai daerah atau berbagai jenis pohon, dapat berbeda keganasannya. Demikian pula pada galur tertentu patogen yang semula memiliki suatu keganasan tertentu sesudah beberapa waktu dapat berubah mempunyai taraf keganasan yang lain atau terpecah menjadi beberapa bagian galur dengan berbagai taraf keganasan. Keadaan lingkungan baik faktor lingkungan dapat dipisahkan antara yang biotik dan yang abiotik. Seperti contoh biotik adalah jasad renik yang ada di sekitar patogen. Pengaruh faktor lingkungan biotik adalah pada patogen yang bertahan hidup dan berkembang di dalam tanah, biasanya menyerang akar. Jasad yang berkembang di sekitar patogen secara langsung berpengaruh terhadap daya tahan hidup patogen dengan bertindak menjadi parasit, vektor, saingan agar memperoleh makanan atau dengan melalui antibiosis. Unsur-unsur biotik yang lain dapat berpengaruh secara tidak langsung terhadap patogen. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara jasad renik di sekitar patogen.

DAFTAR PUSTAKA

<http://learning.upnyk.ac.id/pluginfile.php>

https://www.academia.edu/29332552/Mekanisme_Pertahanan_Tanaman_terhadap_serangan_Patogen_2

<http://library.usu.ac.id/download/fp/hutan-yunasfi.pdf>

Roberts, D. A., C. W. Boothroyd. 1984. *Fundamentals of Plant Pathology*. W.H. Freeman and Company. New York.

Salisbury, F. B., C. W. Ross. 1992. *Fisiologi Tumbuhan* (Terjemahan Diah R. Likman). ITB Bandung.

Semangun, H. *Penyakit-penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*. Gajah Mada University Press. Tjitrosoepomo, G. *Taksonomi Tumbuhan Obat-obatan*. Gajah Mada University Press.

Turrini Yudiarti "ilmu penyakit tumbuhan" Graha Ilmu 2007

Mekanisasi Pertahanan Tanaman Secara Kimiawi atau Enzimatis

Sebelum memasuki terkait mekanisasi pertahanan tanaman secara kimiawi atau enzimatis, kita perlu mengetahui dulu apa itu pertahanan atau bertahan. Bertahan diambil dari kata "Defensi" jadi defensi dapat diartikan sebagai struktur tumbuhan yang berfungsi sebagai pertahanan terhadap tubuh tumbuhan untuk kelangsungan hidupnya.

Sistem pertahanan tanaman ialah suatu proses koevolusi yang berlangsung secara berkelanjutan. Tanaman mempunyai mekanisme pertahanan diri yang dapat diaktifkan untuk menanggapi tekanan biotik (patogen dan parasit) pada berbagai tingkatan, mulai dari virus mikroskopis hingga serangga fitofag (Choudhary *et al.* 2007).

Herbivora atau hewan pemakan tumbuhan dapat menimbulkan stres pada tanaman. Tanaman telah mengembangkan suatu strategi untuk mencegah atau membunuh penyerang. Respon tanaman terhadap serangan herbivore dan pathogen yaitu sebagai berikut: Pertama, dengan pertahanan fisik seperti adanya duri. Kedua, dengan pertahanan kimia seperti senyawa toksik/racun. Tahap pertama pertahanan suatu tanaman adalah penghalang utuh dan tak tertembus yang terdiri dari kulit kayu dan kutikula lilin. Keduanya melindungi tanaman dari serangan patogen. Perlindungan eksterior tanaman dapat dikompromikan oleh kerusakan mekanis, yang dapat menjadi titik masuk suatu patogen. Jika garis pertahanan yang pertama

dapat dilalui oleh patogen, maka tanaman harus menggunakan mekanisme pertahanan lain seperti racun dan enzim.

Secara umum tumbuhan dapat bertahan dari serangan patogen tersebut dengan kombinasi sifat pertahanan diri yang dimilikinya, seperti :

- 1) sifat-sifat struktural yang berfungsi sebagai penghalang fisik, menghambat patogen yang akan masuk dan berkembang di dalam tumbuhan, dan
- 2) reaksi-reaksi biokimia yang terjadi di dalam sel dan jaringan tumbuhan yang menghasilkan zat beracun bagi patogen atau menciptakan kondisi yang menghambat pertumbuhan patogen pada tumbuhan tersebut.

Kombinasi antara sifat struktural dan reaksi biokimia yang digunakan untuk pertahanan bagi tumbuhan berbeda dengan setiap sistem kombinasi inang – patogen.

Sehubungan dengan tanaman tahan mungkin diklasifikasikan sebagai ketahanan genetik yang sifat ketahanannya dikendalikan terutama oleh faktor genetik dan ketahanan lingkungan yang sifat ketahanannya dikendalikan terutama oleh lingkungan.

Ketahanan Genetik

Faktor yang sangat menentukan ketahanan tanaman inang terhadap serangga termasuk adanya pembatas dari struktur tanaman, allelokimia, dan nutrisi yang tidak seimbang. Kualitas ketahanan adalah sifat yang diwariskan yang bekerja cenderung untuk memberikan ketidakcocokan tanaman untuk digunakan serangga. Mekanisme ketahanan disebabkan adanya non preferensi, antibiosis, dan tolerance (Painter, 1951). Kogan dan Ortman (1978) mengajukan usulan perbaikan bahwa istilah non preferensi diganti dengan antixenosis, karena adanya reaksi serangga dan bukan sifat dari tanaman.

Antixenosis

Antixenosis adalah bekerjanya mekanisme ketahanan oleh tanaman untuk menjerakan atau mereduksikan kolonisasi oleh serangga. Umumnya serangga berorientasi sendiri terhadap tanaman untuk makanan, tempat meletakkan telur, dan atau tempat berlindung. Akan tetapi disebabkan sifat tertentu, tanaman tidak dapat digunakan karena ada sifat penjerakan bagi serangga. Dalam situasi tertentu, walaupun serangga datang dan mengadakan kontak dengan

tanaman, sifat antixenosis tanaman tidak memberikan kesempatan kepada serangga untuk berkoloni. Tanaman yang memperlihatkan ketahanan dengan sifat antixenosis mampu mengurangi jumlah awal kolonisasi pada satu musim, demikian juga ukuran populasi dapat direduksi pada tiap-tiap generasi dibandingkan dengan tanaman yang rentan.

Antibiosis

Antibiosis ialah mekanisme ketahanan yang bekerja setelah serangga berkolonisasi dan telah mulai menggugurkan tanaman untuk kehidupannya. Bila satu serangga makan pada tanaman yang mempunyai antibiotik maka tanaman tersebut dapat mempengaruhi serangga dalam hal pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan kelangsungan hidup. Pengaruh antibiotik dapat menghasilkan pengurangan berat serangga, mengurangi proses metabolisme, meningkatkan kegelisahan (restlessness), banyaknya larva atau serangga pradewasa yang mati. Secara tidak langsung, antibiosis dapat meningkatkan penyingkapan (exposure) serangga untuk lebih mudah ditemukan oleh musuh alami. Tanaman yang memperlihatkan antibiosis dapat mereduksi laju peningkatan populasi dengan mengurangi lajunya reproduksi dan kelangsungan hidup serangga (Panda dan Khush, 1995)

Toleransi

adalah kemampuan tanaman untuk menahan kerusakan tanpa penurunan kebugaran. Hal ini dapat terjadi dengan mengalihkan herbivory non - esensial pada bagian - bagian tanaman atau dengan cepat pertumbuhan kembali dan pemulihan dari herbivory. Perlawanan mengacu terhadap kemampuan tanaman untuk mengurangi pada jumlah kerusakan yang diterima dari herbivora. Hal ini dapat terjadi melalui penghindaran dalam ruang atau waktu, pertahanan fisik atau pertahanan kimiawi atau pertahanan enzimatik.

Ketahanan Ekologi (Ecological resistance)

Ketahanan ekologi telah dikategorikan sebagai ketahanan semu (pseudoresistance) dan ketahanan induksi (induced resistance). Ketahanan semu bukan berasal dari sifat genetik yang dibawa oleh tanaman, tetapi dari beberapa perubahan sementara (temporary shifts) dalam kondisi lingkungan yang cocok bagi varietas rentan. Varietas tanaman yang memperlihatkan ketahanan semu dipandang penting dalam sistem pengendalian hama terpadu. Adapun ketahanan induksi terjadi saat tanggap tanaman terhadap kerusakan oleh pathogen, herbivora, stres lingkungan, atau akibat perlakuan

Ketahanan semu (Pseudoresistance)

Perubahan dalam pola pertumbuhan tanaman yang dihasilkan dalam ketidak sinkronan antara serangga dan fenologi tanaman adalah suatu modal untuk mendapatkan ketahanan semu. Beberapa varietas tanaman menghindar (host evasion) dari serangan hama dengan cepat melewati fase pertumbuhan rentan. Tanaman yang matang lebih awal telah digunakan dalam pertanian sebagai strategi pengelolaan tanaman terpadu yang efektif, namun demikian tanaman semacam ini akan terserang hebat bila hamanya berkembang biak lebih awal.

Ketahanan induksi (Induced resistance)

Ketahanan induksi sangat menakjubkan baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif dari pertahanan tanaman terhadap invasi hama. Ketahanan induksi dapat dihasilkan akibat perubahan lingkungan yang memungkinkan menjadi keuntungan sementara dari tanaman. Hal ini terbukti bila menanam varietas padi rentan wereng coklat di musim kemarau jarang sekali terserang wereng coklat, karena disebabkan perkembangan wereng coklat di musim kemarau sangat rendah, sulit mencapai ambang ekonomi walaupun pada varietas rentan (Baehaki, 1994). Perkembangan wereng coklat pada varietas tahan IR64 sangat rendah baik di musim hujan maupun di musim kemarau. Demikian juga dengan irigasi berselang atau gursat (intermittent irrigation) akan membuat hama wereng coklat kurang berkembang pada sistem pengairan tersebut (Baehaki et al., 1997). Ketahanan induksi dapat terjadi pada saat penggunaan pupuk, herbisida, insektisida, pengatur tumbuh, dan nutrisi mineral atau variasi dari suhu dan panjang hari, atau serangan patogen atau hama dapat merubah seluruh unsur kimia dalam jaringan tanaman

Respon pertahanan tanaman terhadap patogen ada beberapa macam bentuk. Suatu tanaman yang memiliki ketahanan terhadap infeksi patogen, dapat terjadi dikarenakan tanaman tersebut tahan atau mungkin tanaman tersebut dapat terinfeksi oleh patogen namun dapat memiliki kemampuan untuk membatasi aktivitas patogen sehingga patogen tidak dapat berkembangbiak dengan bebas dan tidak menimbulkan kerusakan yang berat. Jika perkembangbiakan patogen terhambat, maka patogen tidak dapat meluas, sehingga pertanaman yang luas secara keseluruhan relatif bebas dari penyakit dan apabila tanaman mengalami sedikit kerusakan namun dapat menahan (toleran) tanpa mempengaruhi aktivitas tanaman tersebut, maka kuantitas dan kualitas hasil tidak banyak berkurang.

Pada suatu tumbuhan dikenal adanya dua tipe ketahanan tanaman yaitu; ketahanan mekanis dan ketahanan kimiawi atau enzimatik. Ketahanan mekanis dan kimiawi dapat terjadi dari ketahanan aktif dan ketahanan pasif. **Ketahanan aktif** adalah sifat-sifat ketahanan yang telah ada sebelum infeksi terjadi pada tanaman, sedangkan **ketahanan pasif** adalah ketahanan yang terbentuk setelah infeksi terjadi karena terimbas oleh adanya infeksi.

➤ **Ketahanan kimiawi aktif**

Terjadi karena adanya substansi-substansi yang terdapat dalam tumbuhan dan bersifat menghambat patogen, tidak tersedianya senyawa tertentu yang diperlukan bagi perkembangan patogen di dalam tumbuhan, selain itu juga karena tanaman tidak peka terhadap toksin atau enzim yang dihasilkan oleh patogen. Pada beberapa jaringan muda terdapat senyawa fenol dan zat penyamak dalam kadar tinggi yang membuat tanaman menjadi tahan terhadap patogen, namun jika jaringan tersebut menua maka kadar zat penghambat patogennya menjadi menurun, sehingga ketahanannya juga menurun.

➤ **Ketahanan kimiawi pasif**

Merupakan suatu mekanisme pertahanan yang aktif atau hanya bekerja apabila inang mengalami invasi patogen dan merupakan hasil interaksi antara sistem genetik inang dan patogen. Mekanisme pertahanan kimiawi pasif yang banyak diteliti adalah senyawa fitoleksin yang merupakan senyawa fenol yang dihasilkan oleh tumbuhan inang sebagai tanggapan terhadap invasi patogen. Senyawa fitoleksin akan terakumulasi pada suatu aras yang menghambat perkembangan patogen. Fitoleksin bersifat khas sehingga tidak ditentukan oleh suatu sifat patogen.

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

Dan kali ini kami akan membahas mengenai ketahanan tanaman secara kimiawi atau enzimatik melalui reaksi-reaksi biokimia:

A. Pertahanan Kimia Sebelum ada Serangan Patogen

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

a. Tidak ada Pengenalan antara Inang dan Patogen.

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

b. Kekurangan Reseptor dan Bagian yang Sensitif Inang terhadap Toksin.

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

c. Tidak ada Hara-hara Esensial bagi Patogen.

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

d. Inhibitor yang Terdapat dalam Sel Tumbuhan Sebelum Infeksi. Beberapa senyawa fenolik dan tanin terdapat dalam konsentrasi tinggi dalam sel daun atau buah yang masih muda dan diperkirakan dapat bertanggung jawab dalam ketahanan jaringan yang masih muda tersebut terhadap mikroorganisme patogenik.

B. Ketahanan Metabolik yang Disebabkan oleh Serangan Patogen

a. Inhibitor Biokimia yang Dihasilkan Tumbuhan Dalam Responnya terhadap Kerusakan Patogen.

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

b. Pertahanan melalui peningkatan kadar senyawa fenolik.

Senyawa fenolik terdapat pada tumbuhan sehat maupun sakit. Peningkatan kadar senyawa fenolik seringkali terjadi lebih cepat setelah terjadinya infeksi pada varietas tahan. Senyawa fenolik yang terdapat pada tumbuhan tidak sehat tetapi dihasilkan setelah terjadi infeksi ialah fitoaleksin. Fitoaleksin dihasilkan dari sel sehat yang berdekatan dengan sel-sel rusak dan nekrotik untuk mencegah patogen berkembang.

c. Pembentukan Phytoaleksin

Phytoaleksin ialah suatu senyawa antibiotik yang dihasilkan dari interaksi antara tanaman inang dan patogen atau merupakan respons dari kerusakan bagian tanaman. Reaksi hipersensitif merupakan bentuk ketahanan tanaman dengan cara mematikan sel-sel yang terindikasi terinfeksi oleh patogen.

d. Pertahanan melalui Pembentukan Substrat yang Menolak Enzim Patogen.

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

e. Pertahanan Melalui Inaktivasi Enzim Patogen.

Ada beberapa jenis senyawa fenolik dan hasil oksidasinya dapat menghasilkan ketahanan terhadap penyakit melalui reaksi penghambatan enzim pektolitik dan enzim patogen yang lainnya.

f. Pertahanan melalui Pelepasan Sianida Fungitoksik dari Kompleks Non-Toksik.

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

g. Perubahan jalur biosintesis

Infeksi patogen akan membuat tanaman mengalami stress fisiologi. Hal tersebut akan menstimulat tanaman untuk mensintesis enzim (protein) baru sebagai bentuk usaha pertahanan tanaman untuk bertahan hidup. Respirasi pada bagian tanaman yang sakit akan meningkat, hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan

aktifitas di sel tanaman yang sakit. Sebagian dari glikolisis akan di ubah menjadi jalur pentosa sebagai bentuk pertahanan tanaman.

Beberapa senyawa dari glikolisis dan jalur pentosa akan dimanfaatkan dalam jalur reaksi shikmat. Jalur reaksi shikmat dapat menghasilkan senyawa fenol dan fitoaleksin dan lignifikasi. Senyawa-senyawa tersebut digunakan sebagai mekanisme ketahanan oleh tanaman dari serangan patogen.

Perubahan jalur biosintesis merupakan salah satu bentuk ketahanan aktif tanaman Hasil dari reaksi glikolisis dan pentosa phosphate akan masuk ke dalam jalur reaksi asam shikmat. Pada jalur reaksi shikmat akan dihasilkan senyawa-senyawa yang berperan dalam mekanisme ketahanan tanaman seperti flavonoids, coumarins, lignin. Perubahan jalur biosintesis merupakan bentuk mekanisme ketahanan yang memiliki peranan yang sangat penting, baik dalam mekanisme ketahanan aktif struktural aktif maupun ketahanan biokimia.

Mekanisme ketahanan tanaman terhadap serangan patogen merupakan tahapan yang kompleks. Pada elisitor yang dilepas oleh jamur akan ditangkap oleh reseptor. Bila reseptor mengenali itu sebagai ancaman maka reseptor akan mengirim isyarat ke nukleus untuk segera mensintesis senyawa penghambat (inhibitor) dan senyawa perusak sel jamur tersebut. Dari inilah dapat dilihat, terjadi sintesis senyawa phytoaleksin yang berperan dalam menghambat pertumbuhan jamur dan enzim kitinase yang berperan menghancurkan dinding sel jamur yang tersusun oleh senyawa kitin.

Sebagian besar cendawan filamentus mengandung senyawa kitin pada dinding sel hifanya. Kitinase dapat mendegradasi senyawa kitin yang merupakan komponen utama penyusun dinding sel cendawan. Kitinase adalah enzim yang umum diproduksi oleh sel bakteri, cendawan, hewan dan tumbuhan. Hidrolisis polimer kitin sebagai salah satu komponen dinding hifa cendawan dapat menghambat pertumbuhan hifa. Oleh karena itu, kitinase dikenal sebagai salah satu protein anti cendawan (Wang *et al.*, 2005).

Menurut Oku (1994), kitinase berperan menghambat pertumbuhan cendawan dengan secara langsung menghidrolisis dinding miselia cendawan, dan melepaskan elisitor endogen oleh aktivitas kitinase yang kemudian meningkatkan reaksi ketahanan sistemik (*systemic acquired resistance/SAR*) pada inang.

Terdapat beberapa penelitian tentang ketahanan tanaman kakao terhadap infeksi *Phytophthora palmivora*. Informasi mengenai ketahanan kakao terhadap infeksi

Phytophthora palmivora sangat penting bagi pemuliaan tanaman kakao. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa contoh klon yang tahan atau agak tahan terhadap penyakit busuk buah adalah klon ICS 13, ICCRI 3, dan Sca 6. Beberapa klon yang tahan terhadap penyakit busuk buah kakao (*Phytophthora palmivora*) memiliki ciri kandungan enzim kitinase dan peroksidase cukup tinggi (Rubiyo *et al.*, 2010) dan kandungan tanin tinggi (Iwaro *et al.*, 1999 *cit.* Hendro *et al.*, 2002).

C. Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder adalah senyawa yang tidak langsung berasal dari fotosintesis dan tidak diperlukan untuk respirasi atau tanaman pertumbuhan dan perkembangan. Banyak metabolit yang beracun dan bahkan dapat mematikan hewan yang melaminya. Selain itu, tanaman memiliki berbagai pertahanan yang diinduksi dengan adanya patogen. Selain metabolit sekunder, tanaman menghasilkan bahan kimia antimikroba, protein antimikroba, dan enzim antimikroba yang mampu melawan patogen.

Metabolisme sekunder ialah hasil samping dari metabolit primer. Yang berfungsi untuk melindungi tumbuhan dari gangguan herbivor dan menghindari infeksi yang disebabkan oleh patogen. Tumbuhan menggunakan metabolit sekunder untuk antibiotik atau agen sinyal selama interaksi dengan pathogen. Metabolit sekunder memiliki tiga kelompok utama, yaitu: **terpen, senyawa fenol dan produk sekunder mengandung nitrogen.**

1. Terpen

Terpen adalah kelas metabolit sekunder yang paling besar, biasanya tidak larut dalam air, konstituen minyak esensial, lipid yang disintesis dari asetil KoA atau dari intermediet glikolisis melalui lintasan asam mevalonat. Semua terpen telah disusun oleh unit isopren ber-C5. Pada suhu yang tinggi terpen dapat didekomposisi menjadi unit-unit isopren. Klasifikasi terpen dibuat berdasarkan jumlah unit isopren. Monoterpen : mengandung 10-karbon terpen atau 2 unit C5; sesquiterpen: mengandung 15-karbon terpen atau 3 unit C5; diterpen mengandung 20-karbon terpen atau 4 unit C5. Terpen yang lebih besar termasuk dalam triterpen (30 karbon), tetraterpen (40 karbon) dan politerpen (C5]_n, dimana n > 8). Terpen disintesis untuk

“menolak” serangga, herbivor pemakan, dan untuk menarik insek predator dan parasit pemakan herbivor.

Ada dua lintasan Biosintesis terpen yang bisa terjadi yaitu lintasan asam mevalonat. Tiga molekul asetil ko-A yang bergabung membentuk asam mevalonat kemudian intermediet berkarbon 6 ini akan mengalami pyrophosphorylasi, dekarboksilasi dan dehidrasi yang dapat menghasilkan intermediet isopenthenyl diphosphate (IPP). IPP merupakan struktur ber C5 penyusun terpen. Lintasan keduanya adalah lintasan methylerythritol phosphate (MEP).

Beberapa terpen ada yang berperan pada pertumbuhan dan perkembangan. Contoh nya seperti giberelin ialah hormon yang penting termasuk kelompok. **Sterol** yaitu derivat triterpen yang merupakan komponen esensial membran sel yang menstabilkan interaksi fosfolipid. **Karotenoid** merah, kuning, oranye merupakan tetraterpen memiliki berfungsi sebagai pigmen aksesori pada fotosintesis dan melindungi jaringan fotosintetik dari fotooksidasi. Hormon **asam absisat** ialah terpen C15 yang dihasilkan dari degradasi prekursor karotenoid.

Dapat dikatakan bahwa terpen berfungsi pada :

- Pertumbuhan dan perkembangan tanaman: pigmen karotenoid adalah tetraterpen, rantai samping klorofil adalah diterpen, hormon giberelin adalah diterpen, hormon asam absisat adalah sesquiterpen, sterol adalah triterpen
- Berperan sebagai senyawa penjaga karena bersifat toksin terhadap insekta dan mamalia : resin pada konifer adalah monoterpen, minyak esensial dalam rambut kelenjar di epidermis : peppermint, limon.

Berikut ini beberapa tumbuhan yang mengandung campuran volatil monoterpen dan sesquiterpen yang disebut minyak esensial yang memberikan karakter aroma pada daunnya. Peppermint, lemon dan basil adalah beberapa contoh tanaman yang mengandung minyak esensial. Minyak esensial dikenal juga sebagai penolak serangga bahkan membuat herbivora tidak tertarik untuk datang, banyak dikandung di rambut kelenjar yang menonjol dari epidermis. Pada rambut-rambut kelenjar terpen inilah yang disimpan di ruang ekstraselular dinding sel yang termodifikasi. Minyak volatil tidak hanya melindungi tumbuhan secara langsung dari serangan herbivora tetapi juga dapat sebagai sinyal pada tumbuhan untuk menarik predator pemakan herbivora. Minyak esensial dapat diekstrak dari tumbuhan melalui metode destilasi yang secara komersial banyak digunakan sebagai aroma makanan

dan membuat parfum. Salah satu senyawa terpen antiherbivora non-volatil adalah **limonoid** pada buah jeruk, yaitu kelompok triterpen yang rasanya pahit. **Azadirachtin** yang disintesis oleh tanaman *Azadirachta indica* merupakan contoh limonoid kompleks.

Terpen yang memiliki fungsi untuk melawan herbivora vertebrata yaitu triterpen (cardenolide dan saponin). **Cardenolide** merupakan glikosida (senyawa yang mengandung gula), senyawa ini memiliki rasa pahit dan sangat toksik untuk hewan tingkat tinggi. **Saponin** merupakan steroid dan glikosida triterpen. Keberadaan kedua elemen tersebut yaitu larut lemak (steroid atau terpen) dan larut air (gula) di satu molekul membuat saponin memiliki sifat seperti sabun (berbuih setelah dikocok dengan air). Toksisitas saponin disebabkan karena kemampuannya untuk membentuk kompleks dengan sterol. Saponin dapat mengganggu pengambilan sterol dari sistem pencernaan ataupun dapat pula merusak membran sel setelah diabsorpsi ke dalam aliran darah.

2. Senyawa Fenol

Tumbuhan dapat menghasilkan banyak produk sekunder yang mengandung gugus fenol. Senyawa ini dapat dikelompokkan ke dalam senyawa fenolik yang jumlahnya hampir mencapai 10.000. Beberapa senyawa fenol bisa larut dalam pelarut organik, beberapa diantaranya adalah glikosida dan asam akrboksilat yang larut dalam air dan sejumlah besar lainnya adalah polimer yang tidak larut dalam air.

Senyawa fenolik ialah senyawa yang dihasilkan oleh tumbuhan sebagai bentuk respon tumbuhan terhadap stres lingkungan. Fungsi dari senyawa fenolik berfungsi sebagai pelindung terhadap sinar UV-B dan kematian sel untuk melindungi DNA dari dimerisasi dan kerusakan (Lai dan Lim, 2011)

Fungsi dari komponen yang ada dalam senyawa fenolik berfungsi sebagai pencegah dan pengobatan beberapa gangguan penyakit seperti arteriosklerosis, disfungsi otak, diabetes dan kanker (Garg et al, 2016).

Phenylalanin merupakan intermediate biosintesis sebagian besar fenol tumbuhan

Senyawa aromatik terbentuk melalui beberapa lintasan yang berbeda sehingga menyusun banyak kelompok heterogen. Dua lintasan dasar yang terlibat yaitu **lintasan asam sikimat** yang berpartisipasi pada sebagian besar fenolik tumbuhan dan

lintasan asam malonat. Lintasan asam sikimat terdapat pada tumbuhan, fungi dan bakteri tetapi tidak terdapat pada hewan. Hewan tidak memiliki lintasan untuk meninstesis tiga asam amino aromatik, yaitu **phenilalanin, tyrosin** dan **tryptophan** sehingga ketiganya merupakan nutrisi esensial bagi hewan. Kelas senyawa sekunder fenolik yang terbanyak pada tumbuhan diperoleh dari phenylalanin melalui eliminasi molekul ammonia dari asam sinamat. Reaksi ini dikatalis oleh **phenylalanine ammonia lyase (PAL)**, enzim yang paling sering dipelajari pada metabolisme sekunder tumbuhan. Phenylalanin berada pada titik percabangan antara metabolisme primer dan sekunder sehingga reaksi yang dikatalisnya adalah tahap regulasi yang penting pada pembentukan banyak senyawa fenolik. Aktivitas PAL dapat ditingkatkan melalui **faktor lingkungan**, seperti nutrisi yang rendah, cahaya (melalui pengaruhnya pada fitokrom) dan infeksi fungi. Kontrolnya terjadi pada **inisiasi transkripsi**. Contohnya, invasi fungal memicu transkripsi mRNA yang mengkode PAL, sehingga dapat meningkatkan jumlah PAL pada tumbuhan, yang akan menstimulir sintesis senyawa fenol. Regulasi aktivitas PAL pada tumbuhan menjadi semakin kompleks dengan adanya banyak gen pengkode berbagai PAL, beberapa diantaranya hanya diekspresikan pada jaringan spesifik atau hanya dibawah kondisi lingkungan tertentu. Reaksi-reaksi selanjutnya yang dikatalisis oleh PAL adalah penambahan gugus hidroksil dan substituen lainnya. **Transsinamic acid, p-coumaric acid** dan derivatnya adalah senyawa **fenol sederhana** yang disebut **phenyl propanoid** karena mengandung cincin benzen.

Senyawa fenolik yang keluar ke dalam tanah akan menghambat pertumbuhan tumbuhan lain

Dari bagian tumbuhan yang terurai akan mengeluarkan berbagai metabolit primer dan sekunder ke lingkungan. Jika suatu tumbuhan dapat mereduksi pertumbuhan tumbuhan yang ada di dekatnya maka dapat meningkatkan aksesnya terhadap cahaya, air dan nutrisi. Senyawa **alelopati** merupakan senyawa yang dikeluarkan oleh tumbuhan yang memiliki pengaruh toksik pada tumbuhan lain di daerah sekitarnya.

Lignin adalah makromolekul fenolik yang sangat kompleks

Lignin memiliki bahan organik terbanyak kedua setelah selulosa. Lignin terikat secara kovalen dengan selulosa dan polisakarida lain di dinding sel sehingga

sulit diekstraksi. Lignin umumnya **dibentuk dari tiga phenylpropanoid alkohol** yang berbeda, yaitu: **coniferyl, coumaryl, dan sinapyl alkohol** yang disintesis dari phenylalanin melalui berbagai derivat asam sinamat. Lignin dapat dijumpai pada dinding sel berbagai tipe jaringan pendukung yaitu trakeid dan elemen pembuluh di xilem, terdapat pada penebalan dinding sekunder tetapi juga ada di dinding primer dan lamela tengah berdekatan dengan selulosa dan hemiselulosa. Rigiditas lignin memperkuat batang dan jaringan pembuluh, memungkinkan pertumbuhan ke atas dan membawa air dan mineral di dalam jaringan xilem dibawah tekanan negatif. Selain berperan dalam suport mekanik lignin juga berfungsi sebagai pelindung yang signifikan pada tumbuhan. Struktur lignin yang kaku dan kuat menyebabkan lignin tidak mudah dicerna oleh herbivora ataupun patogen.

Flavonoid adalah omponen senyawa fenolik yang terbesar adalah flavonoid. Setiap tumbuhan umumnya memiliki satu atau lebih senyawa flavonoid dan memiliki kandungan flavonoid yang khas (Indrawati dan Razimin, 2013). Flavonoid terdapat hampir diseluruh bagian tumbuhan, seperti akar, daun, kulit tepung sari, nektar, bunga, biji dan buah (Neldaati et al, 2013).

Senyawa fenol seperti flavonoid merupakan metabolit sekunder yang banyak tersebar terutama pada famili Leguminosae, Liliaceae, Polygonaceae, dan Scrophulariaceae (Akhsanita, 2012; Ikalinus et al., 2015).

Empat kelompok utama flavonoid

Flavonoid merupakan kelas terbesar pada senyawa fenolik tumbuhan, yang berdasarkan derajat oksidasi pada jembatan berkarbon 3 dibagi menjadi empat kelompok utama, yaitu: a) **anthosianin**, b) **flavon**, c) **flavonol** dan d) **isoflavon**.

Anthosianian adalah flavonoid berwarna penarik hewan (serangga)

Pigmen warna yang terdapat pada tumbuhan ada dua yaitu karotenoid dan flavonoid. **Karotenoid** yang terlihat yaitu **terpenoid** berwarna **kuning, oranye** dan **merah** yang berfungsi sebagai pigmen aksesori pada fotosintesis. **Flavonoid** merupakan senyawa fenolik yang menyusun lebih banyak variasi warna. Flavonoid pigmen yang paling banyak terdistribusi adalah antosianin yang bertanggungjawab pada sebagian besar warna merah, pink, ungu, dan biru pada bagian-bagian tumbuhan. Sebagai warna bunga dan buah antosianin penting untuk penarik hewan pollinator dan penyebar biji.

Antosianin adalah glikosida yang memiliki gula pada posisi 3 atau kadang di posisi lain. Antosianin tanpa gula dikenal sebagai **antosianidin**. Warna antosianin dipengaruhi beberapa factor termasuk jumlah gugus hidroksi dan metoksil di cincin B antosianidin, keberadaan asam asomatik yang teresterifikasi pada kerangka utama dan pH vakuola sel dimana senyawa ini disimpan. Antosianin juga dapat berada pada kompleks supra molekul bersama-sama ion ligan pengkelat dan kopigmen flavone. Adanya berbagai factor yang mempengaruhi warna antosianin dan kemungkinan keberadaan karotenoid maka dapat dipahami banyaknya variasi warna bunga dan buah yang dapat dilihat di alam. Evolusi warna Bunga ini dapat disebabkan karena terseleksinya pollinator berdasarkan warna bunga yang disukai. Selain warna sebagai sinyal penarik pollinator Bunga senyawa volatile khususnya monoterpen seringkali menghasilkan aroma yang atraktif.

Flavonoid melindungi kerusakan yang disebabkan cahaya ultraviolet

Dua kelompok utama flavonoid yang dijumpai di bunga adalah **flavon** dan **flavonol**. Flavonoid jenis ini mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang yang lebih pendek daripada yang diserap Antosianin. Namun hal ini menguntungkan lebah untuk mengetahui posisi madu di bunga. Flavon dan flavonol tidak terbatas di bunga; senyawa ini juga terdapat di daun semua tumbuhan hijau. Dua jenis flavonoid ini melindungi sel dari radiasi UV-B yang berlebih karena senyawa ini terakumulasi di lapisan epidermal daun dan batang dan mengabsorpsi daerah UV-B sementara panjang gelombang yang dibutuhkan untuk fotosintesis tetap tidak terganggu.

Isoflavonoid memiliki aktivitas antimicrobial

Isoflavonoid adalah kelompok flavonoid dengan posisi satu cincin aromatic B berubah. Isoflavon banyak dijumpai di legume. Isoflavon juga dikenal sebagai senyawa fitoaleksin, senyawa antimicrobial yang disintesis sebagai respon terhadap infeksi bakteri atau fungal untuk mencegah perluasan invasi pathogen.

Tannin mencegah serangan herbivora

Kategori kedua polimer fenol tumbuhan yang bersifat pertahanan selain lignin adalah tannin. Jenis tannin pertama adalah: **tannin terkondensasi**, yaitu senyawa yang dibentuk melalui polimerisasi unit flavonoid, banyak terdapat di tumbuhan berkayu. Karena tannin terkondensasi seringkali dapat dihidrolisis menjadi

antosianidin dengan perlakuan asam kuat maka seringkali disebut **proantosianidin**. Jenis tannin kedua adalah tannin yang dapat dihidrolisis, yaitu polimer heterogen yang mengandung asam fenolik, khususnya asam galat dan gula sederhana; lebih kecil dari tannin terkondensasi sehingga lebih mudah dihidrolisis. Sebagian besar tannin memiliki massa molekul antara 600-3000. Tannin adalah toksin yang mereduksi pertumbuhan dan ketahanan herbivora. Buah muda seringkali mengandung tannin dalam jumlah banyak yang terkonsentrasi di lapisan sel sebelah luar.

Pembentukan fitoaleksin

Fitoaleksin merupakan suatu senyawa anti mikrobia yang dibiosintesis atau dibuat dan diakumulasikan oleh tanaman setelah terjadi serangan oleh mikroorganisme patogen atau terpapar senyawa kimia tertentu dan iradiasi dengan sinar UV. Dari sel-sel rusak dan nekrotik (sel yang telah mati sebelum waktunya) akan dikeluarkan suatu zat yang berdifusi ke dalam sel sehat di sekitarnya muncul respon dari sel sehat berupa pengeluaran fitoaleksin. Fitoaleksin akan menjadi pertahanan tubuhan saat terakumulasi dalam jumlah yang cukup untuk mencegah perkembangan patogen. Beberapa contoh fitoaleksin yang dihasilkan tanaman adalah sebagai berikut;

- a) Capsidol
- b) Momilakton A
- c) Momilakton B
- d) Lubimin
- e) Pisatin
- f) Medicarpin
- g) Rishitin
- h) Glyceolin
- i) Phaseollin
- j) Phaseollidin
- k) K) kievitone
- l) Maackiain
- m) Resveratol

3. Senyawa Sekunder yang Mengandung Nitrogen

Metabolit sekunder tumbuhan banyak yang strukturnya memiliki nitrogen, termasuk alkaloid, sianogenik, glikosida, glukosinolat dan asam amino non protein.

a) Alkaloid

Alkaloid memiliki efek fisiologi yang dramatic pada hewan

Alkaloid adalah family metabolit sekunder mengandung nitrogen yang berjumlah lebih dari 15.000 dan dijumpai di sekitar 20% spesies tumbuhan berpembuluh. Atom nitrogen biasanya bagian dari cincin heterosiklik, cincin yang mengandung atom nitrogen dan karbon. Alkaloid adalah kelompok yang memiliki efek farmakologis pada hewan vertebrata. Sebagaimana namanya, alkaloid adalah alkalin. Pada nilai pH yang umum dijumpai di sitosol (pH 7.2) atau vakuola (pH 5-6) atom nitrogen bersifat proton, alkaloid bermuatan positif dan umumnya larut dalam air.

Alkaloid disintesis dari asam amino, khususnya lisin, tirosin dan triptofan. Tetapi kerangka karbon beberapa alkaloid mengandung komponen yang diperoleh dari lintasan terpen. Beberapa tipe berbeda termasuk nikotin dan derivatnya diperoleh dari ornitin, intermediet biosintesis arginine. Vitamin B nicotinic acid (niacin) adalah precursor cincin pyridine alkaloid; cincin pyrrolidon nikotin muncul dari ornitin. Nicotinic acid juga konstituen NAD⁺ dan NADP⁺ yang merupakan carrier electron pada metabolisme.

b) Sianogenik Glikosida

Sianogenik glikosida menghasilkan racun hydrogen sianida

Berbagai senyawa protektif bernitrogen selain alkaloid juga dijumpai di tumbuhan. Dua kelompok grup ini adalah sianogenik glikosida dan glukosinolat, tidak bersifat toksik tetapi ketika tanaman hancur akan dirombak menghasilkan racun volatile. Sianogenik glikosida terkenal dengan gas beracun yang disebut hydrogen sianida (HCN). Umbi ketela pohon (*manihot esculenta*) mengandung sianogenik glikosida tinggi.

c) Glukosinolat

Senyawa ini mengeluarkan bahan untuk pertahanan, sering sebagai penolak herbivore, misalnya family brassica (cabbage, broccoli, radish) yang pada umumnya memiliki senyawa ini. Glukosinolat menghasilkan racun volatile. Kelas kedua dari glikosida tumbuhan adalah glukosinolat yang akan diurai menghasilkan senyawa pertahanan bersifat volatile. Banyak dijumpai di Brassicaceae dan family sejenis (kubis, brokoli,) yang

memiliki aroma dan rasa yang khas.

d) **Asam amino non protein**

Asam amino ini tidak tergabung dalam protein tetapi hanya berperan sebagai senyawa protektif. Dapat tergabung ke protein secara tidak tepat sehingga menghasilkan protein nonfungsional.

Asam amino nonprotein sebagai pertahanan terhadap herbivore

Beberapa asam amino non protein menghasilkan toksitas dengan berbagai cara. Beberapa menghalangi sintesis atau pengambilan asam amino.

Beberapa protein tumbuhan menghambat pencernaan herbivora

Metabolit sekunder yang mengandung gugus fungsi hidroksil pada cincin aromatic. Merupakan gugus heterogen: beberapa larut air hanya di pelarut organik, beberapa larut air (asam karboksilat dan glikosida), beberapa polimer tak larut. Beberapa sebagai senyawa melawan herbivore dan pathogen. Fungsi lain adalah penarik serangga dan penyebar buah.

D. Mekanisme Serangga Menyebabkan Penyakit pada Tanaman

Patogen memanfaatkan senyawa yang dihasilkan tanaman untuk kehidupannya. Untuk menginfeksi tanaman patogen harus masuk ke dalam tanaman dengan memanfaatkan senyawa nutrisi dan bertahan dari sistem pertahanan inang. Penghalang fisik seperti kutikula, dinding sel harus dilewati patogen untuk mengambil senyawa dari tanaman tersebut. Senyawa tanaman kadang ada yang tidak dapat dimanfaatkan langsung oleh patogen sehingga perlu adanya perombakan agar dapat diserap dan dimanfaatkan oleh patogen. Tanaman memberikan respon terhadap kehadiran dan aktivitas patogen dengan membentuk sistem pertahanan baik berupa pertahanan struktural maupun pertahanan kimiawi. Patogen harus dapat mengatasi sistem pertahanan ini agar dapat tetap hidup dan mengambil makanan dari tanaman inangnya, baik dengan cara mekanis maupun kimiawi.

1) Inokulasi atau penularan

Bagian dari patogen atau patogen yang terbawa agen tertentu yang mengadakan kontak dengan tanaman disebut inokulum atau penular. Dengan demikian inokulum merupakan bagian dari patogen atau patogen itu sendiri yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Pada jamur atau cendawan, inokulum

dapat berupa miselium, spora, atau sklerotium. Pada bakteri, mikoplasma, dan virus, inokulumnya berupa individu bakteri, individu mikoplasma, dan patikel virus itu sendiri. Pada tumbuhan parasitik, inokulum dapat berupa fragmen tumbuhan atau biji dari tumbuhan parasitik tersebut. Pada nematoda, inokulum dapat berupa telur, larva, atau nematoda dewasa.

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

2) Penetrasi

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

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

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

3) Infeksi

Infeksi merupakan suatu proses dimulainya patogen memanfaatkan nutrisi ('sari makanan') dari inang. Proses ini terjadi setelah patogen melakukan kontak dengan sel-sel atau jaringan rentan dan mendapatkan nutrisi dari sel-sel atau jaringan tersebut. Selama proses infeksi, patogen akan tumbuh dan berkembang di dalam jaringan tanaman.

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

4) Invasi

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

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

5) Penyebaran

Penyebaran patogen berarti proses berpindahnya patogen atau inokulum dari sumbernya ke tempat lain. Penyebaran patogen dapat terjadi secara aktif maupun pasif. Penyebaran pasif yang berperan besar dalam menimbulkan penyakit, yaitu dengan perantaraan angin, air, hewan (terutama serangga), dan manusia. Beberapa patogen dapat melakukan penyebaran secara aktif, misalnya nematoda, zoospora dan bakteri motil. Ketiga macam inokulum ini mampu berpindah dalam jarak yang relatif pendek (mungkin hanya beberapa milimeter atau sentimeter) dengan menggunakan kekuatan sendiri sehingga kurang efektif dari segi perkembangan penyakit.

PENGARUH LINGKUNGAN PATHOGENESIS

BAB I

Pathogen

Patogen merupakan penyebab penyakit tumbuhan berupa jasad yang berukuran sangat kecil seperti jamur, bakteri, virus, nematode, gamping, mlo rickettsia, dan tumbuhan tinggi parasite. Sehingga factor lingkungan memegang peranan yang penting dalam mempengaruhi perkembangan dan pertumbuhannya. Penyakit akan terjadi apabila factor lingkungan mendukung untuk pertumbuhan dan perkembangan pathogen, pengaruh factor lingkungan dapat terjadi sebelum infeksi atau saat masih berada diluar inang. Tumbuhan inang juga berpengaruh pada perkembangan pathogen yang mempengaruhi ketahanan dan kerentanan sehingga menyebabkan keberhasilan adanya suatu infeksi. Selama infeksi, agen virulen eksternal seperti bakteri, virus atau jamur, menyerang ke dalam jaringan tubuh dan berkembang biak, menyebabkan penyakit. Pathogen ini menggunakan beberapa mekanisme invasi, penghindaran respon imun inang dan bertahan hidup atau replikasi didalam inang. Sementara beberapa mekanisme molekuler mungkin unik untuk pathogen tertentu, beberapa mungkin dilestarikan diseluruh spesies. Komponen sel inang yang dimodulasi oleh pathogen, baik ekstraseluler dan intraseluler, adalah membrane plasma, yang merupakan titik kontak pertama antara pathogen dan sel inang.

Pathogen mungkin menyebabkan penyakit pada tumbuhan dengan cara sebagai berikut :

1. Melemahkan inang dengan cara menyerap makanan secara terus menerus dari sel sel inang untuk kebutuhannya.

2. Menghasilkan atau mengganggu metabolisme sel inang dengan toksin enzim, atau zat pengatur tumbuh yang disekresinya.
3. Jaringan pengangkut menjadi lambat membawa makanan, hara mineral dan air.
4. Mengonsumsi kandungan sel inang setelah terjadi kontak

Factor Abiotik

Tumbuhan menjadi sakit apabila tumbuhan tersebut diserang oleh pathogen atau dipengaruhi oleh factor abiotic. Oleh karena itu untuk terjadinya penyakit tumbuhan, setidaknya harus terjadi kontak dan terjadi interaksi antara dua komponen antara tumbuhan dan pathogen. Bila terjadi kontak pada saat keadaan yang sangat dingin, sangat panas atau keadaan cuaca ekstrim lainnya, maka pathogen tidak mampu menyerang dan tumbuh menahan serangan, meskipun keduanya sudah terjadi kontak, penyakit tidak akan berkembang.

Jika ketiga komponen itu ada, penyakit akan berkembang dengan cepat. Akan tetapi, dari ketiga komponen tersebut masing-masing memiliki kemampuan untuk memperlihatkan keragamannya dan apabila terjadi perubahan pada salah satu komponen tersebut, tingkat serangan akan mempengaruhi penyakit yang menyerang dalam individu maupun populasi tumbuhan.



Sumber : materi kuliah ipt

Interaksi ketiga komponen tersebut telah digambarkan secara umum sebagai salah satu segitiga penyakit atau disease triangle. Pada tiap sisi perbandingannya sama, dengan jumlah sifat keseluruhan komponen yang memungkinkan penyakit itu terjadi. Apabila tumbuhan memiliki daya tahan terhadap patoge, maka segitiga penyakit dan jumlah penyakit akan kecil kemungkinan tidak ada. Sedangkan tanaman sangat rentan jika jarak tanam terlalu rapat maka disisi inangnya akan panjang dan jumlah pertumbuhan penyakit akan bertambah banyak. Dengan cara yang sama, pathogen virulen dalam jumlah berlimpah dan dalam keadaan aktif, maka sisi pathogen penyakitnya lebih banyak. Factor keadaan dapat mendukung pertumbuhan pathogen, diantaranya adalah suhu dan kelembaban yang dapat

menyebabkan penurunan ketahanan inang maka lingkungan memegang peranan penting dalam jumlah pertumbuhan potensial penyakit lebih besar.

Factor Lingkungan

Penyebab adanya penyakit dari factor lingkungan fisik atau kimia, penyakit akan semakin berat dalam waktu yang relative cepat, perkembangannya beragam menurut jenis tanaman, serta seberapa jauh pertumbuhan jenis tanaman yang tidak sesuai, yang menyebabkan penyebaran sangat cepat. Tiap jenis tanaman memiliki syarat terhadap factor fisik atau kimia tertentu untuk pertumbuhan yang optimal, maka dari itu diperlukan kondisi lingkungan yang baik untuk pertumbuhan jenis tanaman yang semestinya tidak menunjang gejala suatu penyakit, mulai dari persemaian hingga masa produktif. Penyakit yang disebabkan oleh factor lingkungan adalah hasil kondisi ekstream yang mendukung pertumbuhan (suhu dan kelembaban) dan kelebihan atau kekurangan zat kimia yang diserap atau dibutuhkan tumbuhan.

Pengaruh suhu

Tumbuhan pada umumnya tumbuh pada kisaran suhu 1 sampai 40°C, kebanyakan jenis tumbuhan tumbuh sangat baik antara 15 dan 30°C. Tumbuhan berbeda kemampuan bertahannya terhadap suhu ekstrim pada tingkat pertumbuhan yang berbeda. Misalnya pada tumbuhan yang sudah lama hidup, tentu kemampuan menyesuaikan dengan lingkungan sudah biasa di banding tumbuhan yang masih berkecambah yang rentan terhadap cahaya. Jaringan atau organ berbeda dari tumbuhan yang sama mungkin sangat bervariasi kepekaannya terhadap suhu rendah yang sama. Tunas jauh lebih peka disbanding daun dan sebagiannya.

Pengaruh suhu tinggi

Tumbuhan pada umumnya hanya dapat bertahan pada suhu maksimum, apabila suhu sedang tinggi diatas maksimum, kerusakan pada tubuh tumbuhan akan meluas. Pengaruh suhu tinggi pada pertumbuhan berhubungan dengan factor lingkungan yang lain, terutama kelebihan cahaya, kekeringan, kekurangan oxygen, atau angin kencang bersamaan dengan kelembaban relative yang rendah. Suhu tinggi dapat menyebabkan kerusakan yang kuat terutama pada bagian yang terkena cahaya matahari, contohnya pada buah berdaging dan sayuran. System jaringan pada buah dan sayur sangat rentan terhadap suhu yang tinggi. Jika penyerapan suhu sudah melebihi batas, akan menyebabkan perubahan warna, berlendir, melepuh, teksturnya kering yang menyebabkan buah menjadi kripit. Suhu tinggi juga terlibat dalam kekacauan air biji pada apel dan penurunan oxygen yang menyebabkan terjadinya bercak hitam pada kentang.

Pengaruh suhu rendah

Kerusakan pada tumbuhan yang disebabkan oleh suhu rendah lebih besar dibandingkan dengan suhu tinggi. Suhu di bawah 0°C atau titik beku menyebabkan berbagai kerusakan terhadap tumbuhan. Kerusakan itu meliputi kerusakan yang disebabkan oleh embun upas terhadap titik meristemik muda atau keseluruhan bagian tumbuhan herba, embun upas yang membunuh tunas pada persik, cherry, dan pepohonan lain, dan membunuh bunga, buah muda dan kadang-kadang ranting sekulen sebagian pepohonan. Kerusakan yang terjadi bervariasi tergantung pada tingkat penurunan suhu dan suhu rendah tersebut berlangsung. Kerusakan awal hanya mempengaruhi jaringan vascular utama yang lebih meluas berselang-selang pada umbi akan menghasilkan nekrosis seperti jarring. Tingkat kerusakan yang lebih umum, sebagian besar umbi akan menjadi rusak, menghasilkan nekrosis yang disebut tipe bisul.

Pengaruh kelembaban

Tanaman tumbuh dipengaruhi oleh berbagai factor yang berasal dari tumbuhan itu sendiri disebut factor internal, namun factor yang berasal dari lingkungan disebut factor eksternal, beberapa factor eksternal yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah kelembaban udara dan kelembaban pada tanah.

Pengaruh kelembaban Udara

Kelembaban udara berarti kandungan uap air dari udara kelembaban dibutuhkan oleh tanaman agar tubuhnya tidak cepat kering karena penguapan. Kelembaban yang dibutuhkan tanaman berbeda-beda tergantung pada jenisnya, jika ingin mendapatkan produktifitas yang optimal, tanaman ada yang membutuhkan kelembaban yang rendah. Penguapan pada daun dan permukaan tanah dapat berpengaruh terhadap kelembaban udara. Contohnya pada pohon, bila kelembaban tinggi maka pertumbuhan akan terganggu karena tidak seimbang antara unsur air dan cahaya, akan tetapi kelembaban udara yang tinggi sangat mempengaruhi pertumbuhan organ vegetative pada pohon, udara yang lembab akan mempengaruhi laju penguapan atau transpirasi. Jika kelembaban rendah, laju transpirasi akan meningkat dan penyerapan air dan zat-zat nutrisi juga rendah. Hal ini, akan mengurangi ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman sehingga pertumbuhannya akan terhambat. Jamur sangat menyukai keadaan yang lembab dan merusak akar tanaman dengan cara pembusukan. Jika kelembaban masih rendah akan menyebabkan munculnya penyakit atau hama yang dapat merusak tanaman.

Pengaruh kelembaban tanah rendah

Penyebab tidak subur tanah dan menyebabkan tanaman tumbuh tidak produktif dikarenakan adanya kelembaban didalam tanah. Kekurangan air mungkin juga terjadi secara

local pada jenis tanah tertentu, kemiringan tertentu atau lapisan tanah yang tipis dibawahnya terdapat batu atau pasir. tumbuhan yang menderita karena kekurangan kelembaban tanah biasanya tetap kerdil, hijau pucat sampai kuning terang, mempunyai daun bunga dan buah yang sedikit, kecil dan jarang tumbuh jika kekeringan berkelanjutan akan layu dan mati. Tumbuhan yang lemah karena kekeringan juga lebih rentan terhadap serangan pathogen dan serangga tertentu.

Pengaruh kelembaban tanah tinggi

Tanah tinggi jika terkena genangan air atau banjir, jika saluran drainasenya tidak baik dapat menimbulkan kelembaban pada tanah tersebut yang mengurangi suplai keluar masuknya oksigen ke akar. Kekurangan oksigen menyebabkan sel-sel akar mengalami stress. Pada kondisi basah menguntungkan pertumbuhan mikroorganisme secara berlebihan, yang kurang baik untuk tanah dan tumbuhan.

Drainase yang jelek menyebabkan tumbuhan tidak tumbuh secara normal, seringkali menyebabkan layu dan daun berwarna hijau pucat atau hijau kekuningan. Banjir selama musim tanam dapat menyebabkan kelayuan tetap dan kematian tumbuhan semusim sekulen dalam dua sampai tiga hari. Tanaman tidak langsung mengalami kematian apabila tergenang air, tetapi akan muncul kerusakan secara perlahan jika akar tergenang air selama beberapa minggu.

Tanah

Tanah dinilai berdasarkan atas tekstur lapisan atas dan lapisan bawah, kedalaman sampai lapisan pasir, kerikil dan lapisan kedap air, kedalaman efektif, kapasitas air tersedia, permeabilitas, alkalinitas dan salinitas.

Tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap kemampuan tanah menahan dan meresap air. Karena itu tekstur tanah dapat juga menjadi petunjuk tentang besarnya kapasitas air tersedia di dalam tanah. Tanah-tanah bertekstur kasar akan mempunyai daya penahan air yang rendah, sehingga air mudah meresap dan kapasitas air tersedia menjadi kecil.

Dalam hal ini perlu diperhatikan baik tekstur lapisan atas maupun lapisan bawah karena perbedaan tekstur dikedua lapisan kedua tersebut juga menentukan kemampuan tanah menahan air ataupun meresap air. Kedalaman sampai lapisan pasir/kerikil atau lapisan kedap air juga penting pengaruhnya terhadap kemampuan tanah menahan air, keadaan drainase, kapasitas air tersedia, permeabilitas, perkembangan akar dan sifat-sifat tanah lain yang berhubungan dengan itu.

Alkalinitas dan salinitas penting untuk menunjukkan banyaknya air yang diperlukan untuk mencuci garam-garam yang ada sehingga tidak menjadi racun bagi tanaman. Tanah-tanah dengan alkalinitas dan salinitas tinggi umumnya ditemukan didaerah beriklim kering (arid). Tanah-tanah dengan salinitas tinggi di daerah pantai terjadi karena pengaruh air laut. Tingkat kesuburan tanah tidak digunakan sebagai factor penciri karena merupakan sifat yang mudah diubah.

Pengelompokan penyakit yang disukai tanah kering dan basah :

Tanah Kering

Penyakit yang ada pada tanah kering adalah penyakit blas, biasanya penyakit ini menyerang padi gogo. Penyebab penyakit ini adalah jamur *pyricularia grisea*, jamur ini sudah berkembang dan beradaptasi sehingga mudah menyebar dilahan kering dan dapat menginfeksi pada semua fase pertumbuhan tanaman padi mulai persemaian hingga menjelang panen. Pada fase dimana pertumbuhan vegetative tanaman padi, jamur *pyricularia grisea* menginfeksi bagian daun dan menyebabkan gejala penyakit bercak cokelat berbentuk belah ketupat yang disebut blas daun. Pada fase pertumbuhan generative padi gogo, gejala penyakit blas berkembang pada tangkai atau leher malai yang disebut blas leher.



Penyakit blas bisa memicu gagal panen hingga 100% | Google

Sumber : bbpadi.litbang.pertanian.go.id

Pathogen dapat menginfeksi gabah sehingga dapat menular pada benih dan memperparah terjadinya penyakit blas leher. Penyakit blas juga menyerang tanaman seperti gandum, sorgum, dan spesies rumput-rumputan. Pada kondisi lingkungan yang kondusif, blas daun berkembang pesat dan kadang-kadang dapat menyebabkan kematian tanaman.

Tanah Basah

Tanah basah adalah wilayah dataran yang digenangi oleh air atau memiliki kandungan air yang tinggi, baik permanen maupun musiman. Tanaman yang bisa tumbuh pada lahan basah adalah kelapa sawit (*alaeis*), biasanya kelapa sawit ditanaman pada area rawa-rawa

yang keadaan lahannya digenangi air. Terdapat penyakit yang menyerang kelapa sawit pada lahan basah, penyakit itu menyerang bagian pucuk dan menyebabkan busuk bagian pucuk yang biasanya disebut bud rot. Penyakit ini di karenakan sebagai akibat serangan jamur *phytophthora palmivora*, *erwina sp*, *bacillus sp*, gangguan fisiologis, dan efek dari sambaran petir. Gejala dapat dilihat pada pucuk yang mengalami pembusukan atau tunas bakal daun yang masih muda yang belum keluar sepenuhnya. Setelah itu, terjadi penyebaran pembusukan pada bagian sekitar pucuk yang berdampak pelepah akan mati dan layu. Pada daun yang belum tua akan berakibat pangkalnya terserang dan membusuk lalu menguning.



Sumber : *kelapa sawit.blogspot*

Tanaman kelapa sawit yang berada di tanah basah haruslah waspada, karena serangan bud rot lebih kuat dari pada dilahan kering. Ada beberapa gejala penyakit pucuk busuk diantaranya janur berwarna pucat, bengkok kemudian patah, lalu sedikit demi sedikit daun bawah berwarna kuning pucat sampai berubah warna cokelat. Gejala yang mengkhawatirkan berada pada titik tumbuh, apabila batang di lubangi akan keluar cairan berwarna kuning yang mengeluarkan aroma busuk. Jika ini terjadi, dampak yang di rasakan tanaman sawit adalah batang tanaman menjadi kerdil, kurang berisi dan tumbuh tidak normal.

BAB II

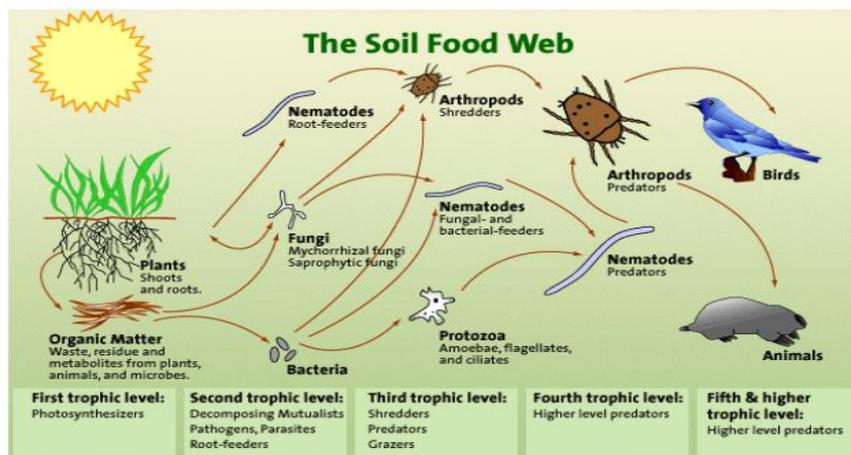
Definisi Tanah

Tanah merupakan tempat tinggal bagi flora dan fauna dimana 25% terdapat ditanah. Tanah disini juga dapat berfungsi sebagai penyediaan ekosistem melalui berbagai interaksi yang kompleks antara organisme dalam tanah itu sendiri seperti pembentukan tanah, penyaringan air, maupun penyediaan senyawa yang bermanfaat. Namun, tanah dapat menjadi

tempat ataupun wabah (*reservoir*) bagi penyakit pada manusia ataupun tanaman. Hal ini karena adanya penerima limbah padat dan cair ketanah, sehingga menyebabkan kontaminasi tanah yang dapat mengandung bahan organik dan anorganik berbahaya serta mikroorganismepatogen. Penyebaran agen penyebab penyakit dapat melalui tanah dapat terjadi akibat banjir, tiupan angin kencang atau pengangkutan Tanah.

dari daerah endemik kedaerah lainnya. Perlu diketahui bahwa pathogen disini mempunyai peran dalam penyebaran penyakit yang ditularkan melalui tanah, penyebaran melalui Tanah tersebut di bagi menjadi dua kelompok yaitu Euedaphic Pathogenic Organisms (EPOs) dan Soil Transmitted Pathogens (STP). Perlu upaya penanggulangan untuk menghindari penyebaran penyakit dari tanah kemanusia seperti dengan melakukan perbaikan terhadap Tanah yang tercemar oleh bahan kimia berbahaya serta dengan upaya pemberian desinfektan, maupun sanitasi lingkungan untuk mencegah kontaminasi mikroorganismepatogen di tanah.

Tanah secara langsung dapat mempengaruhi kesehatan Tanah maupun tanaman berupa penyakit yang dibawa oleh tanah itu (*soil-borne*). Sebagian besar organisme hidup didalam tanah berupa mikroba yang paling banyak dijumpai baik yang mikro, meso, dan makro. Mikroba disini berperan sebagai pengurai bahan-bahan organik yang berasal tumbuh, hewan, maupun manusia, namun tidak banyak juga mikroba bersifat pathogen bagi manusia dan terutama tanaman. Mikroba yang termasuk kedalam pathogen diantaranya yaitu protozoa, jamur, bakteri, dan juga virus, beberapa pathogen tersebut memerlukan inang sebagai tempat kelangsungan hidupnya (sellinus , 2005).



Sumber : The soil food web (google).

Penyebab Terjadinya Kontaminasi Patogen Dengan Tanah

1. Terkontaminasinya tanah oleh polutan organik dan anorganik. Diera jaman modren ini pesatnya pembangunan industri yang berdampak pada pembuangan limbah industri yang tidak terkendalikan. Limbah yang terbuang ketanah baik yang secara langsung maupun setelah pengolahan. Umumnya limbah yang dibuang pada kegiatan industri ini berupa hasil kegiatan industri, kegiatan perkotaan, kegiatan domestik, dan kegiatan pertambangan yang banyak mengandung polutan bahan anorganik (logam berat, nitrat, sianida, fosfat, dll) dan polutan bahan organik (pestisida, herbisida, fungisida) dalam jumlah konsentrasi yang tinggi. Tanah yang menerima limbah bahan kimia akan menjadi reservoir yang akhirnya mempengaruhi terhadap kesehatan tanaman.
2. Terkontaminasi tanah oleh mikroorganisme pathogen tanah adalah reservoir pathogen tanaman dan parasit. Tanah yang banyak mengandung berbagai jenis limbah maka akan diuraikan oleh organisme tanah yang diantaranya cacing, bakteri, virus, dan jamur pathogen dalam konsentrasi tinggi, dimana tanaman akan berkontak secara langsung dengan organisme tersebut terutama pada bagian akar tanaman.

Tanah Sebagai Penyebar Penyakit

Penyebaran pathogen pada tanah melalui banjir, tiupan angin, dan pengangkutan tanah dari daerah endemik ke daerah lainnya (Van Ness, dkk, 1956 & Seddon, 1965). Pada musim penghujan penyebaran pathogen pada Tanah terjadi karna adanya run off (aliran permukaan Tanah) yang membawa sebagian Tanah yang mengandung pathogen ataupun dikarnakan banjir. Sedangkan pada musim kemarau umumnya permukaan Tanah akan kering dan membuat lapisan permukaan tana mudah sekali terbawa oleh angin karna antara partikel yang tidak saling terikat terutama partikel debu.

Klasifikasi Patogen Dalam Tanah

Patogen memiliki siklus hidup yang kompleks yang melibatkan tumbuhan inang dalam kehidupan dan reproduksinya, vector biologi (serangga,hewan), dan vector fisik

(angin,air), serta reservoir untuk tetap hidup dalam kondisi lingkungan yang merugikan. Tanah mampu menyediakan berbagai macam hal untuk mikroorganisme. Berikut ini pembagian jenis Tanah sebagai pathogen tular Tanah:

1. Permanen : organisme yang tinggal secara permanen didalam tanah berkembangbiak dan mampu menyelesaikan siklus hidupnya. Contoh *C. tetani*, *Listeria monocytognes*, dan *Burkbolderia pseudomallei*. Ada juga organisme dimorfik diantaranya jamur *coccidioides* dan *Histoplasma capsulate*.
2. Periodik : organisme yang membutuhkan lingkungan tanah untuk menyelesaikan bagian dari siklus hidupnya secara terus menerus. Contohnya spora dari *Bucillus anthracis*, dan telur yang diletakkan didalam tanah oleh kutu vektor yang mengandung bakteri *Rickettsia rickettsii*. Untuk contoh lainnya yaitu telur cacing *Ancylostoma duodenale*, dan *Necator americanus*.
3. Sementara : organisme pathogen yang secara alami muncul didalam tanah, namun tidak memerlukan lingkungan sebagai tempat siklus hidupnya. Contoh kista dari parasit protozoa *G. lamblia* termasuk virus dari genus *hantavirus*.
4. Insidental : organisme pathogen yang berada didalam tanah melalui antropogenik yang diantaranya limbah buangan, air limbah, sistem pembuangan, sampah yang mengandung B3, ataupun dari tumbuhan bahan biologi yang beracun. Contohnya virus *Enterovirus poliovirus*, *Enterovirus coxsackie A dan B*, dan *Enterovirus epatitis A*.

Tabel 1. Penyakit yang ditularkan melalui tanah beserta agen penyebabnya

No.	Agent	<i>Euedaphic Pathogenic Organisms</i>	<i>Soil Transmitted Pathogens</i>
1.	Virus		Hantavirus Poliovirus Lyme disease : <i>Borrelia sp.</i> <i>Eschericia coli</i>

			<p>Shigellosis : e.g. <i>Shigella dysenteriae</i></p> <p>Salmonellosis : e.g. <i>Salmonella enterica</i></p> <p><i>Pseudomonas aeruginosa</i></p> <p>Q Fever : <i>Coxiella burnetii</i></p>
2.	Bakteri	<p>Actinomycetoma: (e.g. <i>Actinomyces israelii</i>)</p> <p>Anthrax: (<i>Bacillus anthracis</i>)</p> <p>Campylobacteriosis : (e.g. <i>Campylobacter jejuni</i>)</p> <p>Botulism: (<i>Clostridium botulinum</i>)</p> <p>Leptospirosis: (e.g. <i>Leptospira interrogans</i>)</p> <p>Listeriosis: <i>Listeria monocytogenes</i></p> <p>Gas Gangrene: <i>Clostridium perferingens</i></p> <p>Yersiniosis: <i>Yersinia enterocolitica</i></p> <p>Tularemia: <i>Francisella tularensis</i></p> <p>Tetanus: <i>Clostridium tetani</i></p>	
3.	Protozoa		<p>Amoebiasis : <i>Entamoeba histolytica</i></p> <p>Balantidiasis : <i>Balantidium coli</i></p> <p>Isosporiosis : <i>Isospora belli</i></p> <p>Toxoplasmosis : <i>Toxoplasma gondii</i></p> <p>Cryptosporidiosis : e.g. <i>Cryptosporidium parvum</i></p> <p>Cyclosporiosis: <i>Cyclospora cayetanensis</i></p> <p>Giardiasis : <i>Giardia lamblia</i></p>
4.	Jamur	<p>Aspergillosis: <i>Aspergillus sp.</i></p> <p>Blastomycosis: e.g. <i>Blastomyces dermatitidis</i></p> <p>Coccidioidomycosis: e.g. <i>Coccidioides immitis</i></p> <p>Histoplasmosis: <i>Histoplasma capsulatum</i></p> <p>Sporotrichosis: e.g. <i>Sporothrix schenckii</i></p> <p>Mucormycosis: e.g. <i>Rhizopus sp.</i></p> <p>Mycetoma: e.g. <i>Nocardia sp.</i></p> <p>Strongyloidiasis: e.g. <i>Strongyloides stercoralis</i></p>	
5.	Cacing		<p>Ascariasis : <i>Ascaris lumbricoides</i></p> <p>Hookworm : e.g. <i>Ancylostoma duodenale</i></p> <p>Echinococcosis : e.g. <i>Echinococcus multicularis</i></p> <p>Trichuriasis (Whipworm) : <i>Trichuris trichiura</i></p> <p>Strongyloidiasis : e.g. <i>Strongyloides</i></p>

			<i>stercoralis</i> Trichinellosis : <i>Trichinella spiralis</i> Enterobiasis (Pinworm)
--	--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------

Sumber : Arif Nugroho (2004)

Reaksi tanah terhadap penyakit menular

Keberadaan ion H^+ atau H_3O^+ (ion hidronium) didalam tanah adalah yang menentukan reaksi tanah, Hidrogen yang dinyatakan dalam bentuk Potensial (Ph). Dari kondisi reaksi Tanah tersebut maka tanah dibagi menjadi 3 reaksi yaitu masam (acid), netral, dan basah (alkali). Nilai suatu pH ditunjukkan dengan banyaknya konsentrasi ion Hidrogen (H^+) di dalam tanah. Tingginya kadar ion H^+ di dalam tanah, maka semakin masam tanah tersebut. Selain H^+ dan ion-ion lain didalam tanah ditemukan juga ion OH^- , yang jumlahnya sebanding dengan banyaknya dengan ion H^+ . Pada tanah-tanah masam terdapa sejumlah ion H^+ lebih tinggi dari pada OH^- . Sedangkan untuk tanah alkalis kandungan OH^- lebih banyak dari pada H^+ . Bila kandungan H^+ sama dengan OH^- maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai kadar pH 7. Reaksi tanah hanya berpengaruh pada penyakit yang dibawah oleh tanah itu sendiri. Dimana patogen-patogen didalam tanah tersebut dapat berkembangbiak dikarna faktor patogen tumbuh mendukung seperti jamur umumnya lebih menyukai kondisi basah, sedangkan untuk bakteri lebih menyukai kondisi tanah yang asam (acid).

Penularan penyakit pada tanah asam (acid)

Pemasaman Tanah adalah proses alami (natural). Kemasaman tanah merupakan salah satu masalah utama bagi pertumbuhan tanaman, biasanya tanah yang masam memiliki Ph kisaran 4,5 sampai 6. Dampak dari Ph masam ini terhadap tanaman diantaranya:

1. Penurunan ketersediaan unsure hara bagi tanaman.
2. Meingkatkan unsure beracun.
3. Turunya hasil produksi tanaman.
4. Akan terjadinya kerusakan akar tanaman.
5. Terhambat dalam penyerapan hara.

Tanah asam sebagai penyebab terjadinya penularan pathogen terhadap tanaman

Penyebab terjadinya tanah asam salah satunya yaitu bahan organik yang berada didalam tanah. Dimana bahan organik tersebut adalah bahan makanan bagi organisme tanah. Untuk diketahui bahwasannya bahan organik memiliki kandungan unsure yang berbeda-beda. Hasil dari dekomposisi mikroorganisme tersebut dapat mengasamkan tanah jika bahan-bahan tersebut mengandung unsure seperti aluminium (Al), besi (Fe), mangan (Mn). Tanah yang masam akan mendatangkan wabah penyakit bagi tanaman, pada dasarnya ada beberapa pathogen menyukai kondisi lingkungan yang tanahnya memiliki kadar Ph masam. Pathogen yang sangat suka terhadap Ph tanah yang masam yaitu bakteri dan tidak sedikit juga dari family fungi (jamur).

Tanah basah sebagai penyebab terjadinya penularan pathogen terhadap tanaman

Penyebab terjadinya tanah basah salah satunya sama dengan tanah asam yaitu kandungan bahan organik yang terdapat didalam tanah. Selain itu penyebab tanah basah adalah banyaknya zat yang memiliki sifat-sifat spesifik contohnya lilin. Tanah basah sendiri dapat menjadi wabah penyakit dikarenakan pada setiap pathogen (jamur,bakteri,virus,nematode,protozoa, dll) memiliki karakteristik untuk bisa bertumbuh dan berkembangnya. Contohnya yaitu jamur dan protozoa sangat suka terhadap Ph tanah yang basah atau lembab

Pengaruh Intensitas cahaya terhadap penyebaran penyakit atau pathogen

Intensitas cahaya sangat mempengaruhi terhadap penyebaran penyakit dimana intensitas cahaya matahari mempengaruhi suhu dan kelembapan lingkungan tempat berkembangnya pathogen. Masing-masing Pathogen memiliki karakteristik tempat yang bisa untuk dia tumbuh dan berkembangbiak, contoh jamur sangatlah suka didaerah yang memiliki tingkat kelembapan yang tinggi dengan suhu yang rendah namun ada juga jamur tingkat tinggi yang dapat tumbuh dengan banyak cahaya yang memiliki kisaran suhu tinggi. pada umumnya cahaya menstimulasi menjadi faktor penghambat terhadap pembentukan struktur alat-alat reproduksi dan spora pada jamur. Proses reproduksi pada dasarnya memerlukan cahaya, hanya pada saat fase tertentu saja yang memerlukan cahaya, atau secara bergantian struktur berbeda di dalam sporokarp dapat memberi respon berbeda terhadap cahaya (G.Schlegel,1994). Contoh spesies Discomycetes *Sclerotinia sclerotiorum* akan terbentuk dalam kondisi gelap, namun memerlukan cahaya untuk pembentukan pileusnya .Jamur dari

famili polyporaceae tahan terhadap intensitas cahaya matahari yang tinggi. Mungkin hal ini terjadi karena kebanyakan jamur family polyporaceae yang memiliki tubuh buah yang relatif besar. Jamur famili polyporaceae merupakan jamur pembusuk kayu (G.Schlegel,1994). Jamur atau cendawan (patogen) adalah tumbuhan yang tidak mempunyai klorofil sehingga bersifat heterotrof (tidak dapat membuat makanan sendiri) sehingga jamur kadang menjadi pathogen karna bersifat parasit. Jamur ada yang memiliki sifat parasit obligat, parasit fakultatif, atau saprofit.

BAB III

Efek oksigen dan karbon dioksida pada lingkungan biotik

Kegiatan pembakaran hutan maupun pembakaran bahan bakar fosil akan memicu peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Berbagai efek telah dtimbulkan akibat meningkatnya konsentrasi co₂ di lingkungan seperti efek rumah kaca dan perubahan pola iklim. Meningkatkan konsetrasi karbondioksida co₂ dilingkungan dapat meningkatkan kecepatan fotosintesis pada tanaman dan akan menurunkan kecepatan respirasi. Keadaan seperti ini akan mengganggu metabolisme dan pertumbuhan tanaman. Peningkatan kecepatan fotosintesis bisa menyebabkan penimbunan karbohidrat, sedangkan penurunan kecepatan respirasi mengurangi energi yang dibutuhkan tanaman.sejumlah tanaman memiliki kecepatan respirasi yang berbeda pada saat penyerapan co₂ yang kaya dilingkngan sekitar, sehingga akan memicu cepat ataupun lambatnya peningkatan etilen ataupun penuan sel. Laju fotosintesis yang meningkat karena peningkatan konsentrasi co₂ lingkungan menyebabkan perubahan pola alokasi karbon, hal ini menentukan kualitas tanaman sebagai sumber makanan bagi herbivor sehingga mempengaruhi interaksi serangga herbivor yang secara langsung makan tanaman tersebut sehingga dapat mengganggu kestabilan ekosistem secara global.

Efek oksigen terhadap lingkungan biotik banyak dipengaruhi oleh komponen abiotik seperti air, udara, dan suhu yang besar pengaruhnya terhadap kehidupan organisme.

1. Air

Air adalah benda cair yang tak terbatas jumlahnya, merupakan kebutuhan bagi semua makhluk hidup. Contohnya yaitu rumput laut, ganggang, lumut dan lain-lain. Semua sel dan jaringan terdiri dari air. Air merupakan media pelarut zat-zat yang dibutuhkan dan media pengangkut dalam tubuh hewan dan tumbuhan.

2. Udara

Udara merupakan salah satu komponen abiotic, dimana udara juga terdapat pathogen juga dapat tumbuh dan berkembang. Hewan dan manusia membutuhkan oksigen yang ada di udara untuk bernafas. Di udara terdapat gas CO_2 dan O_2 dimana CO_2 digunakan sebagai bahan untuk pembuatan makanan bagi tanaman sedangkan O_2 sebagai hasil dari fotosintesis. Oksigen dilepaskan ke udara untuk digunakan oleh semua makhluk hidup. Peristiwa ini menunjukkan adanya saling ketergantungan dan saling membutuhkan antar lingkungan dan makhluk hidup.

3. Suhu

Suhu dapat mempengaruhi lingkungan dan makhluk hidup yang berada disekitar lingkungan tersebut. Ada makhluk hidup yang dapat hidup pada suhu rendah, ada pula makhluk hidup yang dapat hidup pada suhu tinggi. Antara komponen abiotik dan komponen biotik saling ketergantungan. Tumbuhan selain membutuhkan oksigen untuk bernafas juga membutuhkan cahaya matahari untuk berfotosintesis. Begitu juga manusia dan hewan membutuhkan udara, air, dll, untuk kelangsungan kehidupan.

Amandemen organik tanah

Pada tanah gambut dianggap cukup potensial untuk perluasan areal pertanian karena menempati urutan kedua tanah terluas di Indonesia setelah podsolik. Namun pengembangan tanah gambut sebagai lahan pertanian menghadapi kendala karena tanah gambut mengandung bahan organik yang sangat tinggi tetapi status hara tanah gambut sangat rendah. Secara kimia, sifat tanah gambut yang utama adalah kemasaman tanah, ketersediaan hara, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, kadar asam organik, kadar pirit atau sulfur.

Berbagai alternatif untuk mengatasi kendala yang ada pada tanah gambut telah dilakukan, yaitu dengan memberikan beberapa jenis bahan amandemen pada tanah gambut seperti kapur, pupuk, tanah mineral, dan abu serbuk gergaji.

Pemberian bahan amandemen diketahui dapat meningkatkan produktivitas lahan gambut. Abu serbuk gergaji sering digunakan pada tanah gambut karena penggunaan abu sebagai

bahan amandemen tanah selain dapat mengurangi degradasi tanah gambut juga dapat menyuplai hara.

Pemberian tanah mineral juga memberikan respon yang baik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman yang ditanam pada tanah gambut. Bahan amandemen kapur, abu serbuk gergaji, dan tanah mineral masing-masing diketahui dapat memberikan perbaikan terhadap sifat kimia tanah gambut. Namun setiap bahan tersebut memiliki kemampuan yang baik untuk memperbaiki sifat kimia yang satu tetapi belum maksimal untuk sifat kimiayang lainnya.

Nutrisi inang pada penyakit

Nutrisi adalah mode nutrisi heterotrofik di mana organisme parasit hidup di permukaan tubuh atau di dalam tubuh jenis organisme lain (inang) dan mendapat nutrisi langsung dari tubuh inang. Karena parasit ini mendapatkan makanan dari inangnya, interaksi simbiosis ini sering berbahaya bagi inang. Parasit tergantung pada inangnya untuk bertahan hidup, karena inang memberikan nutrisi dan perlindungan. Sebagai hasil dari ketergantungan ini, parasit memiliki modifikasi yang cukup untuk mengoptimalkan nutrisi parasit dan karenanya kelangsungan hidup mereka. Dengan kata lain parasit organisme kecil yang hidup di atas atau di dalam tubuh organisme lain (inang) dan memperoleh nutrisi jaringan dan cairan tubuh mereka.

Parasit membutuhkan nutrisi untuk menjalankan fungsi-fungsi penting termasuk reproduksi dan pertumbuhan. Intinya nutrisi dibutuhkan dari inang adalah karbohidrat, asam amino dan lipid. Karbohidrat digunakan untuk menghasilkan energi, sementara asam amino dan asam lemak terlibat dalam sintesis makromolekul dan produksi telur.

Faktor lingkungan dalam epidermis

Factor lingkungan merupakan suatu factor yang dapat mempengaruhi kehidupan pada suatu organisme pada fase perkembangannya. Faktor lingkungan dibagi menjadi 3 yaitu kimia, fisik, dan biologis. Faktor fisik dan kimiawi merupakan faktor lingkungan yang bersifat non biologis, contoh faktor fisik yaitu suhu, cahaya, kelembaban, angin, dll. Contoh faktor kimiawi yaitu garam, air, mineral, logam, dll sedangkan faktor yang bersifat biologis (biotik), yaitu organisme yang berpengaruh terhadap organisme lain.

Hubungan antara faktor lingkungan dengan epidermis saling berinteraksi antara satu sama lainnya, sehingga sangat sulit untuk memisahkan pengaruh hanya dari satu faktor lingkungannya. Faktor-faktor abiotik merupakan penentu secara mendasar terhadap

ekosistem, sedangkan kontrol faktor biotik setidaknya tetap menjadi penting dalam mempengaruhi penyebaran dan fungsi individu dalam jenis makhluk hidup.

REFERENSI

Agrios, G.N. 1996. Ilmu penyakit tumbuhan (Terjemahan Munzir Busnia). Gajah Mada University Press.

Bidwek, R.G.S. 1979. Plant Physiology. Macmillan Publishing Co. Inc New York Collier Macmillan Publisher. London.

Burdon dkk.1996.*Microbiology*.London:Collier-McMillan Publisher

Gardner, F.P., R. B. Pearce, R. L. Mitchell. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (Terjemahan Herawati Susilo). Universitas Indonesia

G.Schlegel Hans. & Schmidt Karin.1994.*Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta:Universitas Gajah Mada.

Nugroho Arif.2004.Peran Tanah Sebagai Reservoir Penyakit.Balai besar penelitian dan pengembangan vektor dan reservoir penyakit

Prof. H. Subrotu. 2003. Tanah Pengelolaan dan Dampaknya.Samarinda:Fajar Gemilang.

Semangun, H. Penyakit-penyakit Tanaman Holtikultura di Indonesia. Gajah Mada University Press

Sellinus, Olle, et. Al (ed.). 2005. Essentials of Medical Geology, Impact of The Natural Environment On Public Health. Elsevier : United States. Hal. 486-487

Van Ness, G. B., dan C. D. Stein. 1956 Soil Favorable for Anthrax. Journal American Veterinary Medicine Assosiation, vol. 50, pp. 7-9 dalam Asep Ajit Kusnadi, 1985, Skripsi : Penyakit-Penyakit Bakterial Pada Hewan Ternak Yang Ditularkan Melalui Tanah, Fakultas Kedokteran Hewan : ITB, hal. 25-26