



# PENGENALAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN



Rainiyati, Af'idzatuttama, Dwiwiyati Nurul Septariani  
Rudi Hartono, Ilmi Hamidi, Rury Eryna P, Siska Irhamnawati Pulogu  
Arifin Tasrif, Mohamad Lihawa, Mufidah Afiyanti, Jumardi, Latifah  
Diana Putri, Resti Fajarfika, Titi Tricahyati, Ina Febria Ginting

**PENGENALAN**  
**HAMA**  
**DAN**  
**PENYAKIT**  
**TANAMAN**



## UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

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

### Pembatasan Perlindungan Pasal 26

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

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

### Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

# **Pengenalan Hama dan Penyakit Tanaman**

Rainiyati, Af'idzatuttama, Dwiwiyati Nurul Septariani  
Rudi Hartono, Ilmi Hamidi, Rury Eryna P, Siska Irhamnawati Pulogu  
Arifin Tasrif, Mohamad Lihawa, Mufidah Afiyanti, Jumardi, Latifah  
Diana Putri, Resti Fajarfika, Titi Tricahyati, Ina Febria Ginting



Penerbit Yayasan Kita Menulis

# Pengenalan Hama dan Penyakit Tanaman

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2025

Penulis:

Rainiyati, Af'idzatuttama, Dwiwiyati Nurul Septariani  
Rudi Hartono, Ilmi Hamidi, Rury Eryna P, Siska Irhamnawati Pulogu  
Arifin Tasrif, Mohamad Lihawa, Mufidah Afiyanti, Jumardi, Latifah  
Diana Putri, Resti Fajarfika, Titi Tricahyati, Ina Febria Ginting

Editor: Iko Mart Nadeak

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: [kitamenulis.id](http://kitamenulis.id)

e-mail: [press@kitamenulis.id](mailto:press@kitamenulis.id)

WA: 0813-9680-7167

IKAPI: 044/SUT/2021

Rainiyati., dkk.

Pengenalan Hama dan Penyakit Tanaman

Yayasan Kita Menulis, 2025

xviii; 276 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-113-827-9

Cetakan 1, April 2025

- I. Pengenalan Hama dan Penyakit Tanaman
- II. Yayasan Kita Menulis

## Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa  
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

# Kata Pengantar

Puji syukur tim penulis ucapkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan banyak anugerah dalam menyelesaikan buku “Pengenalan Hama dan Penyakit Tanaman”

Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman merupakan cabang penting dalam ilmu pertanian yang mempelajari interaksi antara tanaman dengan organisme pengganggu tanaman (OPT), yang terdiri dari hama dan patogen penyebab penyakit.

Buku ini membahas:

- Bab 1 Pengantar Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman
- Bab 2 Jenis-Jenis Hama Tanaman
- Bab 3 Jenis-Jenis Penyakit Tanaman
- Bab 4 Gejala Serangan Hama Pada Tanaman
- Bab 5 Gejala Penyakit Pada Tanaman
- Bab 6 Siklus Hidup Hama Tanaman
- Bab 7 Siklus Hidup Patogen Penyakit Tanaman
- Bab 8 Faktor Lingkungan Dalam Perkembangan Hama Dan Penyakit
- Bab 9 Pengendalian Hama Secara Mekanis
- Bab 10 Pengendalian Hama secara Biologis
- Bab 11 Pengendalian Hama Secara Kimiawi
- Bab 12 Pengendalian Penyakit secara Mekanis
- Bab 13 Pengendalian Penyakit Secara Biologis
- Bab 14 Pengendalian Penyakit secara Kimiawi
- Bab 15 Pengendalian Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman (PHT)
- Bab 16 Efek Pestisida Terhadap Lingkungan

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan hingga penerbitan buku ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi setiap pembaca.

Tim Penulis

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	viii
Daftar Gambar .....	xiii
Daftar Tabel .....	xvii

## **Bab 1 Pengantar Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman**

1.1 Pengertian Dasar .....	1
1.2 Ruang Lingkup Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman .....	3
1.3 Tinjauan Umum tentang Organisme Pengganggu Tanaman .....	5
1.4 Gejala Awal Gangguan Tanaman oleh Hama dan Patogen .....	7
1.5 Perbedaan Gejala Hama dan Penyakit pada Tanaman .....	9
1.6 Konsep Umum Siklus Hidup Organisme Pengganggu Tanaman .....	10
1.7 Faktor Penyebaran dan Reproduksi Patogen Penyakit Tanaman .....	11

## **Bab 2 Jenis-Jenis Hama Tanaman**

2.1 Pendahuluan .....	13
2.2 Hama Tanaman dari Kelompok Serangga .....	14
2.2.1 Wereng Batang Coklat (WBC) .....	14
2.2.2 Kutu Daun .....	16
2.2.3 Ulat Jagung .....	17
2.2.4 Lalat Buah .....	19
2.2.5 Ulat Grayak .....	21
2.2.6 Kumbang Kentang .....	22
2.3 Hama Tanaman dari Kelompok Vertebrata .....	24

## **Bab 3 Jenis-Jenis Penyakit Tanaman**

3.1 Pendahuluan .....	29
3.2 Kejadian dan Prevalensi .....	30
3.3 Perkembangan dan Penularan Penyakit .....	32
3.4 Klasifikasi Penyakit Tanaman .....	33
3.4.1 Penyakit Tanaman berdasarkan Agen Penyebab .....	33
3.4.2 Penyakit Tanaman berdasarkan Tanaman Inang .....	37
3.4.3 Penyakit Tanaman berdasarkan Penyebaran Penyakit .....	38
3.4.4 Penyakit Tanaman berdasarkan Kejadian dan Distribusi Geografis .....	39

3.4.5 Penyakit Tanaman berdasarkan Tipe Infeksi .....	40
3.4.6 Penyakit Tanaman berdasarkan Siklus Hidup Patogen .....	40
3.4.7 Penyakit Tanaman berdasarkan Organ Terinfeksi .....	40
3.4.8 Penyakit Tanaman berdasarkan Gejala .....	41

#### **Bab 4 Gejala Serangan Hama Pada Tanaman**

4.1 Pendahuluan .....	45
4.2 Serangan Hama .....	46
4.2.1 Identifikasi Serangan .....	47
4.2.2 Gejala Serangan di Pertanian .....	49
4.2.3 Gejala Serangan di Pergudangan .....	57

#### **Bab 5 Gejala Penyakit Pada Tanaman**

5.1 Pengertian dan Pentingnya Identifikasi Gejala Penyakit Tanaman .....	59
5.2 Klasifikasi Gejala pada Penyakit Tanaman .....	61
5.2.1 Gejala Nekrosis (Kematian Jaringan) .....	61
5.2.2 Gejala Hipoplasia (Pertumbuhan Terhambat) .....	64
5.2.3 Gejala Hiperplasia (Pertumbuhan Berlebihan) .....	65
5.3 Teknik Identifikasi Gejala Penyakit .....	67

#### **Bab 6 Siklus Hidup Hama Tanaman**

6.1 Pendahuluan .....	69
6.2 Pengenalan Siklus Hidup Serangga Hama Tanaman .....	69
6.3 Metamorfosis Serangga Hama .....	71
6.4 Siklus Hidup Serangga Hama Penting .....	82
6.4.1 Wereng ( <i>Nilaparvata lugens</i> ) .....	82
6.4.2 Ulat Grayak ( <i>Spodoptera litura</i> ) .....	84

#### **Bab 7 Siklus Hidup Patogen Penyakit Tanaman**

7.1 Pendahuluan .....	87
7.2 Sumber Inokulum .....	88
7.3 Inokulasi dan Penetrasi .....	89
7.4 Infeksi dan Kolonisasi .....	91
7.5 Gejala Penyakit Tanaman .....	92
7.6 Reproduksi dan Penyebaran Patogen .....	94
7.7 Dormansi dan Survival .....	96

**Bab 8 Faktor Lingkungan Dalam Perkembangan Hama Dan Penyakit**

8.1 Pendahuluan.....	97
8.2 Faktor Biotik.....	99
8.3 Faktor Abiotik.....	101
8.3.1 Suhu dan Perubahan Musim.....	102
8.3.2 Kelembaban dan Curah Hujan.....	104
8.3.3 Karakteristik Tanah dan Nutrisi.....	107
8.3.4 Karakteristik Tanah dan Nutrisi.....	108
8.3.5 Dampak Pemupukan terhadap Perkembangan Hama dan Penyakit....	112
8.4 Perubahan Iklim dan Pergeseran Pola Serangan Hama dan Penyakit.....	113
8.4.1 Dampak Pemanasan Global terhadap Perilaku Hama dan Patogen....	113
8.4.2 Badai, Banjir, dan Lonjakan Hama serta Penyakit Tanaman.....	115
8.4.3 Kekeringan dan Peningkatan Tekanan Serangan Serangga.....	116

**Bab 9 Pengendalian Hama Secara Mekanis**

9.1 Pendahuluan.....	119
9.2 Jenis-jenis Pengendalian Hama Secara Mekanis.....	121
9.2.1 Penggunaan Perangkap (Traps).....	121
9.2.2 Jaring Penghalang (Barrier Nets).....	123
9.2.3 Pemangkasan dan Pembersihan Tanaman (Pruning and Cleaning)	123
9.2.4 Rotasi Tanaman dan Penggunaan Tanaman Penghalang (Crop Rotation and Barrier Plants).....	124
9.2.5 Penggunaan Alat dan Mesin (Mechanical Equipment).....	125
9.2.6 Penggunaan Pencahayaan dan Suhu (Light and Temperature Control)..	125
9.2.7 Penyemprotan dengan Air atau Aliran Udara.....	126
9.2.8 Penggunaan Alat Tanam atau Alat Pertanian.....	126
9.2.9 Pemanfaatan Teknologi dan Otomatisasi.....	126
9.3 Keuntungan Pengendalian Hama Secara Mekanis.....	126
9.4 Kekurangan Pengendalian Hama Secara Mekanis.....	130

**Bab 10 Pengendalian Hama secara Biologis**

10.1 Konsep Dasar.....	135
10.2 Definisi dan Konsep Dasar.....	137
10.3 Faktor Penting dalam Keberhasilan Aplikasi Biokontrol Hama.....	142
10.3.1 Pemahaman tentang Biologi dan Ekologi Hama.....	142
10.3.2 Pemilihan Agen Pengendalian Hayati yang Tepat.....	143
10.3.3 Kondisi Lingkungan.....	145
10.3.4 Integrasi dengan Strategi Pengendalian Hama Lainnya.....	146
10.3.5 Pemantauan dan Evaluasi.....	147

10.3.6	Pertimbangan Regulasi dan Ekonomi .....	149
<b>Bab 11 Pengendalian Hama Secara Kimiawi</b>		
11.1	Pendahuluan.....	153
11.2	Hama Serangga dalam Pertanian dan Dampaknya.....	155
11.3	Konsep Pengendalian Hama Secara Kimiawi.....	157
11.4	Jenis-Jenis Insektisida dan Mekanisme Kerjanya.....	158
11.5	Metode Aplikasi Insektisida yang Efektif .....	160
11.6	Dampak Penggunaan Insektisida Terhadap Lingkungan.....	162
11.7	Strategi Penggunaan Insektisida Yang Berkelanjutan.....	163
<b>Bab 12 Pengendalian Penyakit secara Mekanis</b>		
12.1	Pendahuluan.....	167
12.2	Konsep Dasar Penyakit Tanaman .....	168
12.3	Prinsip Pengendalian Penyakit Tanaman .....	170
12.4	Pengendalian Penyakit Tanaman secara Mekanis .....	171
<b>Bab 13 Pengendalian Penyakit Secara Biologis</b>		
13.1	Pendahuluan .....	177
13.2	Teknik Pengendalian Biologis Penyakit Tanaman .....	179
13.2.1	Penggunaan Mikroba Antagonis .....	179
13.2.2	Aplikasi Biopestisida .....	181
13.2.3	Penggunaan Mikroba Endofit.....	185
13.2.4	Induksi Ketahanan Tanaman .....	186
<b>Bab 14 Pengendalian Penyakit secara Kimiawi</b>		
14.1	Pendahuluan.....	189
14.2	Fungisida.....	190
14.2.1	Jenis Fungisida.....	191
14.2.2	Metode Aplikasi.....	198
14.3	Bakterisida .....	202
<b>Bab 15 Pengendalian Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman (PHT)</b>		
15.1	Pendahuluan.....	205
15.2	Preventif .....	206
15.2.1	Pemilihan Lokasi Tanam .....	206
15.2.2	Pemilihan Varietas.....	207
15.2.3	Rotasi Tanam .....	209
15.2.4	Perawatan Tanaman .....	210

---

15.3 Monitoring .....	212
15.4 Pengendalian.....	213
15.4.1 Pengendalian secara Kultur Teknis.....	214
15.4.2 Pengendalian Fisik dan Mekanik .....	215
15.4.3 Pengendalian Hayati.....	216
15.4.4 Pengendalian Kimia .....	217
<b>Bab 16 Efek Pestisida Terhadap Lingkungan</b>	
16.1 Pendahuluan .....	219
16.2 Sejarah Jenis-Jenis Pestisida .....	220
16.3 Mekanisme Penggunaan Pestisida .....	225
16.3.1 Herbisida .....	225
16.3.2 Insektisida.....	226
16.3.3 Fungisida .....	227
16.4 Dampak Terhadap Air dan Tanah .....	228
Daftar Pustaka .....	235
Biodata Penulis .....	269



## Daftar Gambar

Gambar 2.1:	Serangga dewasa wereng batang coklat.....	14
Gambar 2.2:	Imago kutu daun .....	16
Gambar 2.3:	Larva <i>Helicoverpa armigera</i> .....	18
Gambar 2.4:	Gejala serangan larva <i>H.armigera</i> pada tongkol jagung ...	18
Gambar 2.5:	Imago lalat buah.....	20
Gambar 2.6:	Larva ulat grayak pada bawang .....	21
Gambar 2.7:	Imago serangga <i>Epilachna</i> .....	23
Gambar 2.8:	Tikus sawah.....	24
Gambar 4.1:	Gejala Kerusakan serangan hama : Guntingan pada daun (a), lubang pada pelepah (b), bentuk lidi pada anak daun (c), dan bercak coklat pada kuncup tanaman sagu (d).....	47
Gambar 4.2:	Serangga hama yang menyerang : <i>S. Coriceae</i> (a-d), <i>Catantops brachypterus</i> (e), <i>Oxya chinensis</i> (f), <i>Physus</i> sp (g), <i>B. Longissima</i> (h), <i>R. Ferrugineus</i> (i) dan <i>O. Rhinoceros</i> (j).....	48
Gambar 4.3:	Gejala jejak serangan tikus di pertanaman (a-b) dan di gudang gabah (c).....	48
Gambar 4.4:	Serangan hama immobile yang pada tanaman daun kacang (a) daun bawang (b) pakchoy (c) dan padi (d).....	49
Gambar 4.5:	Gejala kerusakan daun beberapa tanaman akibat serangan hama.....	51
Gambar 4.6:	Gejala serangan hama batang padi. Sundep (a); Beluk (b); penggerek padi putih (c); penggerek padi kuning (d); penggerek padi merah jambu (e) .....	52
Gambar 4.7:	Gejala serangan hama buah. Ulat tortrix ( <i>Syndemis musculana</i> ) pada buah apel (a); lalat ( <i>Ceratitis capitata</i> ) pada buah pear (b); ulat buah ( <i>Contarinia pyrivora</i> ) pada buah pear (c).....	53
Gambar 4.8:	Kerusakan polong akibat serangan hama penghispolong kedelai <i>Riptortus linearis</i> pada beberapa perlakuan.	

- Formulasi campuran minyak jarak dan mimba 1% (a); insektisida sipermentrin (b), kontrol (c) dan mimba 1%...54
- Gambar 4.9: Kerusakan pada bulir padi akibat serangan hama walansangit. (a) tusukan tembus biji yang diwarnai eritrosin; (b) sekam dari bulir hampa; (c) perubahan warna biji periode masak susu; (d) perubahan warna biji masak panen.....55
- Gambar 4.10: Kerusakan pada akar dan umbi akibat serangan hama. (a) uret umbi wortel; (b) uret akar bawang; (c) anjing tanah pada kangkung. ....56
- Gambar 4.11: Kerusakan Ubi jalar merah dan ubi jalar putih akibat serangan hama lanas. (a) kepadatan serangan hama pada umbi merah setelah dikupas; (b) kepadatan serangan hama pada umbi gejala pada umbi merah utuh ; (c) gejala pada umbi merah utuh; (d) gejala pada umbi putih utuh.....56
- Gambar 4.12: Kerusakan pada biji produk pertanian di gudang. (a) beras oleh *Sitophilus oryzae*; (b) kerusakan kedelai oleh *Callosobruchus* sp; (c) kerusakan kedelai oleh *Tribolium castaneum*; (d) jagung oleh *Sitophilus zeamais* .....57
- Gambar 5.1: Dari kiri ke kanan: tanaman padi yang terinfeksi *B. oryzae* (Agrios, 2008); hawar daun bakteri pada padi akibat *X. oryzae* pv. *oryzae* (Niño-Liu et al., 2006); busuk akar pada tembakau akibat *R. solani* (Gonzalez et al., 2011); dan kelapa sawit yang terinfeksi *G. boninense* 63
- Gambar 5.2: Dari kiri ke kanan: tanaman padi yang terserang RGSV(GDA, 2014); infeksi ChiVMV pada cabai (Meetei et al., 2020); dan tomat yang terinfeksi *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*.....65
- Gambar 5.3: Dari kiri ke kanan: crown gall akibat infeksi *A. tumefaciens* (Agrios, 2008); witches' broom yang disebabkan oleh *M. perniciosus* pada kakao.....66
- Gambar 6.1: Representasi skematis siklus hidup serangga. A. Spesies hemimetabola, belalang. B. Spesies holometabola, kupu-kupu raja (Lepidoptera: Nymphalidae), *Danaus plexippus*.....73
- Gambar 6.2: Siklus hidup wereng coklat, *Nilaparvata lugens*.....83
- Gambar 6.3: Siklus hidup ulat grayak, *Spodoptera litura* .....84

---

Gambar 14.1:	Pengaruh perlakuan benih dengan fungisida sistemik terhadap pertumbuhan tanaman dengan atau tanpa patogen yang ditularkan melalui benih dan tanah. ....	200
Gambar 15.1:	Mekanisme dari tanaman inang yang bersifat resiten terhadap serangga.....	208
Gambar 15.2:	Rotasi tanam pada lahan pertanian .....	210
Gambar 15.3:	Keuntungan utama monitoring hama secara otomatis .....	213
Gambar 15.4:	Tumpang sari antara gandum dan kacang faba .....	214
Gambar 15.5:	Praktik-praktik yang diikuti berdasarkan prinsip penutupan tanah dari pertanian konservasi .....	216
Gambar 16.1:	Struktur umum organofosfat .....	224
Gambar 16.2:	Struktur umum karbamat.....	224
Gambar 16.3:	Konsentrasi pestisida yang ditemukan pada air permukaan dan air tanah.....	230



# Daftar Tabel

Tabel 1.1: Perbedaan antara hama dan pathogen .....	2
Tabel 1.2: Perbandingan karakteristik umum antara gejala akibat hama dan patogen .....	9
Tabel 8.1: Pengaruh Faktor Biotik terhadap Perkembangan hama dan penyakit tanaman .....	100
Tabel 8.2: Faktor Abiotik Terhadap Hama dan Penyakit Tanaman .....	101
Tabel 13.1: Jenis tumbuhan berpotensi sebagai bahan pestisida nabati .....	183
Tabel 13.2: Aplikasi biopestisida hayati dengan beberapa jenis formulasi ..	184
Tabel 13.3: Jenis mikroba endofit dalam pengendalian penyakit tanaman ..	186
Tabel 14.1: Cara kerja beberapa fungisida sintetik dalam perlindungan tanaman .....	198
Tabel 16.1: Jenis-jenis pestisida berdasarkan target yang dituju .....	221
Tabel 16.2: Jenis Polutan Pestisida dalam air .....	229
Tabel 16.3: Dampak keseluruhan pestisida terhadap aktivitas enzimatik .....	233



# Bab 1

## Pengantar Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman

### 1.1 Pengertian Dasar

Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman merupakan cabang penting dalam ilmu pertanian yang mempelajari interaksi antara tanaman dengan organisme pengganggu tanaman (OPT), yang terdiri dari hama dan patogen penyebab penyakit. Tujuan utama dari studi ini adalah untuk memahami berbagai faktor yang memengaruhi timbulnya gangguan pada tanaman dan bagaimana cara menanggulangnya secara efektif dan berkelanjutan. Dalam ruang lingkup ini, pengendalian hama dan penyakit tanaman berperan langsung dalam menjaga kuantitas dan kualitas produksi pertanian serta melindungi keberlanjutan agroekosistem.

Organisme pengganggu tanaman dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu hama dan patogen. Hama adalah organisme hewan seperti serangga, tungau, dan nematoda yang merusak jaringan tanaman secara langsung.

Sementara itu, patogen merupakan mikroorganisme penyebab penyakit seperti jamur, bakteri, virus, dan mikoplasma yang menyebabkan gangguan fisiologis dan biokimia pada tanaman.

Pengaruh negatif dari hama dan penyakit tanaman tidak hanya dirasakan oleh petani, tetapi juga berdampak pada ketahanan pangan nasional. Menurut Food and Agriculture Organization (FAO), kerusakan hasil pertanian akibat serangan hama dan penyakit dapat mencapai 20% hingga 40% setiap tahunnya (FAO, 2021). Kondisi ini menuntut pentingnya penerapan prinsip-prinsip ilmiah dalam identifikasi, pemantauan, dan pengendalian OPT.

Ilmu ini juga mendukung pembangunan sistem pertanian yang adaptif dan presisi. Pengembangan teknologi pemantauan berbasis sensor, citra satelit, dan kecerdasan buatan membuka ruang bagi strategi pengendalian yang lebih terukur dan efisien (Collinge et al., 2022). Selain itu, perkembangan bioteknologi tanaman memungkinkan rekayasa varietas yang tahan terhadap hama dan penyakit spesifik, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia.

Dalam pendekatan epidemiologis, ilmu penyakit tanaman menggunakan model konseptual segitiga penyakit (*disease triangle*) yang menggambarkan interaksi antara tiga komponen utama: patogen yang virulen, tanaman inang yang rentan, dan lingkungan yang mendukung. Ketiga elemen ini harus hadir secara simultan agar suatu penyakit dapat berkembang (Pokhrel, 2021). Tabel 1.1 di bawah ini menunjukkan perbedaan antara hama dan patogen.

**Tabel 1.1:** Perbedaan antara hama dan pathogen

Kriteria	Hama	Patogen
Bentuk organisme	Makroorganisme (serangga, tikus, dsb.)	Mikroorganisme (jamur, bakteri, virus)
Cara merusak	Secara langsung, memakan bagian tanaman	Infeksi jaringan tanaman, menyebabkan gejala

Deteksi	Dapat dilihat langsung	Diperlukan analisis laboratorium
Sifat kerusakan	Lokal dan cepat terlihat	Bisa sistemik dan tersembunyi

Kehadiran ilmu hama dan penyakit tanaman juga berperan penting dalam kebijakan pertanian, terutama dalam sistem karantina tumbuhan dan pengaturan peredaran pestisida. Melalui pengawasan berbasis risiko dan sertifikasi bebas penyakit, negara dapat mencegah masuknya organisme invasif yang berpotensi merugikan. Perkembangan globalisasi dan perubahan iklim telah menyebabkan penyebaran hama dan penyakit ke wilayah yang sebelumnya tidak terdampak.

Perpindahan benih, tanaman hias, dan hasil pertanian antarnegara membawa serta risiko kontaminasi biologis. Oleh karena itu, pendekatan holistik diperlukan dalam upaya mitigasi risiko ini (Elangovan et al., 2024). Dalam konteks keberlanjutan, pendekatan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) semakin menjadi arus utama. PHT mengintegrasikan metode pengendalian biologis, mekanis, kimiawi, dan kultur teknis secara sinergis, dengan prioritas pada efisiensi, keselamatan lingkungan, dan keberlanjutan produksi (Pandey et al., 2016).

## 1.2 Ruang Lingkup Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman

Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman mencakup kajian terhadap berbagai organisme pengganggu tanaman (OPT) yang meliputi hama, patogen, dan interaksinya dengan tanaman budidaya. Ruang lingkup disiplin ini sangat luas dan melibatkan pendekatan multidisipliner, termasuk entomologi, patologi tanaman, ekologi, mikrobiologi, agronomi, dan bahkan teknologi informasi pertanian. Hal ini menjadikan ilmu ini sebagai komponen

strategis dalam pengembangan sistem pertanian modern yang berkelanjutan.

Studi mengenai hama dan penyakit tanaman mencakup aspek identifikasi organisme pengganggu, pemahaman dinamika populasi dan penyebaran penyakit, serta pengembangan strategi pengendalian berbasis ekosistem. Pengetahuan ini tidak hanya diterapkan pada tanaman pangan, tetapi juga pada hortikultura, perkebunan, dan kehutanan. Oleh karena itu, ilmu ini memainkan peran penting dalam menunjang produktivitas pertanian dan ketahanan pangan.

Di dalam ilmu ini, pemahaman tentang faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kemunculan dan perkembangan OPT sangat esensial. Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, serta praktik budidaya akan memengaruhi dinamika infeksi dan populasi hama. Oleh karena itu, ruang lingkup ilmu ini juga mencakup pemodelan iklim mikro dan epidemiologi tanaman. Selain mencakup teori dasar, ilmu ini juga menekankan pada pendekatan praktis, seperti surveilans dan monitoring OPT, evaluasi ambang ekonomi pengendalian, hingga penerapan prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT merupakan pendekatan holistik yang menggabungkan aspek ekologis, ekonomis, dan sosial dalam pengendalian OPT (Pandey et al., 2016).

Dalam ranah kebijakan publik dan regulasi, ruang lingkup ilmu ini mendukung perumusan sistem karantina tumbuhan, pengawasan lalulintas tanaman antarwilayah, serta pengaturan penggunaan pestisida yang ramah lingkungan. Kerangka kerja ini juga digunakan sebagai dasar dalam perdagangan internasional komoditas pertanian yang memenuhi standar fitosanitasi global. Perkembangan teknologi seperti sensor optik, citra satelit, dan kecerdasan buatan juga telah masuk ke dalam cakupan ilmu ini, memperluas pendekatan diagnosis dan prediksi kemunculan OPT secara real-time.

Integrasi teknologi informasi ini memperkuat manajemen pertanian presisi yang berbasis data. Ilmu ini tidak hanya penting di tingkat produksi, tetapi juga dalam pendidikan dan penyuluhan. Penyuluh pertanian dan praktisi

lapangan sangat memerlukan pemahaman dasar mengenai ruang lingkup gangguan tanaman untuk mampu memberikan rekomendasi pengendalian yang akurat dan aplikatif di lapangan.

Dalam lingkup pendidikan tinggi dan riset, ilmu ini menjadi bagian dari kurikulum wajib di fakultas pertanian dan menjadi bidang kajian tersendiri yang terus berkembang sesuai tantangan zaman. Penelitian mutakhir mengenai resistensi tanaman, mekanisme molekuler infeksi, dan pendekatan biologis ramah lingkungan terus memperluas cakupan ilmu ini. Dengan memahami ruang lingkup Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman secara menyeluruh, pembaca akan memperoleh dasar konseptual untuk memahami bab-bab selanjutnya dalam buku ini.

Topik-topik seperti klasifikasi hama dan patogen, pola gejala yang ditimbulkan, serta strategi pengendalian akan diuraikan lebih rinci pada bagian-bagian berikutnya. Sebagai pengantar, bab ini memberikan kerangka dasar yang akan membantu pembaca memahami bagaimana berbagai jenis gangguan tanaman terjadi, berkembang, dan dapat dikendalikan dengan pendekatan ilmiah yang tepat.

## 1.3 Tinjauan Umum tentang Organisme Pengganggu Tanaman

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) merupakan kelompok makhluk hidup yang menyebabkan kerugian ekonomi pada budidaya tanaman, baik melalui kerusakan langsung maupun sebagai vektor penyebar penyakit. Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) merupakan entitas biologis yang menyebabkan gangguan pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman budidaya, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menurut Gougherty & Davies (2021), klasifikasi OPT secara modern perlu mempertimbangkan aspek taksonomi, filogeni, serta fungsi ekologisnya dalam sistem pertanian. Pendekatan ini membantu memahami bagaimana

hama dan patogen berevolusi bersama tanaman inangnya dan bagaimana mereka menyebar di berbagai wilayah agroekosistem (Gougherty & Davies, 2021).

OPT terdiri atas dua kategori utama, yaitu hama dan patogen penyebab penyakit. Pemahaman umum tentang kelompok-kelompok ini menjadi bagian penting dalam fondasi ilmu hama dan penyakit tanaman. Hama secara umum merujuk pada hewan, terutama serangga dan vertebrata kecil, yang menyerang jaringan tanaman untuk makan atau bertelur. Secara taksonomis, hama tanaman mencakup berbagai kelompok invertebrata seperti serangga (Insecta), tungau (Acarina), nematoda (Nematoda), dan vertebrata kecil (seperti tikus). Sementara itu, patogen merupakan mikroorganisme seperti jamur, bakteri, virus, dan mikoplasma yang menginfeksi tanaman dan menimbulkan penyakit fisiologis.

Patogen tanaman, di sisi lain, mencakup jamur (Fungi), bakteri (Bacteria), virus (Viridae), dan mikoplasma. Ireland et al. (2020) mengembangkan sistem Plant Pest Impact Metric System (PPIMS) yang memungkinkan pengelompokan OPT berdasarkan intensitas kerusakan, luas wilayah terdampak, dan kemampuan penyebarannya, sehingga lebih relevan dengan kebijakan pengelolaan berbasis risiko (Ireland et al., 2020). Kedua kelompok ini memiliki karakteristik biologis dan ekologi yang berbeda, sehingga pendekatan identifikasi dan pengendaliannya juga berbeda.

Dari sisi peran ekologis, OPT tidak hanya menjadi pengganggu, tetapi juga berperan dalam dinamika ekosistem pertanian. He et al. (2021) menyoroti bahwa beberapa patogen dan serangga tertentu berperan dalam seleksi alam terhadap ketahanan tanaman, bahkan menjadi bagian dari keseimbangan ekosistem mikro di zona perakaran (rhizosfer). Oleh karena itu, strategi pengendalian berbasis ekologi sangat dianjurkan (He et al., 2021).

Dari segi dampak ekonomi, OPT merupakan salah satu penyebab utama kehilangan hasil pertanian global. Studi oleh Savary et al. (2019) memperkirakan kerugian tahunan akibat penyakit tanaman dan hama mencapai lebih dari 20% pada komoditas pangan utama dunia. Hama seperti wereng cokelat dan patogen seperti *Xanthomonas* atau

*Magnaporthe oryzae* telah menjadi faktor pembatas produksi nasional di negara-negara tropis, termasuk Indonesia (Savary et al., 2019).

## 1.4 Gejala Awal Gangguan Tanaman oleh Hama dan Patogen

Gejala merupakan manifestasi dari gangguan yang dialami tanaman akibat interaksi dengan organisme pengganggu tanaman (OPT). Dalam konteks ilmu hama dan penyakit tanaman, gejala menjadi indikator awal yang dapat diamati secara visual untuk mengenali adanya serangan atau infeksi. Gejala ini berfungsi sebagai sinyal penting dalam proses diagnosis dan pemantauan di lapangan (Agrios, 2005).

Secara umum, gejala dapat dibedakan berdasarkan sumber gangguannya. Gejala awal akibat serangan hama dan infeksi patogen merupakan sinyal biologis penting yang menandai gangguan terhadap fisiologi tanaman. Gejala ini muncul sebagai hasil dari interaksi molekuler dan struktural antara inang dan organisme pengganggu, dan sangat bergantung pada jenis patogen, jaringan yang terinfeksi, serta kondisi lingkungan.

Hama cenderung menimbulkan gejala mekanis seperti robekan, lubang, atau jaringan yang terpotong akibat aktivitas makan. Sementara patogen, terutama yang bersifat mikroskopis seperti jamur, bakteri, dan virus, menimbulkan gejala fisiologis seperti klorosis, nekrosis, deformasi organ tanaman, atau kelayuan sistemik (Fry, 2012).

Meskipun demikian, tidak semua gejala dapat langsung dikaitkan dengan satu jenis OPT. Beberapa gangguan non-biologis seperti kekeringan, kekurangan unsur hara, atau keracunan pestisida juga dapat menimbulkan gejala serupa. Oleh karena itu, pengamatan gejala awal harus dilengkapi dengan pemahaman ekologi OPT dan, bila perlu, analisis laboratorium untuk konfirmasi penyebab (Kalbande & Yadav, 2021). Identifikasi dini terhadap gejala sangat penting dalam sistem pengendalian berbasis ambang

ekonomi. Dengan mengenali gejala awal serangan sebelum mencapai ambang kerusakan, tindakan pengendalian dapat dilakukan secara tepat waktu dan efisien. Ini menjadi landasan penting dalam pendekatan Pengendalian Hama dan Penyakit Terpadu (Pandey et al., 2016).

Trippa et al. (2024) menekankan bahwa fase awal penyakit tanaman dapat dikenali dari perubahan mikroskopik dan biokimia yang terjadi bahkan sebelum gejala visual muncul, seperti penurunan kadar klorofil, peningkatan ROS (Reactive Oxygen Species), atau perubahan metabolit di rhizosfer. Gejala visual yang tampak biasanya datang terlambat dibandingkan perubahan fisiologis internal (Trippa et al., 2024).

Khakimov et al. (2022) mencatat pentingnya klasifikasi gejala berdasarkan pola distribusi (lokal atau sistemik), bentuk kerusakan (nekrosis, chlorosis, deformasi), serta kecepatan munculnya. Misalnya, infeksi virus sering menimbulkan mosaik dan deformasi daun, sedangkan infeksi jamur ditandai bercak nekrotik dan pertumbuhan miselium di permukaan jaringan (Khakimov et al., 2022).

J. Liu & X. Wang (2021) menambahkan bahwa karakteristik gejala akibat hama juga sangat tergantung pada tipe alat mulut. Hama pengunyah menyebabkan robekan fisik dan defoliasi, sedangkan hama penghisap menimbulkan klorosis, distorsi daun, dan pertumbuhan terhambat melalui gangguan pada jaringan vaskular (Liu & Wang, 2021).

Gejala awal juga digunakan sebagai dasar pengembangan sistem deteksi dini berbasis penginderaan jauh dan kecerdasan buatan. Fuentes et al. (2017) menunjukkan bahwa teknologi pengenalan pola menggunakan citra daun telah mencapai akurasi tinggi dalam mendeteksi lebih dari 20 jenis penyakit dan serangan hama secara real-time (Fuentes et al., 2017).

## 1.5 Perbedaan Gejala Hama dan Penyakit pada Tanaman

Dalam kajian dasar ilmu hama dan penyakit tanaman, pemahaman terhadap gejala yang ditimbulkan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT) menjadi kunci utama dalam proses diagnosis awal. Gejala adalah respon visual atau fisiologis yang ditunjukkan tanaman sebagai akibat dari gangguan eksternal. Namun demikian, penting untuk membedakan antara gejala yang disebabkan oleh hama dan yang disebabkan oleh patogen penyebab penyakit.

Gejala akibat serangan hama umumnya bersifat mekanis. Hama seperti ulat atau kumbang meninggalkan kerusakan yang terlihat jelas, seperti robekan pada daun, lubang gigitan, atau jaringan tanaman yang termakan. Hama penghisap seperti wereng atau kutu daun sering menyebabkan klorosis atau kerusakan jaringan karena aktivitas mulutnya. Gejala-gejala ini umumnya bersifat lokal dan dapat dikenali secara langsung di lapangan (Agrios, 2005).

Sebaliknya, gejala penyakit yang disebabkan oleh pathogen baik berupa jamur, bakteri, virus, maupun mikoplasma lebih kompleks dan dapat melibatkan perubahan sistemik dalam fisiologi tanaman. Misalnya, infeksi oleh *Fusarium oxysporum* dapat menyebabkan layu sistemik, sedangkan virus mosaik menghasilkan pola warna tidak normal pada daun. Patogen juga sering menimbulkan gejala yang mirip dengan stres abiotik, sehingga diagnosis yang tepat memerlukan pengamatan cermat dan uji lanjutan (Fry, 2012). Tabel 1.2 memberikan perbandingan karakteristik umum antara gejala akibat hama dan patogen.

**Tabel 1.2:** Perbandingan karakteristik umum antara gejala akibat hama dan patogen (Agrios (2005); Kalbande & Yadav (2021); Fry (2012))

Aspek Gejala	Hama Tanaman	Patogen Tanaman	Penyakit
Bentuk kerusakan	Mekanis (gigitan,	Fisiologis (layu, nekrosis,	

	robekan)	mosaik)
Lokasi gejala	Lokal dan terfokus	Dapat menyebar sistemik
Kecepatan muncul	Cepat terlihat	Bisa lambat dan progresif
Alat bantu identifikasi	Visual langsung	Kadang perlu uji laboratorium

Pemahaman terhadap karakteristik ini sangat membantu dalam penentuan metode pengendalian. Misalnya, hama yang terlihat secara kasat mata dapat langsung dikendalikan secara mekanis atau dengan insektisida selektif, sedangkan penyakit akibat virus membutuhkan pengelolaan vektor dan penggunaan varietas tahan.

## 1.6 Konsep Umum Siklus Hidup Organisme Pengganggu Tanaman

Siklus hidup merupakan aspek penting dalam pemahaman dasar tentang organisme pengganggu tanaman (OPT), baik itu hama maupun patogen. Dalam ilmu hama dan penyakit tanaman, pengetahuan mengenai tahapan perkembangan suatu organisme sangat diperlukan untuk mengenali pola serangan, periode kritis infeksi, dan waktu yang paling efektif untuk melakukan tindakan pengendalian (Kalbande & Yadav, 2021).

Siklus hidup hama umumnya terdiri atas beberapa tahap metamorfosis, baik sempurna (holometabola) maupun tidak sempurna (hemimetabola), sedangkan siklus hidup patogen seperti jamur, bakteri, dan virus melibatkan tahapan infeksi, kolonisasi, reproduksi, dan penyebaran. Meskipun terdapat variasi antar jenis, pola umum siklus ini memungkinkan diterapkannya prinsip-prinsip manajemen yang berbasis waktu dan ekosistem (Fry, 2012).

Pada serangga, pemahaman tentang siklus hidup penting dalam menentukan fase paling rentan untuk pengendalian, seperti fase larva pada ulat grayak atau fase nimfa pada wereng. Di sisi lain, siklus patogen seperti jamur umumnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti kelembaban dan suhu, yang mempercepat pembentukan spora dan penyebaran penyakit (Gilligan, 2002).

Pengenalan fase-fase ini tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga aplikatif di lapangan. Misalnya, pada sistem pertanian terpadu, tindakan seperti rotasi tanaman, penggunaan varietas tahan, serta waktu tanam disusun berdasarkan informasi tentang siklus hidup OPT. Oleh karena itu, pemahaman konseptual ini menjadi dasar penting dalam pelatihan penyuluh dan perencanaan perlindungan tanaman berkelanjutan (Pandey et al., 2016).

## 1.7 Faktor Penyebaran dan Reproduksi Patogen Penyakit Tanaman

Dalam kajian dasar ilmu hama dan penyakit tanaman, pemahaman terhadap gejala yang ditimbulkan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT) menjadi kunci utama dalam proses diagnosis awal. Gejala adalah respon visual atau fisiologis yang ditunjukkan tanaman sebagai akibat dari gangguan eksternal. Namun demikian, penting untuk membedakan antara gejala yang disebabkan oleh hama dan yang disebabkan oleh patogen penyebab penyakit.

Gejala akibat serangan hama umumnya bersifat mekanis. Hama seperti ulat atau kumbang meninggalkan kerusakan yang terlihat jelas, seperti robekan pada daun, lubang gigitan, atau jaringan tanaman yang termakan. Hama penghisap seperti wereng atau kutu daun sering menyebabkan klorosis atau kerusakan jaringan karena aktivitas mulutnya. Gejala-gejala ini umumnya bersifat lokal dan dapat dikenali secara langsung di lapangan (Agrios, 2005).

Sebaliknya, gejala penyakit yang disebabkan oleh pathogen baik berupa jamur, bakteri, virus, maupun mikoplasma lebih kompleks dan dapat melibatkan perubahan sistemik dalam fisiologi tanaman. Misalnya, infeksi oleh *Fusarium oxysporum* dapat menyebabkan layu sistemik, sedangkan virus mosaik menghasilkan pola warna tidak normal pada daun. Patogen juga sering menimbulkan gejala yang mirip dengan stres abiotik, sehingga diagnosis yang tepat memerlukan pengamatan cermat dan uji lanjutan (Fry, 2012).

## Bab 2

# Jenis-Jenis Hama Tanaman

### 2.1 Pendahuluan

Serangga merupakan hewan yang yang populasinya paling banyak di dunia, populasinya berkisar 80%. Serangga diperkirakan memiliki 3-7 juta spesies. Serangga yang sudah teridentifikasi berkisar 950.000 spesies. Serangga yang merugikan pada bidang pertanian disebut dengan serangga hama.

Hama pada tanaman terdiri dari dua kelompok yaitu kelompok serangga dan kelompok Vertebrata (hewan bertulang belakang). Hama tanaman dari kelompok serangga terdiri dari beberapa Ordo terbesar yaitu: Coleoptera (300.000 sp), Diptera (150.000 sp.), (Hymenoptera (125.000 sp.), dan Lepidoptera (120.000 sp.). Sedangkan hama tanaman dari kelompok vertebrata yaitu tikus.

## 2.2 Hama Tanaman dari Kelompok Serangga

### 2.2.1 Wereng Batang Coklat (WBC)

#### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Hemiptera
- Famili : Delphacidae
- Genus : Nilaparvata
- Spesies : Nilaparvata lugens

Wereng batang coklat merupakan hama utama pada tanaman padi. Penyebaran serangga ini dilakukan secara aktif dan pasif. Penyebaran secara aktif dilakukan dengan cara terbang, sedangkan penyebaran secara pasif dengan cara terbawa angin. Wereng Batang Coklat memiliki siklus hidup selama 25 hari, keperidian kurang lebih 500 butir telur. Pada fase intars terdiri dari 5 instar dengan bentuk dan warna yang berbeda-beda. Larva instar 1 memiliki ciri berwarna putih dan bagian dorsalnya berwarna kelabu.



**Gambar 2.1:** Serangga dewasa wereng batang coklat

Larva instar 2 memiliki ciri kepala dan toraks berwarna kunin kemudian abdomennya berwarna putih yang memudar kemudian berwarna kelabu. Larva 3 berwarna coklat muda dengan abdomen yang beruas-ruas. Larva instar 4 memiliki warna lebih tua dibandingkan instar 3. Larva instar 5 memiliki ciri warna yang hampir sama dengan instar 4 tetapi ukurannya lebih besar. Imago wereng batang coklat memiliki dua sayap yaitu makroptera (sayap panjang dan mampu terbang) dan brakiptera (sayap pendek).

## 2. Gejala

Wereng batang coklat dapat menyebabkan kerusakan secara langsung dan tidak langsung pada tanaman padi. Kerusakan secara langsung berupa pertumbuhan tanaman padi yang terhambat dan tidak merata, tanaman mneguning, dan lama kelamaan hopperburn (terbakar) yang disebabkan akibat cairan yang dihasilkan oleh nimfa WBC masuk kedalam sel tanaman. Kerusakan secara tidak langsung WBC berperan sebagai vektor penyakit Rice grassy stunt virus penyebab penyakit kerdil hampa.

## 3. Pengendalian

Pengendalian wereng batang coklat dapat dilakukan secara kultur teknis, penggunaan pestisida kimiawi maupun biologi. Pengendalian secara kultur teknis dapat dilakukan dengan cara rotasi tanaman, penanaman yang serentak, penggunaan varietas tahan, dan pengaturan jarak tanam. Rotasi tanaman padi dengan tanaman lain dilakukan untuk memutus siklus hidup dari wereng batang coklat.

Sedangkan pengaturan jarak tanam bertujuan untuk mengurangi kelembaban tanaman padi yang menjadi habitat dari wereng batang coklat. Pengendalian secara kimiawi dilakukan dengan cara menyemprot tanaman padi menggunakan pestisida secara kimiawi. Bahan aktif yang digunakan berbeda-beda, biasanta tergantung dari merk dagangnya. Sedangkan pengendalian secara biologi biasanta dilakukan menggunakan cendawan entomopatogen dari spesies *Beauveria bassiana*.

## 2.2.2 Kutu Daun

### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Hemiptera
- Famili : Aphididae
- Spesies : *Aphis gossypii*

Di Indonesia, kutu daun ini semuanya betina dan berkembang biak secara partenogenesis. Kutu daun dewasa memiliki dua bentuk yaitu bentuk bersayap dan tidak bersayap. Kutu daun *A. Gossypii* berukuran kecil dan panjang tubuh imago 1-1,5 mm. Warna tubuh beragam dari kuning sampai hijau tua, individu yang berwarna kuning hijau, dan banyak terdapat pada musim panas. Jenis tanaman inang dapat memengaruhi warna dari kutu daun ini. Daur hidup berkisar 7 hari dan rata-rata imago betina dapat menghasilkan keturunan 2,8 nimfa per hari pada suhu 20-25 °C.



**Gambar 2.2:** Imago kutu daun

### 2. Gejala

Kutu daun ini dapat menyebabkan kerusakan secara langsung yaitu menghisap cairan tanaman. Akibatnya daun yang terserang keriput, berwarna kekuningan, terpuntir, pertumbuhan tanaman terhambat

(kerdil), dan selanjutnya tanaman layu dan mati. Kerusakan tidak langsung dapat terjadi karena kutu daun dapat menularkan beberapa jenis virus tumbuhan.

### 3. Pengendalian

Pengendalian kutu daun dapat dilakukan dengan cara:

- a. Tanaman barrier (pemagar)
- b. Penggunaan mulsa plastik perak
- c. Perangkap baki kuninh
- d. Varietas tahan
- e. Penggunaan musuh alami (predator, parasitoid, cendawan entomopatogen)
- f. Penggunaan cendawan endofit dan PGPR
- g. Penggunaan insektisida yang efektif bila kutu daun populasi  $\geq 7$ ekor per 10 daun

## 2.2.3 Ulat Jagung

### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Lepidoptera
- Famili : Noctuidae
- Spesies : *Helicoverpa armigera*

Pupa dari ulat ini berwarna kuning kecoklatan dan berpupa pada permukaan tanah. Ketika dewasa imagonya berwarna sawo kuning-kekuningan dengan bintik-bintik dan garis berwarna hitam. Daur hidup pada dataran tinggi 52-58 hari. Fase serangga yang merusak yaitu larva instar 2.



**Gambar 2.3:** Larva *Helicoverpa armigera*

## 2. Gejala



**Gambar 2.4:** Gejala serangan larva *H.armigera* pada tongkol jagung

Larva dimulai dari memakan bunga dan melubangi buah-buah tomat. Larva kemudian makan dengan memasukkan kepala dan sebagian tubuhnya, sedangkan sebagian abdomennya tetap berada luar. Larva kadang-kadang juga menyerang pucuk tanaman. Imago aktif pada malam hari dan mencari inang untuk bertelur. Inang dari ulat ini yaitu tomat, jagung. Kacang panjang, kedelai, dan lainnya. Serangga ini bersifat polyfag (makan berbagai jenis tanaman).

### 3. Pengendalian

Pengendalian dapat dilakukan dengan cara:

- a. Melestarikan musuh alami parasitoid telur *Trichogramma nana*, parasitoid larva *Eriborus argenteopilosus*.
- b. Pelepasan parasitoid telur
- c. Pada cuaca lembab, larva dapat terserang cendawan entomopatogen *Metarrhizium*
- d. Sanitasi (membuang buah-buah tomat yang terserang)
- e. Mematikan larva yang ditemukan
- f. Penggunaan insektisida yang efektif/selektif
- g. Ambang pengendalian yaitu populasi larva telah mencapai  $\geq 1$  larva per 10 tanaman

#### 2.2.4 Lalat Buah

##### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Diptera
- Famili : Tephritidae
- Spesies : *Bactrocera dorsalis*

Telur lalat buah berwarna putih, berbentuk bulat panjang, dan diletakkan dalam jaringan buah. Larva berupa belatung (berbentuk bulat panjang dengan salah satu ujungnya runcing). Panjang tubuh belatung mencapai 7 mm, berwarna putih kekuningan, dan memiliki gerakan melenting. Puparium berwarna kuning kecokelatan dan terdapat di dalam tanah. Lalat buah dewasa dicirikan dengan adanya garis-garis atau bercak pada sayapnya. Daur hidup lalat 2-3 minggu.



**Gambar 2.5:** Imago lalat buah

## 2. Gejala

Gejala serangan pada buah cabai biasanya ditandai dengan adanya titik hitam pada pangkal buah yang merupakan bekas tusukan ovipositor lalat betina pada waktu meletakkan telur. Bila buah dibelah, di dalamnya ditemukan belatung (larva) lala buah. Larva berkembang di dalam buah cabai sehingga buah membusuk dan gugur. Inang dari lalat buah seperti cabai, tomat, mangga, dan jambu.

## 3. Pengendalian

Pengendalian yang dilakukan yaitu:

- a. Sanitasi (mengumpulkan buah-buah yang terserang dan memusnahkannya)
- b. Penggunaan mulsa plastik perak
- c. Penggunaan varietas tahan
- d. Pemasangan perangkap metil eugenol + hidrolisat protein + perekat/insektisida)
- e. Penggunaan insektisida yang efektif

## 2.2.5 Ulat Grayak

### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Lepidoptera
- Famili : Noctuidae
- Spesies : Spodoptera exigua

Telur berwarna putih, diletakkan berkelompok pada permukaan daun atau batang dan ditutupi oleh sisik dari induknya. Larva instar awal berwarna hijau dengan garis-garis hitam pada punggungnya. Larva instar lanjut mempunyai beberapa variasi warna yaitu hijau, coklat muda, dan hitam kecoklatan dengan garis kuning, dengan panjang mencapai 25 mm. Pupa berwarna coklat muda, terdapat di dalam tanah atau pada pangkal batang di bawah daun kering atau di bawah partikel tanah. Imago nya berbentuk ngengat yang memiliki sayap depan berwarna coklat kelabu dengan garis-garis samar dan bintik-bintik hitam. Rentang sayap imago 25-30 mm. Daur hidup berkisar 15-18 hari.



**Gambar 2.6:** Larva ulat grayak pada bawang

### 2. Gejala

Serangan pertama dari ulat bawang yaitu bagian daun. Pada bawang merah, ulat bawang juga akan menyerang umbi bila populasi sangat tinggi. Larva

yang baru keluar dari telur segera melubangi daun pada bagian ujungnya, masuk dan makan daging daun bagian dalam, tetapi epidermis luar ditinggalkan. Akibatnya pada daun tersebut terlihat bercak-bercak putih menerawang. Serangan lanjut menyebabkan daun terkulai dan kering. Dalam keadaan serangan berat daun akan digunduli. Tanaman inangnya yaitu bawang-bawangan, cabai, dan beberapa jenis tanaman sayuran lainnya.

### 3. Pengendalian

Pengendalian yang sering dilakukan yaitu:

- a. Pergiliran tanaman dengan tanaman bukan inang
- b. Tanam serentak
- c. Mengumpulkan dan memusnahkan kelompok telur dan larva
- d. Sanitasi lahan setelah panen
- e. Pelestarian musuh alami parasitoid *Telenomus*, cendawan *Beauveria*
- f. Penggunaan perangkap lampu
- g. Penggunaan perangkap berferomon yang digabungkan dengan penggunaan insektisida yang tepat
- h. Penggunaan perangkap-likat.

## 2.2.6 Kumbang Kentang

### 1. Bioekologi

- Kelas : Insecta
- Ordo : Coleoptera
- Famili : Coccinellidae
- Spesies : *Epilachna vigintioctopunctata*

Telur berwarna kuning, diletakkan berkemlompok pada permukaan bawah daun. Larva yang sudah besar berwarna kelabu, panjangnya 1:1 cm dan pada punggungnya terdapat duri-duri seperti landak. Pupa berwarna kelabu dengan bercak-bercak hitam berbentuk segiempat, dan biasanya

mengelompok pada cabang. Kumbang berbentuk kubah, panjangnya berkisar 1 cm dan berwarna merah dengan bintik-bintik hitam. Sayap depan kusam karena berbulu-bulu halus. Daur hidup berkisar 7-10 minggu.



**Gambar 2.7:** Imago serangga *Epilachna*

## 2. Gejala

Larva dan imago memakan daun dari permukaan atas dan bawah, sedangkan lapisan epidermis dan tulang daun ditinggalkan, sehingga berebentuk gejala yang khas berupa jendela-jendela pada daun. Tanaman inang yaitu kentang, terong, tomat, dan tanaman sayuran lainnya.

## 3. Pengendalian

Pengendalian yang sering dilakukan yaitu:

- a. Curah hujan dapat mencuci larva dari permukaan daun sehingga dapat menurunkan populasi hama ini dengan cepat.
- b. Parasitoid telur *Tetrastichus* dapat memarasit telur kumbang kentang sampai 70% dan parasitoid *Pediobius* dapat memarasit larva dan pupa sebesar 30-55%.

## 2.3 Hama Tanaman dari Kelompok Vertebrata

- Kelas : Mamalia
- Ordo : Rodentia
- Famili : Muridae
- Genus : Bandicota, Rattus,
- Spesies : Bandicota indica (wirok besar)
  - Bandicota bengalensis (wirok kecil)
  - Rattus norvegicus (tikus coklat/got)
  - Rattus rattus diardii (tikus rumah/hitam)
  - Rattus tiomanicus (tikus pohon)
  - Rattus argentiventer (tikus sawah)
  - Rattus exulans (tikus ladang)
  - Mus musculus (mencit rumah)
  - Mus caroli (mencit ladang)

Hama tanaman yang sering dijumpai dari kelompok vertebrata yaitu tikus, wirok (tikus besar), dan mencit. Hama dari Ordo Rodentia ini merupakan ordo terbesar dari kelas Mamalia. Spesiesnya hampir 2.000 atau 40% dari 5.000 spesies dari seluruh kelas Mamalia. Dari 2.000 spesies ini, hanya 161 spesies yang ada di Indonesia dan 9 spesies yang paling berperan sebagai hama tanaman dan vektor patogen pada manusia.



**Gambar 2.8:** Tikus sawah

### **Bioekologi Tikus**

Tikus memiliki sarang di dalam tanah dan sering diperpanjang dengan membuat lorong-lorong tambahan yang saling berhubungan terutama bila populasi tikus meningkat. Tikus akan membuat beberapa pintu alternatif selain satu pintu utama, dalam upaya untuk mengelabui musuh alaminya (ular, garangan) yang akan memangsa.

Tikus pohon memiliki kemampuan memanjat pohon, tembok dengan permukaan kasar, pipa peralon, berjalan pada seutas kawat atau tali tambang, turun dari ketinggian dengan kepala menuju ke bawah tanpa kesulitan. Kemampuan tikus arboreal dalam memanjat ditunjang oleh tonjolan pada telapak kaki footpad yang berukuran lebih besar dan dengan permukaan yang lebih kasar. Footpad ini masih ditambah dengan cakar atau kuku yang berguna untuk memperkuat pegangan, serta ekor sebagai alat untuk menjaga keseimbangan pada saat memanjat. Ekor tikus arboreal berukuran lebih panjang daripada kepala dan badannya, sedangkan ekor tikus terestrial lebih pendek.

Tikus memiliki kemampuan meloncat seperti *R. Norvegicus*, tikus ini dapat meloncat secara vertikal sampai ketinggian 77 cm dan horizontal mencapai 240 cm. Jarak jangkauan loncatan ini akan lebih tinggi dan lebih jauh apabila dimulai dengan berlari (ancang-ancang). Selain itu, tikus juga memiliki kemampuan mengerat. Tikus dan mencit mengerat dengan bantuan bahan-bahan yang keras.

Aktivitas mengerat bertujuan untuk mengurangi panjang gigi serinya yang tumbuh terus-menerus. Tikus dapat merusak bahan-bahan yang keras sampai nilai 5,5 pada skala kekerasan geologi. Bahan-bahan yang dikerat termasuk kayu pada bangunan dan kayu pohon, lembaran aluminium, beton berkualitas buruk, dan aspal. Tikus memiliki kemampuan berenang juga. Dalam keadaan terpaksa, tikus mampu berenang selama 50-72 jam pada suatu bak air dengan suhu 35 °C.

Tikus memiliki kemampuan melihat di malam hari dan memiliki kepekaan yang tinggi terhadap cahaya. Tikus mampu untuk mengenali bentuk benda

dalam cahaya yang remang-remang. Tikus merupakan hewan yang buta warna sehingga memiliki penglihatan sebagian besar warna yang ditangkap oleh tikus berwarna kelabu.

Indera penciuman tikus berkembang dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan aktivitas tikus menggerak-gerakkan kepala serta mendengus pada saat mencium bau pakan, tikus lain, atau musuh (predator). Penciuman tikus yang sangat baik ini juga bermanfaat untuk mencium urine dan sekresi genitalia dari tikus lain. Tikus dapat menandai wilayah pergerakan dari tikus lain, mengenali jejak tikus yang masih tergolong ke kelompok, serta mendeteksi tikus betina yang sedang estrus (birahi)

### **Pengendalian**

Secara Kultur Teknis

Pengendalian tikus secara kultur teknis dapat dilakukan dengan cara berikut:

1. Pengaturan pola tanam
2. Pengaturan waktu tanam
3. Pengaturan jarak tanam
4. Penggunaan tanaman perangkap

### **Secara Fisik-Mekanis**

Pengendalian tikus secara fisik dapat dilakukan dengan usaha manusia mengubah faktor lingkungan fisik agar dapat menyebabkan kematian/gangguan fisiologis pada tikus. Tikus mempunyai batas toleransi (terendah dan tertinggi) untuk faktor fisik seperti suhu, kelembaban, dan suara. Hal ini bertujuan untuk mengubah faktor lingkungan fisik menjadi di atas atau di bawah batas toleransi tikus.

Pengendalian secara mekanis dilakukan dengan usaha manusia untuk mematikan/memindahkan tikus secara langsung baik dengan menggunakan tangan telanjang atau dengan bantuan alat. Pengelolaan dengan cara ini cukup sederhana sehingga dapat dilakukan oleh semua

orang. Akan tetapi membutuhkan tenaga kerja yang relatif banyak. Prinsip dasar pengelolaan secara fisik-mekanis adalah membunuh secara langsung dengan bantuan alat-alat seperti senapan angin, tombak, parang, dan perangkap.



# Bab 3

## Jenis-Jenis Penyakit Tanaman

### 3.1 Pendahuluan

Penyakit tanaman terjadi ketika tanaman terganggu oleh agen penyebab yang mengakibatkan proses fisiologis abnormal dan mengganggu struktur, pertumbuhan, fungsi, atau aktivitas lain pada tanaman. Semua spesies tanaman baik tanaman liar maupun budidaya memiliki sifat rentan terhadap suatu penyakit. Meskipun setiap spesies tanaman rentan terhadap penyakit khas, namun hanya spesies tertentu dan jumlahnya relatif sedikit. Gangguan pada sistem fisiologis atau biokimia tanaman menimbulkan kondisi atau gejala yang khas.

Pengetahuan mengenai pertumbuhan normal, karakteristik varietas, dan variabilitas normal tanaman dalam suatu spesies diperlukan untuk mengetahui adanya gejala penyakit atau perubahan pada tanaman. Penyakit tanaman dapat diklasifikasikan secara luas menurut sifat agen penyebab utamanya baik menular atau tidak menular.

Penyakit tanaman menular disebabkan oleh patogen (organisme infeksius) dan kondisi lingkungan (faktor fisiologi). Organisme yang menyebabkan penyakit infeksius yaitu jamur, bakteri, fitoplasma, virus, viroid, protozoa, nematoda, dan tanaman parasit. Agen infeksius mampu bereproduksi di dalam tanaman inang, dan menyebar dari satu tanaman inang yang rentan ke tanaman inang lainnya.

## 3.2 Kejadian dan Prevalensi

Kejadian dan prevalensi penyakit tanaman bervariasi dari musim ke musim tergantung pada keberadaan patogen, kondisi lingkungan, tanaman dan varietas yang ditanam. Beberapa varietas tanaman sangat rentan terhadap penyakit endemik sekalipun, sementara varietas lain lebih tahan.

Penyakit tanaman tidak menular disebabkan oleh kondisi pertumbuhan yang tidak menguntungkan, termasuk suhu ekstrim, hubungan yang merugikan antara kelembaban dan oksigen, zat beracun di tanah atau atmosfer, dan kelebihan atau kekurangan mineral esensial. Agen penyebab noninfeksi bukanlah organisme yang mampu bereproduksi di dalam inang sehingga tidak dapat menular.

Di alam, tanaman dapat dipengaruhi oleh lebih dari satu agen penyebab penyakit sekaligus. Tanaman yang mengalami kekurangan nutrisi atau ketidakseimbangan antara kelembaban tanah dan oksigen seringkali lebih rentan terhadap infeksi patogen. Sementara tanaman yang terinfeksi oleh satu patogen seringkali rentan terhadap invasi oleh patogen sekunder. Kombinasi semua agen penyebab penyakit dapat mempengaruhi tanaman membentuk penyakit yang kompleks.

Penyakit tumbuhan terjadi sebagai kejadian normal dari alam dan salah satu dari banyak faktor ekologis yang membantu menjaga keseimbangan ratusan ribu tumbuhan dan hewan hidup satu sama lain. Sel tumbuhan mengandung sinyal khusus yang mampu meningkatkan pertahanan

terhadap adanya serangga, hewan, dan patogen. Salah satu contohnya melibatkan hormon tumbuhan yang disebut asam jasmonat.

Tanpa adanya rangsangan berbahaya, melasmonat mengikat protein khusus yang disebut protein JAZ untuk mengatur pertumbuhan tanaman, produksi serbuk sari, dan proses lainnya. Namun ketika muncul adanya rangsangan berbahaya, jasmonat mengalihkan jalur sinyal untuk meningkatkan pertahanan tanaman. Gen yang menghasilkan protein jasmonat dan JAZ mewakili target potensial rekayasa geentika untuk menghasilkan varietas tanaman dengan peningkatan resistensi terhadap penyakit.

Manusia telah memilih dan membudidayakan tanaman untuk makanan, obat-obatan, pakaian, tempat tinggal, dan kecantikan selama ribuan tahun. Penyakit hanyalah salah satu dari banyak bahaya yang harus dipertimbangkan ketika tanaman dikeluarkan dari lingkungan alaminya dan ditanam pada tegakan dalam kondisi yang seringkali tidak normal. Banyak tanaman hias dan tanaman lainnya yang berharga namun sangat rentan terhadap penyakit dan akan mengalami kesulitan bertahan hidup di alam tanpa campur tangan manusia.

Tanaman yang dibudidayakan seringkali lebih rentan terhadap penyakit dibandingkan tanaman liar yang tumbuh dalam kondisi alami. Hal ini dapat terjadi karena sejumlah besar spesies atau varietas yang sama memiliki latar belakang genetik yang seragam dan tumbuh berdekatan. Hal ini menyebabkan patogen dapat menyebar dengan cepat dalam kondisi tersebut.

## 3.3 Perkembangan dan Penularan Penyakit

Patogenesis merupakan tahap penyakit dimana patogen bergantung pada jaringan tanaman inang yang hidup.

Tiga tahap yang patogenesis meliputi:

1. Inokulasi, yaitu transfer patogen ke bagian infeksi atau area dimana invasi tanaman terjadi yaitu berupa permukaan tanaman yang tidak rusak, berbagai luka, atau lubang alami seperti stomata (pori-pori mikroskopis di permukaan daun), hidatoda (bukaan seperti stomata yang mengeluarkan air), atau lentikel (bukaan kecil di kulit pohon)
2. Inkubasi, yaitu periode waktu antara kehadiran patogen di bagian infeksi hingga munculnya gejala infeksi
3. Munculnya gejala penyakit disertai dengan pembentukan dan penyebaran patogen.

Salah satu karakter penting organisme patogen yaitu dalam hal kemampuannya untuk menginfeksi adalah virulensi. Beberapa karakter patogen berbeda pada kemampuannya untuk menyebar dan menghancurkan jaringan. Di antara faktor virulensi tersebut yaitu toksin yang menyebabkan kematian sel, enzim yang menghancurkan dinding sel, polisakarida ekstraseluler yang menghalangi aliran cairan melalui sistem vaskuler tanaman, dan zat yang mengganggu pertumbuhan sel normal.

Tidak semua spesies patogen mampu menghasilkan konsentrasi atau tingkat virulensi yang sama pada invasi dan penghancuran jaringan tanaman. Demikian juga, tidak semua faktor virulensi beroperasi pada penyakit tertentu. Misalnya racun yang membunuh sel penting dalam penyakit nekrotik, dan enzim yang menghancurkan dinding sel memiliki peran penting dalam penyakit busuk lunak. Beberapa patogen terutama bakteri

dan jamur, menghabiskan sebagian siklus hidupnya sebagai patogen dan sisanya sebagai saprotrof.

Saprogenesis adalah bagian dari siklus hidup patogen ketika tidak bergantung pada jaringan tanaman inang yang hidup. Pada siklus ini patogen dapat terus tumbuh di jaringan inang mati atau melalui fase bertahan dan menjadi tidak aktif. Selama tahap ini beberapa jamur menghasilkan tubuh buah seksual contoh kudis apel (*Venturia inaequalis*) menghasilkan perithecia yaitu struktur penghasil spora berbentuk seperti labu, yang dapat ditemukan pada daun apel yang jatuh.

Jamur lain menghasilkan tubuh buah istirahat seperti sklerotia yang dibentuk oleh jamur pembusukan akar dan batang tertentu (*Rhizoctonia solani* dan *Sclerotinia sclerotiorum*) atau jamur ergot (*Claviceps purpurea*). Fase istirahat ini tahan terhadap suhu dan kelembaban yang ekstrem sehingga memungkinkan patogen bertahan hidup selama berbulan-bulan atau bertahun-tahun di tanah dan sisa tanaman tanpa adanya jaringan inang yang hidup.

## 3.4 Klasifikasi Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori, antara lain penyakit tanaman berdasarkan agen penyebab, tanaman inang, penyebaran penyakit, kejadian dan distribusi geografis, tipe infeksi, siklus hidup patogen, organ tanaman terinfeksi, dan berdasarkan gejala penyakit.

### 3.4.1 Penyakit Tanaman berdasarkan Agen Penyebab

#### 1. Penyakit non infeksius atau penyakit non parasitic

Penyakit disebabkan oleh organisme tidak hidup dan tanpa melibatkan mikroba sehingga penyakit tidak dapat menyebar. Penyakit hanya dapat dikenali melalui gejala yang muncul pada tanaman. Penyakit diinduksi oleh kondisi lingkungan yang tidak

menguntungkan sehingga menyebabkan gangguan fisik dan kimia seperti defisiensi mineral pada tanah, temperatur terlalu rendah atau tinggi, kekurangan air, oksigen, dan cahaya. Penyakit dapat disebabkan oleh polusi udara, defisiensi nutrisi, toksisitas mineral, dan lain-lain. Penyakit juga dapat disebabkan oleh gangguan mekanis.

Faktor yang bertanggung jawab pada perkembangan penyakit non-infeksius antara lain sebagai berikut:

a. Kelembaban tanah yang tidak seimbang

Kelembaban tanah yang rendah dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal dan tanaman menjadi kerdil. Tanaman akan berwarna hijau pucat dan daun berwarna kuning. Jika keadaan terus berlanjut, daun akan gugur hingga tanaman layu dan mati. Sementara kelembaban tanah yang terlalu tinggi juga berbahaya karena dapat mengurangi kandungan oksigen di dalam tanah, sehingga mempengaruhi pertumbuhan akar. Tanaman akan menjadi sukulen sehingga menjadi lebih rentan terhadap patogen.

b. Nutrisi yang tidak seimbang

Gejala nutrisi yang tidak seimbang terutama terlihat karena adanya defisiensi hara makro (nitrogen, potasium, dan fosfor), hara sekunder (kalsium, magnesium, dan sulfur), dan hara mikro (zink, zat besi, copper, molybdenum, mangan, klorin, dan boron). Gejala defisiensi hara makro yaitu nitrogen akan menunjukkan daun menguning (hilangnya warna hijau daun) terutama pada bagian tulang daun dan gejala penyakit berlanjut hingga pertumbuhan tanaman yang tidak normal. Gejala kekurangan potasium berupa klorosis pada bagian lamina daun hingga nekrosis pada tepi daun terutama daun

yang berumur lebih tua. Ketika tepi daun menguning ditemukan pada tanaman yang lebih muda, hal ini menunjukkan tanaman kekurangan potasium.

Gejala defisiensi hara sekunder yaitu kalsium ditunjukkan dengan klorosis hingga kematian bagian ujung dan tepi daun, serta daun menggulung. Kekurangan magnesium menunjukkan daun menguning atau klorosis dan daun berwarna kemerahan serta terdapat bintik nekrotik. Kekurangan sulfur menyebabkan daun menguning dengan absisi pada tahap pertumbuhan tanaman selanjutnya. Daun yang lebih muda lebih rentan dibandingkan daun yang lebih tua.

Pada kejadian defisiensi hara mikro yaitu zink akan menyebabkan daun berwarna belang dengan klorosis pada bagian tulang daun dan bintik putih pada lamina daun. Kekurangan zat besi menunjukkan klorosis dengan tulang daun berwarna hijau tua diikuti nekrosis pada bagian lamina hingga tepi daun. Kekurangan zat copper menyebabkan daun yang berumur muda menjadi menguning bahkan hingga menyebabkan daun mati. Pada beberapa kejadian ditemukan daun menguning di antara tulang daun.

Kekurangan molybdenum menyebabkan bentuk daun menjadi menyempit dan berwarna pucat. Kekurangan mangan menunjukkan tulang daun menguning pada daun yang berumur lebih muda. Kekurangan klorin menunjukkan terdapat banyak bercak pada tepi daun yang berumur tua. Kekurangan boron menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih lambat hingga seringkali menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Hal ini sering ditemukan pada tanaman yang

berumur muda. Bagian titik pertumbuhan mengalami kematian dan daun gugur.

c. Faktor iklim/meteorology

Faktor meteorologi seperti temperatur yang lebih tinggi, kurangnya intensitas cahaya, angin dan badai menyebabkan berbagai tipe gejala pada tanaman inang. Temperatur yang terlalu tinggi menyebabkan beberapa bagian tanaman berwarna coklat dan daun menunjukkan bercak serta menggulung. Sementara pada keadaan kurangnya cahaya menyebabkan tanaman menjadi tumbuh kerdil dan berkurangnya ukuran daun. Adanya angin dan badai mempengaruhi akar dan kekuatan tanaman sehingga tanaman menjadi rentan terhadap patogen.

d. Penggunaan pestisida atau pupuk kimia yang salah

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia yang salah dapat menyebabkan gejala nekrotik berwarna coklat gelap kehitaman seperti terbakar. Gejala tersebut sangat mirip dengan penyakit parasitik hawar daun namun ketika pengamatan lebih lanjut dilakukan di bawah mikroskop maka akan terlihat pada penyakit non parasitik tidak ditemukan patogen penyebab penyakit pada tanaman inang.

e. Lingkungan atmosfer

Kelompok penyakit non parasitik pada tanaman yang disebabkan adanya polusi air dari hasil limbah berbagai pabrik atau industri dalam bentuk gas dan asap. Polutan ini dapat menunjukkan pengaruh berbeda-beda pada tanaman. Gas dan asap dari limbah industri akan menyebabkan daun berwarna kecoklatan hingga menyebabkan kematian tanaman. Hal yang sama terjadi ketika florin yang berasal dari limbah industri

keramik dan pupuk akan menyebabkan nekrosis pada tanaman. Etilen yang dihasilkan dari pembakaran gas alami akan mempengaruhi tanaman hingga menyebabkan daun gugur.

## 2. Penyakit infeksius atau penyakit parasitic

Penyakit disebabkan adanya infeksi agen penyebab berupa organisme hidup yang disebut patogen. Penyakit dikenali dengan adanya gejala spesifik dan tanda dari patogen yang terdapat pada tanaman inang. Penyakit dapat menyebar dari tanaman sakit atau terinfeksi ke tanaman sehat. Tanaman sakit yang terinfeksi organisme parasitik disebut tanaman inang. Patogen harus ditemukan di seluruh atau sebagian jaringan hidup tanaman inang. Agen penyebab yaitu berupa faktor biotik seperti jamur, bakteri, alga, nematoda, virus, dll.

### 3.4.2 Penyakit Tanaman berdasarkan Tanaman Inang

#### 1. Penyakit tanaman sereal

Penyakit yang mengganggu tanaman pangan biji-bijian seperti padi, gandum, jagung, ragi, sorgum, gandum, dll. Contohnya penyakit blast pada padi, karat pada gandum, smut pada sorgum, downy mildew, bercak coklat pada jagung, busuk akar pada ragi, dll.

#### 2. Penyakit tanaman hortikultura

Penyakit yang mengganggu tanaman sayuran, buah-buahan, dan tanaman hias. Contohnya Club root pada kubis, karat putih pada lobak, layu pada tomat, antraknosa pada buah mangga, kanker pada jeruk, layu pada jambu biji, mosaik pada pepaya, powdery mildew pada mawar, dll.

### 3. Penyakit tanaman kacang-kacangan

Penyakit mengganggu tanaman yang dikonsumsi manusia untuk mendapatkan protein seperti kacang polong, kedelai, dll. Contohnya penyakit antraknosa pada cowpea, jamur pada kacang polong, bercak daun pada kedelai, dll.

### 4. Penyakit tanaman perkebunan

Penyakit yang mengganggu tanaman perkebunan seperti kopi, teh, karet, kako, kapulaga, murbei, dll. Contohnya penyakit karat pada kopi, hawar melepuh pada daun teh, busuk batang pada pohon karet, powdery mildew pada murbei, penyakit mosaik, dll.

### 5. Penyakit tanaman komersial

Penyakit mengganggu tanaman yang ditanam untuk tujuan komersial seperti tebu, kapas, tembakau, dll. Contohnya penyakit busuk merah pada tebu, busuk akar pada kapas, bintil akar pada tembakau, busuk batang, dll.

## 3.4.3 Penyakit Tanaman berdasarkan Penyebaran Penyakit

### 1. Penyakit tular tanah

Patogen bertahan hidup di tanah atau pada sisa tanaman sakit yang terinfeksi yang terdapat di tanah baik sebagai spora istirahat atau sebagai miselium, misalnya penyakit bintil akar, busuk akar, layu, dan hawar bibit.

### 2. Penyakit tular benih

Mikroorganisme terbawa di dalam benih, misalnya penyakit damping-off, bercak daun pada padi, dll.

### 3. Penyakit tular udara

Mikroorganisme menyebar melalui udara, misalnya penyakit bercak daun, hawar, karat daun, embun tepung, dll.

### 3.4.4 Penyakit Tanaman berdasarkan Kejadian dan Distribusi Geografis

1. Penyakit endemic

Penyakit umumnya ditemukan pada suatu daerah atau sebagian dari suatu daerah (kabupaten) dengan kejadian penyakit pada tingkat sedang/moderat atau parah, dan terjadi dari tahun ke tahun. Contohnya bercak daun dan bintil akar pada murbei.

2. Penyakit epidemik (Epiphytotik)

Penyakit tanaman infeksius yang menyebar secara luas namun terjadi secara periodik. Agen penyebab umumnya ditemukan di suatu daerah lokal, namun kondisi lingkungan mendukung untuk perkembangan penyakit sehingga penyakit menyebar dengan sangat cepat dari satu tempat ke tempat lain. Penyakit epiphytotik sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Contohnya penyakit karat daun, busuk daun, busuk akar pada murbei, dll.

3. Penyakit sporadic

Penyakit tanaman yang hanya terjadi pada suatu daerah pada interval waktu yang tidak beraturan dan dalam kasus penyakit yang relatif sedikit. Penyakit tertentu dapat bersifat endemik di suatu wilayah namun bersifat epidemik di daerah lain. Contohnya penyakit hawar daun, layu, bercak hitam daun pada murbei, dll.

4. Penyakit pandemic

Penyakit terjadi di seluruh dunia dan menyebabkan kerusakan yang sangat parah. Contohnya bintil akar pada murbei.

### 3.4.5 Penyakit Tanaman berdasarkan Tipe Infeksi

1. Penyakit lokal

Penyakit terjadi hanya pada bagian tertentu pada tanaman dan terbatas pada area tertentu, contohnya bercak daun.

2. Penyakit sistemik

Patogen menyebar melalui tubuh tanaman dan berasosiasi dengan hampir setiap tahap siklus hidup tanaman, contohnya downy mildew.

### 3.4.6 Penyakit Tanaman berdasarkan Siklus Hidup Patogen

1. Penyakit monosiklik

Penyakit monosiklik hanya memiliki satu generasi dalam satu musim tanam, misalnya penyakit karat gandum.

2. Penyakit polisiklik

Penyakit polisiklik memiliki lebih dari generasi dalam satu musim tanam, misalnya penyakit busuk daun pada kentang.

3. Penyakit polietik

Penyakit polietik sama seperti penyakit polisiklik namun patogen melengkapi siklus penyakit pada lebih dari satu tahun atau lebih, misalnya karat pada apel.

### 3.4.7 Penyakit Tanaman berdasarkan Organ Terinfeksi

1. Penyakit akar

Penyakit yang muncul pada sistem perakaran tanaman sehingga mengganggu aliran air dan nutrisi dari akar, contohnya bintil akar dan busuk akar.

## 2. Penyakit buah

Penyakit ditemukan pada buah, umumnya pada buah yang sudah terlalu tua dan jaringan sudah terlalu lunak namun terlambat dipanen, contohnya busuk buah.

## 3. Penyakit daun

Penyakit hanya muncul pada bagian tanaman yang berada di atas permukaan tanah terutama daun, contohnya bercak daun dan karat daun.

## 4. Penyakit vaskuler

Penyakit vaskuler terjadi ketika patogen menginfeksi jaringan pembuluh tanaman yaitu xylem dan floem, contohnya layu bakteri yang disebabkan *Pseudomonas solanacearum*.

## 5. Penyakit sistemik

Penyakit yang terjadi karena disebabkan patogen menyebar melalui sistem intraseluler tanaman, sehingga gejala penyakit dapat terlihat di seluruh bagian tanaman, contohnya penyakit kerdil dan mosaik.

### 3.4.8 Penyakit Tanaman berdasarkan Gejala

#### 1. Karat

Penyakit karat disebabkan oleh jamur kelompok Basidiomycetes dari Ordo Uredinales, misalnya karat batang pada gandum yang disebabkan oleh *Puccinia graminis*.

#### 2. Smut

Penyakit smut disebabkan oleh jamur dari Ordo Ustilaginales misalnya karat gandum yang disebabkan oleh *Ustilago nuda tritici*.

#### 3. Busuk

Penyakit busuk menginfeksi pada organ di bagian bawah tanah dan dapat disebabkan oleh bakteri, jamur, atau nematoda.

Penyakit busuk lunak disebabkan oleh patogen dengan sekresi enzim yang dapat mendekomposisi struktur dinding sel, merusak tekstur jaringan tanaman yang menyebabkan maserasi sehingga menjadi lunak dan berair. Gejala busuk lunak umumnya terjadi pada tanaman sayuran seperti kentang, wortel, terong, labu, dan tomat. Contohnya busuk akar yang disebabkan jamur *Rhizoctonia*.

4. Hawar

Penyakit hawar terjadi karena klorosis yang cepat dan lengkap sehingga menyebabkan kematian jaringan tanaman, misalnya penyakit hawar daun pada kentang yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans*.

5. Bintik daun

Penyakit bintik daun disebabkan terjadinya nekrosis atau kematian sel karena adanya sekresi toksin yang disebabkan oleh jamur dan bakteri, misalnya bintik daun bakteri *Xanthomonas campestris*.

6. Kanker

Penyakit kanker menyebabkan bagian tanaman mati, misalnya kanker pada tanaman jeruk.

7. Tumor

Penyakit tumor disebabkan oleh bakteri yang merangsang multiplikasi sel tanaman secara berlebihan, menghasilkan pembentukan struktur abnormal. Sebagian besar bakteri menghasilkan satu gejala utama tanpa kombinasi gejala. Secara umum, cukup mudah untuk mengetahui apakah tanaman terinfeksi bakteri patogen, namun identifikasi spesies agen penyebab membutuhkan isolasi dan karakterisasi patogen menggunakan sejumlah teknik laboratorium.

#### 8. Layu

Penyakit layu disebabkan infeksi bakteri pada sistem vaskuler tanaman. Multiplikasi patogen dan penyumbatan sistem vaskuler oleh patogen mencegah translokasi air dan nutrisi melalui xylem pada tanaman inang. Hal ini menyebabkan tanaman layu bahkan mati, contohnya layu bakteri jagung, alfalfa, tembakau, tomat, dan tanaman Cucurbit yaitu labu dan mentimun yang disebabkan oleh bakteri *Erwinia tracheiphila*.

#### 9. Embun tepung (Powdery mildew)

Penyakit embun tepung menyebabkan gejala pada bagian daun, batang, bunga, dan buah. Contohnya ditemukan pada tanaman anggur, mentimun, dll.

#### 10. Embun berbulu (Downy mildew)

Penyakit embun berbulu disebabkan oleh jamur Famili Peronosporaceae, contohnya ditemukan pada tanaman mawar dan selada.



# Bab 4

## Gejala Serangan Hama Pada Tanaman

### 4.1 Pendahuluan

Kerusakan pada tanaman dapat disebabkan oleh organisme pengganggu tanaman (OPT) maupun faktor lingkungan. Hama, penyakit dan tumbuhan gulma merupakan jenis-jenis OPT yang mampu menyebabkan kerusakan pada tanaman. Hama dapat dikatakan sebagai organisme yang aktivitas hidupnya merusak dan memakan tanaman budidaya. Penyakit merupakan kondisi ketika kemampuan sel tanaman dalam menjalankan fungsinya terganggu karena adanya organisme patogen sehingga dapat menyebabkan sel sampai tidak berfungsi dan mati (Agrios, 2004).

Pada beberapa kasus kerusakan pada tanaman juga dapat diakibatkan oleh kondisi hara tanah dan faktor cekaman lingkungan lainnya. Misalnya suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, kekeurangan atau kelebihan kelembaban tanah, kekurangan atau kelebihan cahaya, kekurangan

oksigen, polusi udara, kekurangan unsur hara, keracunan mineral, keasaman tanah, keracunan pestisida, dan kesalahan teknis budidaya (Agrios, 2004).

Hama sebagai salah satu jenis organisme pengganggu tanaman menyebabkan kerusakan yang sangat mudah diidentifikasi dibandingkan oleh penyakit. Hal ini karena pada serangan hama bisa kita telusuri jejak atau kotoran yang berada di areal pertanaman. Secara umum hama yang menyerang tanaman dapat dikelompokkan terdiri atas vertebrata hama dan non vertebrata hama berdasarkan kepemilikan tulang belakangnya. Organisme hama yang ditemukan banyak menyerang tanaman berasal dari phylum cordata, anthropoda, dan mollusca. Hama dari phylum cordata diantaranya dari kelompok babi, kera, tupai, tikus, dan burung. Hama dari phylum anthropoda contohnya serangga dan tungau. Hama dari phylum mollusca contohnya keong dan siput.

Serangan hama dapat dilihat dengan kasat mata berbeda dengan serangan penyakit. Kerusakannya akan bergantung pada jenis hama yang menyerang. Setiap hama memiliki bentuk mulut yang berbeda, sehingga akan menunjukkan gejala yang berbeda. Selanjutnya fase perkembangan hama ketika menyerang tanaman juga akan menyebabkan keparahan kerusakan yang terjadi akan berbeda-beda tergantung fase pertumbuhan tanaman saat diserang.

## 4.2 Serangan Hama

Serangan hama pada tanaman akan memunculkan gejala spesifik (khas) dan sangat bergantung bentuk mulut fase organisme menjadi hama dan kesesuaiannya dengan fase pertumbuhan tanaman. Hama tertentu secara spesifik hanya memakan bagian tertentu tanaman tapi ada juga yang memakan semua bagian organ tanaman.

### 4.2.1 Identifikasi Serangan

Mengidentifikasi serangan hama pada tanaman dimulai dengan gejala yang ditimbulkan. Kerusakan akibat serangan ada kolerasinya antara produk tanaman yang dimakan (gambar 4.1) dan jenis hama yang memakannya (gambar 4.2). Kecuali serangan mamalia hama yang sangat mudah dideteksi seperti tikus, tupai, kera atau babi.

Keberadaan organisme hama dapat dilihat dari kemunculan organisme tersebut, jejak kaki, kotoran atau bagian-bagian tubuh yang tertinggal di lokasi seperti bulu atau kuku. Untuk mengetahui keberadaan organisme hama kita harus memahami apakah organisme hama tersebut bersifat nocturnal atau tidak. Penggunaan perangkap dapat dilakukan untuk melihat organisme hama yang menyerang apabila aktivitas mereka di malam hari.



**Gambar 4.1:** Gejala Kerusakan serangan hama : Guntingan pada daun (a), lubang pada pelepah (b), bentuk lidi pada anak daun (c), dan bercak coklat pada kuncup tanaman sagu (d) (Senewe et al., 2019)

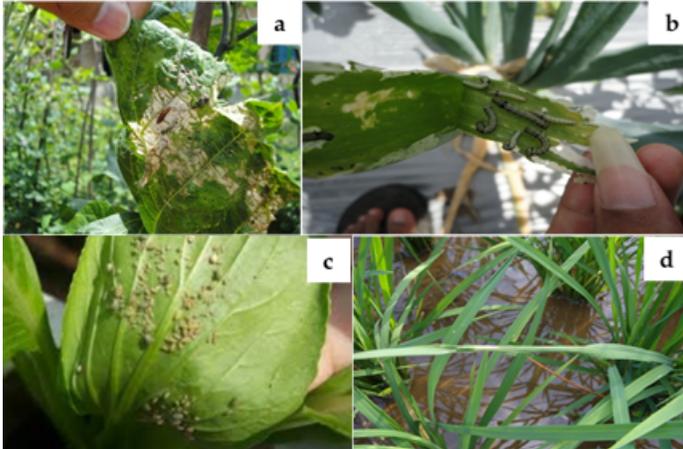


**Gambar 4.2:** Serangga hama yang menyerang : *S. Coriceae* (a-d), *Catantops brachypterus* (e), *Oxya chinensis* (f), *Physus* sp (g), *B. Longissima* (h), *R. Ferrugineus* (i) dan *O. Rhinoceros* (j) (Senewe et al., 2019)

Hama yang bersifat mobile tidak akan kita temukan dilapangan saat pengamatan akan tetapi hanya kita temukan gejala dan jejaknya (gambar 4.3). Berbeda dengan hama yang bersifat immobile ketika menyerang akan kita temukan jenis hamanya meskipun ada yang pada stadia tertentu (gambar 4.4).



**Gambar 4.3:** Gejala jejak serangan tikus di pertanaman (a-b) dan di gudang gabah (c) (Chellappan, 2021)



**Gambar 4.4:** Serangan hama immobile yang pada tanaman daun kacang (a) daun bawang (b) pakchoy (c) dan padi (d)

### 4.2.2 Gejala Serangan di Pertanaman

Gejala serangan hama pada tanaman dapat kita temukan pada organ tanaman seperti daun, batang, buah/biji, dan akar/umbi ketika dipertanaman.

#### 1. Kerusakan Daun

Gejala serangan kerusakan pada daun akibat serangan serangga hama dapat berupa daun patah, daun berlubang, daun robek, daun transparan, daun menggulung, daun bentol, daun berubah warna, mengerut, keriting, bercak, dan gejala lanjutannya seperti daun layu dan daun mengering.

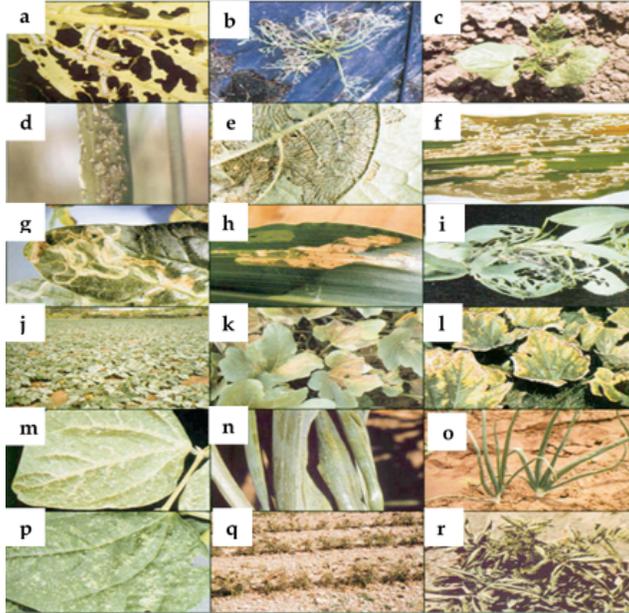
Tipe mulut serangga hama menyebabkan gejala yang berbeda. Pada kasus bagian tanaman menjadi hilang baik secara utuh maupun hanya lapisan epidermisnya saja maka sudah dapat kita pastikan hama yang menyerang memiliki tipe mulut menggigit-mengunyah (chewing). Gejala lainnya seperti perubahan warna, mengerut, keriting, atau pun bercak dapat dipastikan terserang oleh hama yang bertipe mulut menusuk-menghisap (sucking).

Kehilangan daun akibat serangan hama akan berpengaruh pada penurunan produksi. Ditemukan bahwa kehilangan daun sebanyak 28% mampu menyebabkan penurunan produksi yang sangat nyata pada tanaman cabai fase vegetatif dan sangat tergantung pada jenis varetas (Raiyan, Rohyadi dan Tarmizi, 2017).

Pada kondisi lain, kehilangan daun yang disebabkan hama ketika sudah memasuki fase generatif ternyata ditemukan tidak berpengaruh terhadap produksi yang dihasilkan. Serangan hama *spodoptera exigua* Hubner pada tanaman bawang merah diatas usia 36 hst ditemukan tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan produksi bawang merah dataran tinggi varetas Medan (Hartono, 2014)

## 2. Kerusakan Batang

Kerusakan pada batang dapat berupa gejala batang berlubang, kemudian terbentuk lorong didalam batang. Kerusakan ini bisa terjadi oleh fase larva dari hama maupun fase imago. Gejala khas pada tanaman padi dikenal dengan istilah menunjukkan “beluk” dan “sundep”. Ketika tanaman sudah mengeluarkan malai kemudian semua malai berwarna putih dan ketika dicabut akan terdapat bekas gigitan larva dikenal dengan istilah beluk. Pada kasus sundep tanaman padi belum memiliki malai sehingga gejala yang muncul adalah seluruh daun tanaman padi berwarna coklat mengering, kemudian ketika dicabut terdapat bekas gigitan larva (Gambar 4.5).



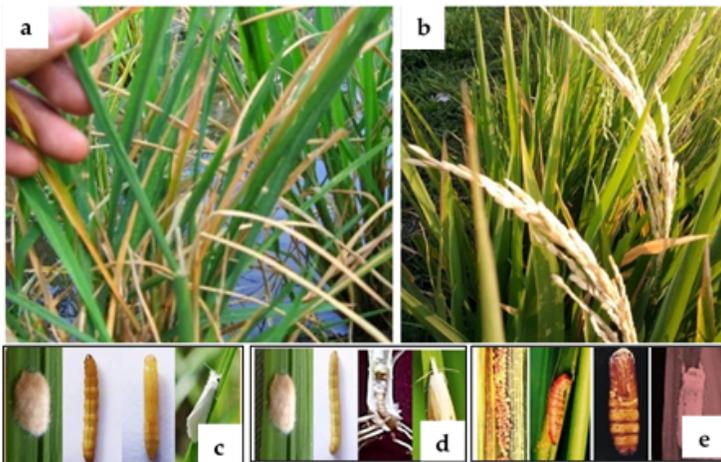
**Gambar 4.5:** Gejala kerusakan daun beberapa tanaman akibat serangan hama

Keterangan Gambar:

- a. ulat grayak (*Spodoptera eridania*),
- b. ulat pickle (*Diaphania nitidalis*)
- c. Kumbang bergaris (*Phyllotreta striolata*),
- d. Kumbang asparagus (*Crioceris asparagi*),
- e. Kumbang kedelai (*Epilachna varivestis*),
- f. Kumbang daun jaung (*Diabrotica virgifera virgifera*),
- g. Penggorok daun tomat (*Liriomyza trifolii*),
- h. Penggorok daun jagung (*Agromyza parvicornis*),
- i. Ulat daun alfalfa (*Loxostege cereralis*),
- j. Kutu kebul (*Bemisia tabaci*),
- k. Kumbang labu (*Anasa tristis*),

- l. Kumbang kentang (*Empoasca fabae*),
- m. Thrips daun kedelai (*Neohydatothrips variabilis*),
- n. Trhrips daun bawang (*Thrips tabaci* L),
- o. Kutu daun kacang (*Microtechnites bractatus*),
- p. Trhrips melon (*Thrips palmi*),
- q. Kutu daun kentang (*Bactericera cockerelli*) (Capinera, 2001)

Kerusakan yang terjadi pada batang tidak mampu menyelamatkan hasil panen pada semua jenis tanaman budidaya. Saat tanaman tidak memiliki batang untuk menempelnya daun, maka proses fotosintesis tidak akan terjadi dan tanaman tidak akan menghasilkan produksi baik dalam bentuk buah, biji, maupun umbi.



**Gambar 4.6:** Gejala serangan hama batang padi. Sundep (a); Beluk (b); penggerek padi putih (c); penggerek padi kuning (d); penggerek padi merah jambu (e)

Penggerek batang di pertanaman mulai ditemukan pada umur tanaman 7 minggu setelah tanam dan ditemukan juga parasitoid yang mampu mengendalikannya dari genus *Telenomus*, *Scelionid*, dan *Eulopid*. Parasitoid yang dapat mengendalikan hama ini seperti genus *Berosus*,

Carabid, Calosoma, Clubiona, Menochilus, Paedarus, dan Pardosa (Damayanti, Mudjiono dan Karindah, 2015).

### 3. Kerusakan Buah/biji

Kerusakan yang terjadi pada buah akibat serangan hama menunjukkan gejala terdapat luka korekan pada buah, buah menjadi lunak dan membusuk (gambar 4.7), polong dan biji menjadi rusak (gambar 4.8) dan bulir padi berwarna hitam serta hampa (gambar 4.9).



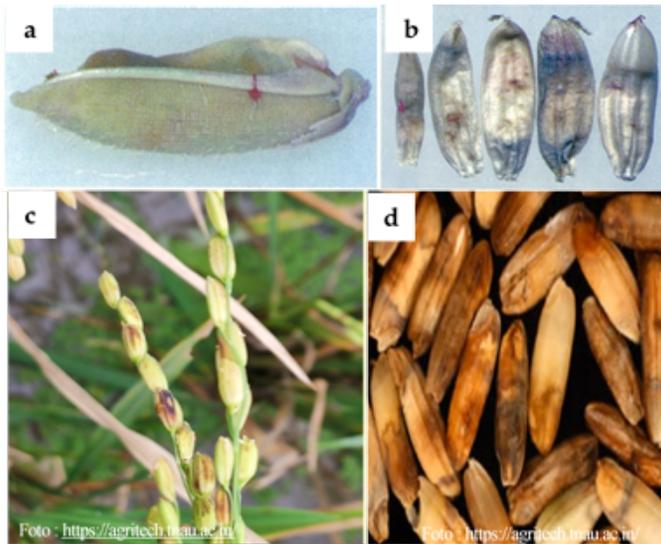
**Gambar 4.7:** Gejala serangan hama buah. Ulat tortrix (*Syndemis musculana*) pada buah apel (a); lalat (*Ceratitis capitata*) pada buah pear (b); ulat buah (*Contarinia pyrivora*) pada buah pear (c) (Alvord, 2023)

Buah dan biji merupakan produk akhir yang dijual sebagai bahan pangan. Kerusakan terhadap buah dan biji yang terjadi akan menyebabkan kerugian yang sangat banyak. Cacat pada produk juga memengaruhi harga jual yang lebih rendah meskipun kerusakan hanya dibagian luar produk. Oleh karenanya dilakukan pengkelasan terhadap produk seperti grade A, B, C, dan apkir sesuai kualitas dan kerusakan yang masih dapat ditolelir.



**Gambar 4.8:** Kerusakan polong akibat serangan hama penghisap polong kedelai *Riptortus linearis* pada beberapa perlakuan. Formulasi campuran minyak jarak dan mimba 1% (a); insektisida sipermentrin (b), kontrol (c) dan mimba 1% (Nurfadza, Dono dan Yulia, 2024).

Pada serangan hama penyerang biji padi yakni walangsangit (*Leptocorisa acuta*), gejala yang dihasilkan adalah bulir padi yang berwarna kecoklatan dan hampa. Serangan walang sangit ditemukan pada tanaman yang dibudidayakan dengan teknologi jajar legowo lebih tinggi. Meskipun demikian ditemukan produksi yang lebih baik dibandingkan pada pertanaman secara konvensional (Solahuddin et al., 2023).



**Gambar 4.9:** Kerusakan pada bulir padi akibat serangan hama walang sangit. (a) tusukan tembus biji yang diwarnai eritrosin; (b) sekam dari bulir hampa; (c) perubahan warna biji periode masak susu; (d) perubahan warna biji masak panen (Sugimoto dan Nugaliyadde, 1995).

#### 4. Kerusakan Akar/Umbi

Serangan pada akar atau umbi dilakukan oleh hama yang stadia tertentu bisa hidup di dalam tanah dan larva yang hidup pada umbi di dalam tanah. Anjing tanah (*Gryllotalpidae*) hidup dengan membuat lubang didalam tanah kemudian menyerang bagian akar tanaman sehingga memunculkan gejala tanaman layu dan mengering. Begitupun gejala yang ditimbulkan oleh uret (*Lepidiotia*) menyebabkan tanaman layu dan mengering dan ketika tanaman dicabut (gambar 4.10). Pada kasus serangan hama dari kelompok lanas (*Cylas*) larva dapat tumbuh lama pada umbi di dalam tanah hingga menjadi pupa dengan membuat liang gerakan pada umbi (gambar 4.11).

Aplikasi suspensi konidia *B. bassiana* pada permukaan tanah atau pangkal batang ubi jalar pada umur 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 MST berhasil menekan

populasi *C. formicarius* pada umbi dan mengurangi kerusakan umbi ubi jalar hingga 48%.



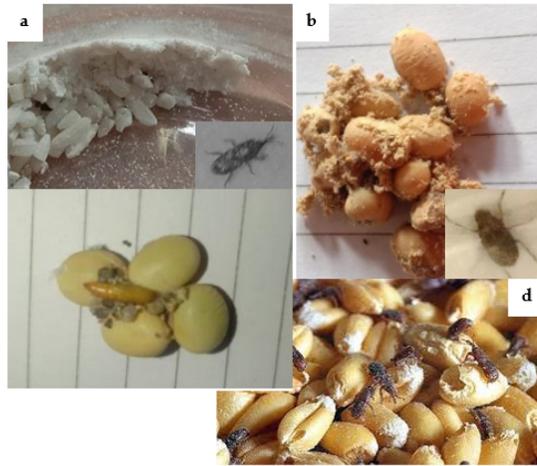
**Gambar 4.10:** Kerusakan pada akar dan umbi akibat serangan hama. (a) uret umbi wortel; (b) uret akar bawang; (c) anjing tanah pada kangkung.



**Gambar 4.11:** Kerusakan Ubi jalar merah dan ubi jalar putih akibat serangan hama lanas. (a) kepadatan serangan hama pada umbi merah setelah dikupas; (b) kepadatan serangan hama pada umbi gejala pada umbi merah utuh ; (c) gejala pada umbi merah utuh; (d) gejala pada umbi putih utuh(Kagimbo, Hussein dan Sibiya, 2018)

### 4.2.3 Gejala Serangan di Pergudangan

Tidak hanya di pertanaman, hama juga menyerang pada produk tanaman setelah disimpan di gudang penyimpanan. Terdapat beberapa jenis hama gudang yang menyerang produk beras, kedelai, maupun jagung.



**Gambar 4.12:** Kerusakan pada biji produk pertanian di gudang. (a) beras oleh *Sitophilus oryzae*; (b) kerusakan kedelai oleh *Callosobruchus* sp; (c) kerusakan kedelai oleh *Tribolium castaneum*; (d) jagung oleh *Sitophilus zeamais* (Nuraini, Prakoso dan Suroto, 2022)



# Bab 5

## Gejala Penyakit Pada Tanaman

### 5.1 Pengertian dan Pentingnya Identifikasi Gejala Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman adalah kondisi yang menyebabkan gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Gangguan ini dapat disebabkan oleh organisme patogen seperti jamur, bakteri, virus, nematoda, dan fitoplasma, atau oleh faktor lingkungan seperti kekurangan nutrisi, polusi, dan perubahan cuaca ekstrem (Narayanasamy, 2011a). Penyakit pada tanaman sering kali menurunkan hasil panen dan kualitas produk pertanian, yang berdampak besar pada ekonomi pertanian. Oleh karena itu, memahami penyakit tanaman merupakan langkah penting dalam menjaga kesehatan dan produktivitas tanaman.

Dalam mengenali penyakit tanaman, kita perlu memahami perbedaan antara gejala dan tanda. Gejala adalah perubahan pada tanaman sebagai respons terhadap infeksi atau gangguan akibat patogen. Gejala ini bisa berupa perubahan warna daun, seperti klorosis (daun menguning akibat

kekurangan klorofil), nekrosis (matinya jaringan yang menyebabkan bercak kering atau busuk), serta kerdil (pertumbuhan tanaman terhambat akibat gangguan metabolisme) (Westcott et al., 2008).

Sebagai contoh, penyakit blas pada padi (*Pyricularia oryzae*), yang umum di Indonesia, menunjukkan gejala bercak berwarna cokelat dengan bentuk menyerupai belah ketupat. Bagian tepi bercak berwarna cokelat, sedangkan bagian tengahnya berwarna abu-abu atau keputihan (Sanuriza et al., 2024). Bercak ini kemudian berkembang sebagai nekrosis dan dapat menyebabkan tanaman mati.

Sementara itu, tanda adalah bukti fisik keberadaan patogen yang dapat diamati secara langsung pada tanaman yang terinfeksi. Tanda ini meliputi keberadaan miselium jamur, spora, eksudat bakteri, atau struktur reproduksi patogen lainnya (Narayanasamy, 2011a). Sebagai contoh, penyakit karat daun pada kedelai (*Phakopsora pachyrhizi*), yang banyak ditemukan di daerah tropis, menunjukkan tanda berupa pustula berwarna cokelat kemerahan pada permukaan bawah daun yang berisi spora jamur. Contoh lain adalah busuk batang pada kelapa sawit (*Ganoderma boninense*), yang menunjukkan tanda berupa pertumbuhan tubuh buah jamur berbentuk kipas di pangkal batang tanaman (Westcott et al., 2008).

Mengenali perbedaan antara gejala dan tanda sangat penting dalam mendiagnosis penyakit tanaman dengan akurat. Gejala yang mirip dapat disebabkan oleh faktor yang berbeda, misalnya daun menguning bisa disebabkan oleh infeksi virus seperti mosaik tembakau (Tobacco mosaic virus), tetapi juga bisa diakibatkan kekurangan unsur hara seperti nitrogen atau zat besi (Narayanasamy, 2011b). Oleh karena itu, selain mengamati gejala, perlu dilakukan analisis tanda patogen seperti keberadaan spora atau eksudat untuk memastikan penyebab penyakit dan menentukan metode pengendalian yang tepat.

## 5.2 Klasifikasi Gejala pada Penyakit Tanaman

Gejala penyakit pada tanaman merupakan respons visual yang muncul sebagai akibat dari terganggunya fungsi fisiologis maupun struktural tanaman. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh berbagai jenis patogen seperti jamur, bakteri, virus, nematoda, atau parasit tanaman lainnya. Gejala tersebut mencerminkan reaksi tanaman terhadap infeksi, baik berupa kematian jaringan, perubahan warna, bentuk, tekstur, maupun pertumbuhan yang tidak normal (Trigiano et al., 2004).

Pengelompokan gejala penyakit sangat penting dilakukan, karena dapat membantu dalam proses identifikasi penyakit secara dini di lapangan dan mendukung pemilihan strategi pengendalian yang tepat. Secara umum, gejala penyakit tanaman diklasifikasikan dalam empat kelompok utama, yaitu: gejala nekrosis, hipoplasia, hiperplasia, dan gejala lainnya yang tidak termasuk dalam kategori tersebut.

Masing-masing kelompok menggambarkan tipe kerusakan atau respons tertentu dari tanaman yang bisa diamati secara langsung, dan sering kali menjadikannya sebagai dasar awal dalam proses diagnosis penyakit tanaman (Parthasarathy, 2024).

### 5.2.1 Gejala Nekrosis (Kematian Jaringan)

Gejala nekrosis merupakan salah satu tipe gejala penyakit tanaman yang paling mudah dikenali. Gejala ini ditandai dengan kematian sel atau jaringan tanaman akibat serangan patogen atau kondisi lingkungan yang merusak, seperti kekeringan ekstrem atau keracunan bahan kimia.

Jaringan yang mati akan kehilangan warna hijau normal, berubah ke warna coklat atau hitam, dan kadang mengering atau membusuk. Nekrosis dapat muncul pada hampir semua bagian tanaman, termasuk daun, batang, akar, bunga, hingga buah (Parthasarathy, 2024; Trigiano et al., 2004).

Contoh gejala nekrosis:

1. Bercak daun

Bercak daun adalah area nekrosis berbentuk bulat atau tidak beraturan yang muncul pada daun. Bercak biasanya dimulai sebagai titik kecil berwarna cokelat, hitam, atau abu-abu dan dapat berkembang membesar. Tepi bercak sering kali dikelilingi oleh halo berwarna kuning (klorosis) sebagai reaksi dari jaringan sehat di sekitarnya. Sebagai contoh, infeksi *Helminthosporium oryzae* (sekarang *Bipolaris oryzae*) pada tanaman padi, mengakibatkan munculnya bercak lonjong hingga oval pada daun, dengan warna cokelat tua di bagian tengah dan tepi berwarna kuning (Mehrotra & Aggarwal, 2003).

2. Hawar

Hawar merupakan nekrosis yang menyebar sangat cepat, menyebabkan kerusakan jaringan yang luas, terutama pada daun dan batang. Jaringan tanaman yang terinfeksi mengalami perubahan warna ke cokelat, mengering, dan akhirnya mati. Hawar biasanya menutupi area yang lebih besar dan bisa menyebabkan kerusakan total pada organ tanaman. Salah satu contohnya adalah penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi, yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Parthasarathy, 2024).

3. Busuk akar (root rot)

Busuk akar merupakan gejala nekrosis yang menyerang sistem perakaran tanaman. Gejalanya meliputi perubahan warna akar dari putih ke cokelat atau hitam, tekstur akar lunak dan mudah patah, serta hilangnya kemampuan akar dalam menyerap air dan nutrisi. Akibatnya, tanaman menunjukkan gejala layu meskipun kondisi tanah cukup lembab. Busuk akar umumnya disebabkan oleh

patogen tular tanah seperti jamur dari genus *Phytophthora*, *Pythium*, dan *Rhizoctonia* (Westcott et al., 2008).

#### 4. Busuk batang

Busuk batang ditandai dengan jaringan batang yang berwarna cokelat, lunak, dan kadang mengeluarkan cairan atau lendir. Batang lemah dan tidak mampu menopang tanaman sehingga tanaman mudah roboh atau mati mendadak. Contohnya pada tanaman kelapa sawit yang terinfeksi *Ganoderma boninense* menunjukkan gejala awal berupa busuk di bagian pangkal batang. Pada stadium lanjut, tubuh buah jamur terlihat tumbuh di bagian batang bawah atau permukaan tanah. Penyakit ini dikenal sebagai busuk pangkal batang dan sangat merugikan karena sulit dikendalikan dan bisa menyebabkan kematian permanen pada tanaman (Parthasarathy, 2024).



**Gambar 5.1:** Dari kiri ke kanan: tanaman padi yang terinfeksi *B. oryzae* (Agrios, 2008); hawar daun bakteri pada padi akibat *X. oryzae* pv. *oryzae* (Niño-Liu et al., 2006); busuk akar pada tembakau akibat *R. solani* (Gonzalez et al., 2011); dan kelapa sawit yang terinfeksi *G. boninense* (Agrios, 2008).

### 5.2.2 Gejala Hipoplasia (Pertumbuhan Terhambat)

Gejala hipoplasia ditandai oleh keterlambatan atau hambatan pertumbuhan tanaman. Hal ini biasanya diakibatkan adanya gangguan fisiologis yang disebabkan oleh virus, fitoplasma, atau kondisi lingkungan yang tidak mendukung seperti kekurangan hara atau air.

Tanaman yang mengalami hipoplasia akan menunjukkan ukuran yang lebih kecil, daun yang menyusut atau berwarna pucat, dan produktivitas yang rendah. Gangguan ini terutama menyerang proses fotosintesis, pembelahan sel, dan transpor nutrisi, sehingga gejalanya sering kali tampak pada keseluruhan tanaman (Parthasarathy, 2024; Triggiano et al., 2004).

#### 1. Kerdil (stunting)

Tanaman yang kerdil tumbuh lebih pendek dibandingkan normal, dengan batang dan daun mengecil. Ini merupakan gejala umum dari infeksi virus atau fitoplasma yang mengganggu pembentukan hormon pertumbuhan. Contohnya adalah tanaman padi, yang terserang Rice grassy stunt virus (RGSV) menyebabkan tanaman tampak seperti rumput, sangat pendek, dan tidak menghasilkan bulir (Mehrotra & Aggarwal, 2003).

#### 2. Klorosis

Klorosis adalah gejala menguningnya daun akibat kerusakan atau gangguan pada kloroplas yang bertanggung jawab dalam fotosintesis. Klorosis bisa menyebar dari ujung daun atau tampak sebagai pola belang. Contohnya adalah infeksi ChiVMV (Chili veinal mottle virus) pada tanaman cabai menyebabkan daun berwarna kuning menyeluruh dan sering kali disertai pertumbuhan yang tidak normal (Narayanasamy, 2011b).

#### 3. Etiolasi

Tanaman yang mengalami etiolasi tumbuh dengan batang yang lebih panjang dan daun yang pucat, biasanya karena kekurangan

cahaya atau gangguan sistem perakaran. Contohnya pada tomat yang terinfeksi patogen tular tanah seperti *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, tanaman menunjukkan batang yang lemah dan daun menguning karena akar tidak mampu menyerap nutrisi secara optimal. Gejala ini juga disertai perubahan warna jaringan pembuluh dan kelayuan sistemik (Westcott et al., 2008).



**Gambar 5.2:** Dari kiri ke kanan: tanaman padi yang terserang RGSV (GDA, 2014); infeksi ChiVMV pada cabai (Meetei et al., 2020); dan tomat yang terinfeksi *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Momol et al., 1969).

### 5.2.3 Gejala Hiperplasia (Pertumbuhan Berlebihan)

Hiperplasia menunjukkan pertumbuhan jaringan tanaman yang berlebihan atau tidak terkendali akibat adanya rangsangan abnormal, seperti perubahan hormon atau enzim yang diproduksi oleh patogen. Gejala ini mencerminkan reaksi defensif atau adaptif dari tanaman yang terstimulasi secara berlebihan (Mehrotra & Aggarwal, 2003; Parthasarathy, 2024).

#### 1. Gall atau tumor

Tumor merupakan pembentukan jaringan baru yang menebal dan menonjol, biasanya pada akar, batang, atau daun. Contohnya adalah crown gall pada apel dan tanaman berkayu lainnya disebabkan oleh *Agrobacterium tumefaciens* (Mehrotra & Aggarwal, 2003).

## 2. Witches' broom

Witches' broom merupakan gejala yang menunjukkan pertumbuhan tunas lateral secara masif dari satu titik, membentuk struktur yang menyerupai sapu. Hal ini disebabkan karena gangguan keseimbangan hormon tumbuh.

Contohnya pada pada kakao, witches' broom disebabkan oleh *Moniliophthora perniciosa*. Tunas kecil tumbuh sangat rapat dan menyebabkan tajuk tanaman terlihat tidak normal, serta menyebabkan deformasi dan kemandulan organ reproduktif (Trigiano et al., 2004).

## 3. Fasiasi

Fasiasi merupakan kelainan bentuk jaringan tumbuhan seperti batang atau bunga yang melebar, pipih, atau terbelah akibat gangguan titik tumbuh. Contohnya adalah infeksi yang disebabkan oleh *Rhodococcus fascians* pada berbagai tanaman hias dan hortikultura. Gejalanya berupa pembentukan pucuk dan tunas berlebih sehingga tampak seperti "gumpalan" atau pita memanjang pada batang dan bunga (Strange, 2003).



**Gambar 5.3:** Dari kiri ke kanan: crown gall akibat infeksi *A. tumefaciens* (Agrios, 2008); witches' broom yang disebabkan oleh *M. perniciosa* pada kakao (Lisboa et al., 2020); dan infeksi oleh *R. fascians* pada tanaman hias (Park et al., 2021).

## 5.3 Teknik Identifikasi Gejala Penyakit

Mendeteksi gejala penyakit secara akurat merupakan tahap awal yang penting dalam proses diagnosis dan pengendalian penyakit pada tanaman. Identifikasi yang tepat akan membantu dalam menentukan patogen penyebab dan merancang strategi pengendalian yang paling sesuai dengan kondisi di lapangan.

### 1. Pengamatan Visual

Pengamatan visual merupakan metode diagnosis awal yang paling umum digunakan oleh petani, teknisi lapangan, atau ahli patologi. Teknik ini dilakukan dengan mengamati langsung bagian tanaman yang menunjukkan perubahan seperti bentuk, warna, tekstur, atau pola penyebaran gejala. Misalnya, bercak nekrosis berbatas jelas sering mengarah pada infeksi jamur, sementara eksudat berlendir mengarah ke infeksi bakteri. Meskipun sederhana, diagnosis secara visual merupakan langkah penting sebelum dilakukan uji lanjutan (Parthasarathy et al., 2024).

### 2. Penggunaan Alat dan Metode Penunjang

Ketika pengamatan visual tidak cukup, berbagai metode dan alat bantu digunakan untuk mengidentifikasi patogen secara lebih akurat:

#### a. Mikroskop

Penggunaan mikroskop stereo atau mikroskop majemuk memungkinkan pengamatan struktur kecil seperti miselium jamur, spora, atau koloni bakteri. Mikroskop stereo digunakan untuk mengamati permukaan jaringan yang terinfeksi, sementara mikroskop majemuk digunakan untuk identifikasi morfologi spora dan inklusi virus (Trigiano et al., 2004).

b. ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)

Merupakan teknik serologi berbasis antibody, yang sangat efektif untuk mendeteksi virus, bakteri, dan jamur tertentu. ELISA banyak digunakan karena cepat, sensitif, dan dapat diaplikasikan pada banyak sampel sekaligus. Dalam skema sertifikasi bibit, ELISA digunakan untuk memastikan tanaman bebas dari patogen tertentu sebelum disebar ke petani (Kerruish & Walkington, 2006).

c. PCR (Polymerase Chain Reaction)

Teknik ini digunakan untuk mendeteksi DNA atau RNA patogen secara spesifik dan sangat sensitif. PCR sangat efektif untuk mendeteksi patogen yang sulit diisolasi, seperti virus. Selain itu, PCR juga bisa digunakan untuk mendeteksi infeksi pada fase awal sebelum gejala muncul secara visual (Narayanasamy, 2011a).

3. Pembeda Gejala Biotik dan Abiotik

Membedakan antara gejala yang disebabkan oleh organisme hidup (biotik) dan faktor lingkungan (abiotik) sangat penting untuk menghindari kesalahan diagnosis. Misalnya, klorosis yang seragam di seluruh lahan biasanya disebabkan kekurangan hara, sementara gejala bercak tidak beraturan cenderung disebabkan infeksi virus atau jamur. Penyakit biotik biasanya menyebar bertahap, sedangkan gejala abiotik muncul seragam dan serentak pada area luas. Gejala abiotik seperti luka karena herbisida atau cekaman suhu juga dapat memicu infeksi sekunder oleh patogen (Parthasarathy, 2024).

Pemahaman yang baik terhadap gejala abiotik akan membantu mencegah aplikasi pestisida yang tidak perlu dan memfokuskan pengendalian pada manajemen lingkungan atau nutrisi yang tepat.

# Bab 6

## Siklus Hidup Hama Tanaman

### 6.1 Pendahuluan

Hama serangga menimbulkan tantangan besar dalam bidang pertanian, kehutanan, dan kesehatan masyarakat di seluruh dunia. Memahami siklus hidup dan biologi hama serangga sangat penting untuk mengembangkan strategi pengelolaan yang efektif. Topik ini akan memberikan gambaran singkat tentang siklus hidup dan biologi hama serangga, dengan fokus pada tahapan utama. Setiap tahap memainkan peran penting dalam perkembangan dan dampaknya terhadap lingkungan inangnya.

### 6.2 Pengenalan Siklus Hidup Serangga Hama Tanaman

Serangga merupakan kelompok makhluk hidup yang paling banyak ditemukan di berbagai tempat di dunia. Saat ini, lebih dari 1,5 juta spesies

serangga telah diketahui, atau mencakup sekitar 72% dari seluruh jenis hewan yang ada. Masa depan manusia di bumi sangat bergantung pada pemahaman terhadap dunia serangga—baik dalam melindungi diri dari serangga berbahaya maupun menjaga serangga yang menguntungkan (Manthey et al., 2023).

Beberapa jenis serangga memang dapat menjadi hama yang merugikan, terutama bagi tanaman budidaya. Namun, di sisi lain, banyak serangga juga memberikan manfaat besar, seperti membantu penyerbukan atau menjadi musuh alami hama. Serangga hama tanaman telah mengembangkan berbagai adaptasi untuk bertahan hidup, seperti kemampuan kamuflase, pertahanan kimia, diapause (berhenti berkembang sementara), dan strategi migrasi. Serangga juga membentuk hubungan ekologi yang kompleks dengan musuh alami seperti predator, parasit, dan patogen.

Untuk mengelola hama dengan baik, penting bagi petani dan ahli pertanian untuk memahami siklus hidup hama serangga. Sebagian besar serangga memiliki tiga tahap utama kehidupan: telur, bentuk belum dewasa (seperti larva atau nimfa), dan dewasa. Pada serangga yang mengalami metamorfosis sempurna, siklus hidup terdiri dari empat tahap: telur → larva → pupa → dewasa. Namun, beberapa jenis serangga hanya mengalami metamorfosis tidak sempurna, yaitu dari telur → nimfa → dewasa, tanpa melalui tahap pupa.

Serangga biasanya meletakkan telur di atas, di dalam, atau dekat tanaman inang. Telur ini menetas dengan cepat atau bertahan lebih lama, bahkan hingga antar musim, tergantung kondisi lingkungan. Memahami jumlah generasi per tahun dan kapan fase merusak terjadi sangat penting dalam pengambilan keputusan budidaya. Misalnya, waktu tanam dapat disesuaikan agar tidak bertepatan dengan puncak aktivitas hama.

Dalam praktiknya, perlindungan tanaman dari serangga hama sudah lama dilakukan, mulai dari cara tradisional seperti pengendalian mekanis dan biologis, hingga teknologi modern yang menggunakan varietas unggul dan pestisida. Saat ini, pengelolaan hama perlu didukung oleh informasi biologi

dan perilaku serangga, termasuk jenis makanan, siklus hidup, serta interaksinya dengan lingkungan dan organisme lain.

Dengan memahami siklus hidup dan perilaku serangga hama, para ahli dan petani dapat mengembangkan cara pengendalian yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan demi menjaga produktivitas pertanian dan keseimbangan ekosistem.

## 6.3 Metamorfosis Serangga Hama

Metamorfosis mencakup penghentian perkembangan dan perubahan internal yang drastis, serta kadang-kadang menyebabkan perubahan habitat. Pergeseran ini memengaruhi berbagai perilaku yang ditampilkan oleh individu selama hidupnya, termasuk dalam hal menghindari predator, mencari makan, kawin, dan penyebaran (Amat et al., 2018; Konopová, 2025).

Metamorfosis berasal dari bahasa Yunani *meta* (perubahan) dan *morph* (bentuk). Dalam konteks biologi, terutama entomologi (ilmu tentang serangga), metamorfosis adalah proses biologis kompleks yang melibatkan perubahan bentuk, struktur, dan fungsi tubuh serangga dari satu tahap ke tahap lain selama siklus hidupnya, mulai dari telur hingga dewasa (*imago*) (Rashmi et al., 2024).

Terdapat dua jenis utama metamorphosis pada serangga, yaitu:

1. Metamorfosis sempurna (*holometabola*) (Rolff, Johnston dan Reynolds, 2019), yaitu tahapan yang dimulai dari telur, yang kemudian menetas sebagai larva, berlanjut ke fase pupa lalu menjadi dewasa. Serangga yang mengalami metamorphosis sempurna diantaranya adalah kupu-kupu, lalat, dan kumbang.
2. Metamorfosis tidak sempurna (*hemimetabola*) (Rolff, Johnston dan Reynolds, 2019), yaitu tahapan yang dimulai dari telur lalu

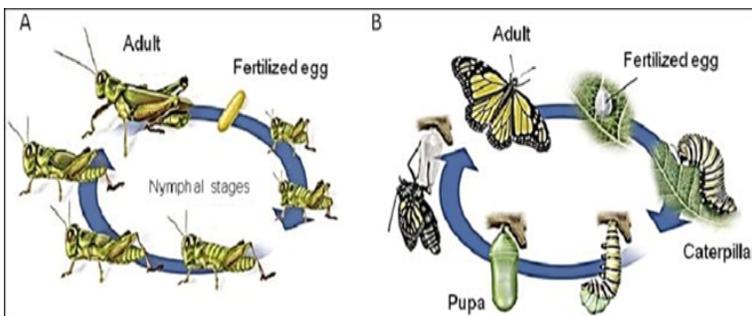
menetas sebagai nimfa selama beberapa periode singkat sebelum segera masuk ke fase dewasa. Serangga yang mengalami jenis metamorphosis ini contohnya adalah belalang, dan jangkrik.

Dalam dunia serangga, metamorfosis merupakan proses biologis penting yang melibatkan serangkaian perubahan bentuk dan fungsi tubuh secara bertahap, mulai dari telur hingga menjadi serangga dewasa atau imago.

Proses ini mencakup tiga tahapan utama perkembangan, yaitu pertumbuhan, diferensiasi, dan reproduksi (Gambar 6.1):

1. **Pertumbuhan (Larva).** Pertumbuhan terjadi pada tahap larva, di mana serangga aktif makan dan mengalami beberapa kali pergantian kulit (molting) untuk menyesuaikan dengan ukuran tubuh yang terus membesar. Molting tersebut dapat terjadi karena eksoskeleton serangga tidak dapat tumbuh mengikuti ukuran tubuh yang terus membesar. Selain itu, pada tahap larva, serangga biasanya memiliki bentuk sangat berbeda dari bentuk dewasanya. Contoh fase larva yang banyak teramati adalah ulat pada kupu-kupu dan belatung pada lalat.
2. **Diferensiasi (Pupa).** Setelah mencapai ukuran tertentu, serangga akan memasuki tahap pupa, yaitu suatu tahapan yang dicirikan dengan fase diferensiasi, atau fase saat terjadi rekonstruksi tubuh secara besar-besaran pada serangga. Pada tahap ini, organ-organ larva dihancurkan dan dibentuk ulang menjadi struktur tubuh dewasa. Dalam tahap ini, serangga tidak makan dan terlihat tidak aktif, namun terjadi aktivitas metabolik yang intensif di dalam tubuh. Tahap pupa serangga dapat teramati secara umum seperti pada kepompong (chrysalis) kupu-kupu (Truman, 2019).
3. **Reproduksi (Dewasa/Imago).** Terakhir, pada tahap imago atau dewasa, serangga telah memiliki organ reproduksi yang matang atau berkembang sempurna dan siap melakukan

perkawinan/berkembang biak serta menghasilkan keturunan. Biasanya juga pada tahap ini, serangga telah dibekali struktur khusus untuk pergerakan seperti sayap, dan fokus hidupnya adalah kawin dan bertelur. Selain itu, umumnya serangga dewasa tidak makan atau memiliki struktur mulut yang berbeda dari larva.



**Gambar 6.1:** Representasi skematis siklus hidup serangga. A. Spesies hemimetabola, belalang. B. Spesies holometabola, kupu-kupu raja (*Lepidoptera: Nymphalidae*), *Danaus plexippus* (de Loof dan Schoofs, 2020)

Lebih jauh, dalam proses metamorphosis serangga, terdapat beberapa istilah penting yang perlu dipahami. Eklosi (eclosion) adalah proses menetasnya telur setelah embrio berkembang sempurna. Proses ini menandai permulaan siklus hidup serangga di luar telur, yaitu tahap larva atau nimfa. Eklosi dapat dipicu oleh faktor internal seperti hormon maupun faktor eksternal terutama suhu dan kelembapan. Setelah menetas, serangga muda seringkali disebut sebagai instar pertama. Istilah instar merujuk pada bentuk tubuh serangga di antara dua kali molting.

Setiap kali serangga berganti kulit, artinya serangga akan masuk ke instar berikutnya. Periode waktu antara dua molting disebut stadium, di mana serangga tetap berada dalam instar yang sama. Selama proses molting, kulit lama yang terlepas disebut eksuvia. Eksuvia ini sering kali digunakan sebagai petunjuk dalam studi perkembangan serangga. Setelah melewati semua tahap larva dan pupa, serangga akhirnya menjadi imago, yaitu bentuk dewasa yang memiliki kemampuan reproduksi.

Pada beberapa jenis serangga, terdapat tahap peralihan yang disebut sub-imago, yaitu bentuk pra-dewasa yang telah memiliki sayap tetapi belum matang secara seksual. Tahap ini hanya ditemukan pada serangga tertentu seperti lalat mayang (Ephemeroptera). Keseluruhan proses metamorfosis ini menunjukkan betapa kompleks dan menariknya siklus hidup serangga serta menjadi aspek penting dalam memahami ekologi dan perilaku serangga di berbagai lingkungan.

Setiap jenis metamorfosis serangga mencerminkan strategi evolusi yang berbeda, disesuaikan dengan kebutuhan hidup dan lingkungan masing-masing spesies. Secara umum, metamorfosis pada serangga dapat dibedakan menjadi lima jenis utama, yaitu ametamorfosis, hemimetabola, paurometabola, holometabola, dan hipermetamorfosis.

Masing-masing jenis memiliki ciri khas tersendiri dalam hal perubahan morfologi, jumlah tahap perkembangan, serta hubungan antara bentuk larva dan dewasa:

#### 1. Ametamorfosis (Ametabolous).

Ametamorfosis merupakan jenis perkembangan serangga yang paling sederhana, di mana serangga tidak mengalami metamorfosis sama sekali. Serangga yang tergolong dalam kelompok ini hanya melalui tiga tahap kehidupan: telur, anak muda (juvenile), dan dewasa (Konopová, 2025).

Contoh serangga ametabolous antara lain silverfish (*Lepisma saccharina*) dan springtail, yang termasuk dalam kelompok Apterygota, yaitu serangga bersayap primitif. Juvenile yang baru menetas sangat mirip dengan bentuk dewasanya, hanya berbeda dalam hal ukuran tubuh dan kematangan seksual. Menariknya, pada serangga ini proses moulting atau pergantian kulit terjadi secara terus-menerus bahkan setelah mencapai tahap dewasa, yang berbeda dari sebagian besar serangga lain yang berhenti moulting setelah dewasa.

## 2. Hemimetabola (Metamorfosis Tidak Sempurna)

Hemimetabola adalah jenis metamorfosis yang disebut juga metamorfosis tidak sempurna, karena siklus hidupnya terdiri dari tiga tahap: telur, naiad, dan dewasa, tanpa melalui tahap pupa. Serangga dalam kelompok ini mengalami perubahan bentuk, tetapi tidak sekompleks pada holometabola. Contoh khasnya adalah capung, capung jarum, dan lalat mayang. Naiad, yaitu bentuk larva dari serangga ini, hidup di lingkungan air dan sangat berbeda dari bentuk dewasanya baik dalam hal struktur tubuh, kebiasaan makan, maupun habitat.

Larva ini bernafas menggunakan insang trakea yang terletak di dalam rektum atau pada bagian tubuh lainnya. Salah satu adaptasi menarik pada naiad capung adalah bagian bibir bawah (labium) yang termodifikasi menjadi struktur berengsel yang disebut masker, digunakan untuk menangkap mangsa secara cepat. Setelah melalui moulting terakhir, serangga muncul dari air, dan sayapnya mengembang sempurna untuk kehidupan di udara sebagai dewasa.

## 3. Paurometabola (Metamorfosis Bertahap / Sederhana)

Paurometabola, atau dikenal juga sebagai metamorfosis sederhana, merupakan jenis perkembangan di mana serangga mengalami tiga tahap: telur, nimfa, dan dewasa. Berbeda dengan hemimetabola, nimfa pada paurometabola hidup di habitat yang sama dengan dewasanya, dan memiliki bentuk tubuh yang hampir sama kecuali tidak memiliki sayap dan organ reproduksi yang berkembang.

Selama perkembangan, nimfa menunjukkan pertumbuhan bertahap dari tunas sayap (wing buds) yang akan berkembang menjadi sayap fungsional saat dewasa. Karena sayap berkembang di luar tubuh (secara eksternal), serangga ini diklasifikasikan sebagai Exopterygota. Jenis serangga yang mengalami metamorfosis ini antara lain belalang, kecoa, rayap, kepik sejati, tonggeret, dan berbagai jenis hopper seperti wereng. Karena tidak memiliki

tahap pupa, proses perkembangan ini dianggap lebih langsung dan sederhana.

#### 4. Holometabola (Metamorfosis Sempurna / Tidak Langsung)

Holometabola adalah jenis metamorfosis paling kompleks dan dikenal sebagai metamorfosis sempurna, karena melibatkan empat tahap perkembangan yang jelas: telur, larva, pupa, dan dewasa. Serangga dalam kelompok ini mengalami perubahan bentuk dan fungsi tubuh yang sangat drastis antara tahap larva dan dewasa. Contohnya termasuk kupu-kupu, ngengat, kumbang, kutu bubuk, lalat, dan lebah. Larva kupu-kupu dikenal sebagai ulat, dan bentuk serta perilakunya sangat berbeda dari serangga dewasanya.

Larva biasanya tidak memiliki sayap, memiliki mata sederhana, dan struktur mulut yang dirancang untuk makan secara aktif. Beberapa larva memiliki kaki toraks dan kaki tambahan di perut (abdomen), sementara ada juga yang tidak memiliki kaki sama sekali. Pada akhir tahap larva, serangga akan memasuki fase pupa, yang merupakan masa transformasi diam tetapi sangat aktif secara fisiologis, di mana struktur tubuh larva dihancurkan dan dibangun ulang menjadi bentuk dewasa. Karena sayap berkembang secara internal selama tahap pupa, kelompok ini dikategorikan sebagai Endopterygota.

#### 5. Hipermetamorfosis (Hypermetamorphosis)

Hipermetamorfosis adalah bentuk metamorfosis yang sangat unik dan jarang, di mana larva mengalami dua atau lebih bentuk berbeda selama perkembangan. Ini berarti instar pertama dari larva sangat berbeda dari bentuk larva di instar berikutnya, baik dari segi morfologi maupun fungsi. Umumnya, instar pertama berbentuk campodeiform ramping, aktif, dan berkaki panjang yang memungkinkan mobilitas tinggi untuk mencari inang atau makanan.

Pada instar selanjutnya, bentuk larva dapat berubah menjadi scarabaeiform, yaitu bentuk yang gemuk dan kurang aktif, tergantung pada gaya hidup

dan spesiesnya. Contoh serangga dengan hipermetamorfosis adalah kumbang blister (keluarga Meloidae) dari ordo Coleoptera. Adaptasi ini memungkinkan larva untuk menjalani berbagai fungsi penting dalam siklus hidupnya, seperti pencarian inang, mobilisasi, hingga tahap parasitisme atau pemrosesan makanan.

Metamorfosis memiliki peran penting dalam membantu serangga bertahan hidup dan beradaptasi dengan lingkungannya. Proses ini memungkinkan serangga menghadapi kondisi ekstrem melalui fase tidak aktif seperti hibernasi, estivasi, atau diapause. Selain itu, karena eksoskeleton tidak elastis, metamorfosis memungkinkan pertumbuhan tubuh melalui pergantian kutikula secara berkala.

Metamorfosis juga mengurangi persaingan makanan antar individu karena larva dan dewasa biasanya hidup di habitat berbeda dan memiliki pola makan yang berbeda pula. Beberapa serangga menggunakan mimikri dalam tahap tertentu sebagai perlindungan dari predator. Di samping itu, jenis metamorfosis menjadi dasar penting dalam klasifikasi dan taksonomi serangga.

Tahapan Metamorfosis:

### **1. Tahap Telur**

Telur merupakan tahap awal kehidupan serangga dan menjadi fondasi bagi perkembangan embrio. Sebagian besar serangga bersifat ovipar atau bertelur, meskipun ada juga yang ovovivipar atau vivipar. Tahap ini umumnya tidak aktif dan berfungsi utama sebagai perlindungan dan tempat berkembangnya embrio. Energi yang dibutuhkan relatif rendah karena dukungan nutrisi sepenuhnya berasal dari kuning telur (yolk).

Cangkang telur, yang disebut korion (chorion), berperan sebagai pelindung mekanik dan pengatur pertukaran gas. Bentuk, ukuran, dan struktur luar telur sangat beragam dan seringkali menjadi ciri khas spesies tertentu, sehingga penting dalam identifikasi dan taksonomi serangga.

Telur serangga diletakkan pada tempat strategis untuk mendukung kelangsungan hidup larva saat menetas, seperti di jaringan tumbuhan yang menjadi sumber makanan. Dalam studi entomologi, struktur dan penempatan telur menjadi perhatian utama, terutama pada serangga hama pertanian, karena identifikasi dini tahap telur sangat membantu dalam pengendalian populasi.

Contohnya, kutu putih meletakkan telur bertangkai, sedangkan belalang membentuk egg pod di dalam tanah. Beberapa serangga bahkan menyisipkan telur ke dalam jaringan tumbuhan untuk perlindungan dan nutrisi tambahan. Telur dapat berupa tunggal atau dalam bentuk massa telur, dan variasi bentuk seperti bulat, lonjong, bertangkai, hingga berbentuk tong menunjukkan keragaman adaptasi evolusioner.

## **2. Tahap Larva**

Setelah telur menetas, serangga memasuki tahap larva, yang merupakan fase aktif dan penuh pertumbuhan. Larva tidak hanya berperan sebagai pengumpul energi untuk transformasi selanjutnya, tetapi juga sebagai penentu keberhasilan perkembangan menuju dewasa. Pada serangga Endopterygota, tahap ini disebut larva, sementara pada Exopterygota disebut nimfa. Larva mengalami molting beberapa kali sebelum masuk ke fase berikutnya (pupa atau dewasa).

Larva memiliki banyak tipe morfologis, yang menggambarkan adaptasi terhadap lingkungan dan pola makan yang sangat bervariasi. Tipe protopod merupakan bentuk larva paling awal dan belum berkembang sempurna, umumnya ditemukan pada serangga parasit seperti Hymenoptera. Tipe ini memiliki struktur sederhana dan tidak memiliki sistem organ yang utuh.

Larva polipod, seperti pada ulat kupu-kupu, memiliki tubuh silindris dengan segmen toraks dan abdomen yang jelas. Polipod memiliki kaki toraks dan kaki perut (prolegs) yang membantu pergerakan. Beberapa larva jenis ini menunjukkan adaptasi khusus, seperti larva semilooper dan looper, yang bergerak dengan membentuk lengkungan tubuh karena jumlah

prolegs yang terbatas. Larva berbulu memiliki rambut-rambut pelindung sebagai mekanisme pertahanan terhadap predator.

Larva oligopod tidak memiliki kaki perut, namun memiliki kaki toraks yang berkembang baik. Larva ini dibagi menjadi dua tipe: campodeiform (aktif, pipih, predator) dan scarabaeiform (berbentuk “C”, lunak, hidup dalam tanah/kayu, lamban). Perbedaan bentuk ini mencerminkan perbedaan ekologi dan perilaku makan.

Larva apodous (tanpa kaki) umumnya ditemukan pada lalat dan beberapa kumbang.

Berdasarkan perkembangan kepala, larva ini dibedakan menjadi:

- a. Asefalus (tanpa kepala nyata, contoh: larva lalat buah),
- b. Hemisefalus (kepala tereduksi dan tertarik masuk toraks, contoh: larva lalat kuda),
- c. Eucephalous (kepala berkembang sempurna, contoh: larva kumbang merah kelapa). Masing-masing tipe menunjukkan kompleksitas perkembangan dan spesialisasi dalam habitat serta gaya hidup larva.

### **3. Tahap Pupa**

Tahap pupa merupakan fase transisi penting dalam metamorfosis sempurna (holometabola) yang ditandai dengan perubahan struktural besar dari larva menjadi dewasa (imago). Fase ini sering disebut tahap istirahat karena serangga tampak tidak aktif secara fisik; namun, di balik itu terjadi aktivitas biologis kompleks seperti reorganisasi jaringan larva menjadi organ dewasa. Proses ini disebut histolisis (penghancuran jaringan lama) dan histogenesis (pembentukan jaringan baru). Sayap, alat reproduksi, antena, dan kaki dewasa terbentuk selama tahap ini.

Sebagian besar pupa tidak makan dan tidak bergerak, namun terdapat pengecualian seperti pada Neuroptera, di mana pupa dapat sedikit merayap. Tempat pupasi juga bervariasi, bergantung pada spesies dan strateginya

dalam melindungi diri. Ada yang pupasi di dalam tanah (misalnya kumbang), pada permukaan tanaman, atau membentuk struktur pelindung seperti kokon dari benang sutera (contoh: ngengat).

Pupa pada serangga dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur morfologisnya, khususnya dari segi keberadaan rahang (mandibula) dan posisi serta bentuk apendiks seperti kaki dan sayap.

Berdasarkan keberadaan mandibula, dikenal dua jenis pupa. Pupa dektikus (decticous) memiliki rahang aktif yang digunakan oleh imago (serangga dewasa) untuk merobek kokon dan keluar dari pupa. Tipe ini umumnya ditemukan pada serangga dari ordo Neuroptera. Sebaliknya, pupa adektikus (adecticous) tidak memiliki rahang yang berfungsi. Oleh karena itu, imago keluar dari pupa dengan bantuan tekanan dari tubuh atau menggunakan struktur tambahan seperti apendiks. Contoh serangga dengan pupa jenis ini adalah dari ordo Lepidoptera (ngengat dan kupu-kupu) dan Diptera (lalat).

Sementara itu, berdasarkan letak dan bentuk apendiks, terdapat beberapa jenis pupa lainnya. Pupa exarata memiliki kaki dan sayap yang bebas, tidak melekat pada tubuh, sehingga masih memiliki sedikit fleksibilitas gerak. Jenis ini sering dijumpai pada serangga ordo Coleoptera (kumbang). Pupa obtehta (obtect) memiliki kaki dan sayap yang melekat rapat pada tubuh, biasanya direkatkan oleh zat seperti kitin.

Tubuhnya cenderung keras dan tidak fleksibel, serta umum ditemukan pada ngengat dari ordo Lepidoptera. Pupa koarktata (coarctate) merupakan bentuk khusus di mana pupa tertutup dalam struktur pelindung yang disebut puparium, yaitu kulit larva terakhir yang mengeras membentuk kapsul. Contoh umum tipe ini dapat dilihat pada lalat rumah (Diptera). Terakhir, dikenal juga krisalis (chrysalis), yaitu bentuk pupa spesifik dari beberapa kupu-kupu yang merupakan variasi dari obtehta. Krisalis biasanya memiliki warna cerah atau keemasan, dan sering kali menempel pada substrat dengan bantuan batang kecil yang disebut cremaster.

#### 4. Adaptasi Musiman: Diapause dan Dormansi

Untuk mengatasi perubahan musim dan kondisi lingkungan yang ekstrem, serangga memiliki kemampuan adaptif berupa diapause, yakni fase dormansi terprogram. Diapause bukan sekadar tidak aktif, tetapi merupakan respons fisiologis kompleks yang dipicu oleh sinyal lingkungan seperti suhu dan fotoperiode.

Diapause ditandai oleh sejumlah ciri fisiologis yang memungkinkan serangga bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Selama diapause, metabolisme tubuh serangga menurun drastis untuk menghemat energi, sementara konsumsi oksigen dan air juga berkurang secara signifikan, membantu kelangsungan hidup saat terjadi kekeringan atau suhu ekstrem.

Selain itu, kadar nutrien dan hormon dalam tubuh mengalami perubahan, termasuk penurunan hormon pertumbuhan yang berperan dalam menghentikan proses perkembangan. Diapause dapat terjadi pada berbagai tahap kehidupan serangga, mulai dari telur seperti pada kutu, larva seperti pada ngengat, pupa seperti pada kumbang, hingga tahap dewasa seperti pada serangga yang mengalami hibernasi.

Jika diapause terjadi di musim panas karena kekeringan atau suhu tinggi, disebut estivasi. Sedangkan jika terjadi saat musim dingin sebagai bentuk perlindungan terhadap suhu rendah, disebut hibernasi.

#### 5. Tahap Dewasa (Imago)

Tahap imago merupakan fase akhir dalam metamorfosis serangga. Serangga dewasa umumnya memiliki sayap, alat reproduksi fungsional, dan perilaku khas kawin serta bertelur. Aktivitas makan pada tahap ini tergantung spesiesnya: ada yang terus makan (misalnya kumbang), dan ada juga yang tidak makan sama sekali karena hanya hidup untuk bereproduksi (misalnya beberapa jenis kupu-kupu dan lalat).

Imago biasanya lebih mobile, memungkinkan penyebaran ke area baru, pencarian pasangan, dan kolonisasi habitat lain. Struktur tubuh juga

menunjukkan spesialisasi untuk bertahan hidup, seperti warna untuk mimikri atau kamuflase, antenna untuk penciuman, dan alat suara untuk komunikasi (seperti pada tonggeret).

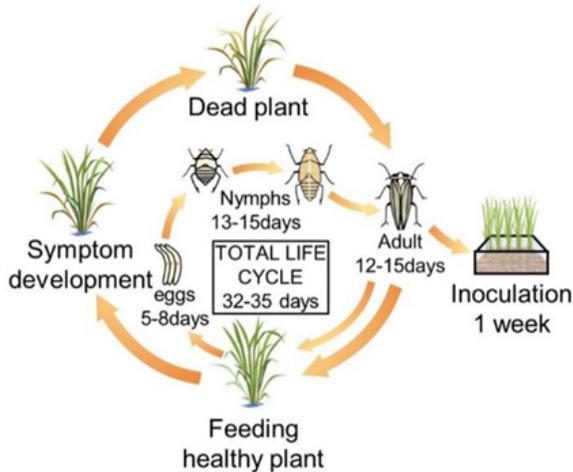
## 6.4 Siklus Hidup Serangga Hama Penting

### 6.4.1 Wereng (*Nilaparvata lugens*)

Wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens*) adalah hama utama tanaman padi yang hidup menetap di daerah tropis sepanjang tahun, namun bermigrasi ke daerah beriklim sedang karena tidak mampu bertahan hidup di musim dingin. Serangga ini mampu melakukan migrasi jarak jauh (sekitar 500 km) yang dibantu angin kencang pada waktu sore hingga malam hari. Disisi lain, sebagai serangga hama penting, *N. lugens* berperan sebagai vektor dua virus tanaman penting, yaitu rice grassy stunt virus (Tymoviridae; Tymovirus) dan rice ragged stunt virus (Reoviridae; Oryzavirus).

Serangga ini memiliki dua bentuk tubuh dewasa: bersayap panjang (macropterus) yang mampu terbang jauh, dan bersayap pendek (brachypterus) yang tinggal di satu tempat (Iamba dan Dono, 2021; Yang et al., 2021). Biasanya, jantan berkembang menjadi yang bersayap panjang, sedangkan betina menjadi bersayap pendek. Jantan dan betina kawin segera setelah dewasa, dan betina langsung mulai bertelur.

Telur biasanya diletakkan di bagian dasar pelepah daun padi, dalam kelompok kecil. Seekor betina dapat bertelur hingga lebih dari 200 butir, tetapi jumlah ini berkurang jika suhu terlalu tinggi. Suhu ideal bagi perkembangan dan kelangsungan hidup wereng ini adalah antara 25–30°C. Pada suhu di atas 33°C, kemampuan bertelur dan umur hidup wereng akan menurun drastis (Gambar 6.2).



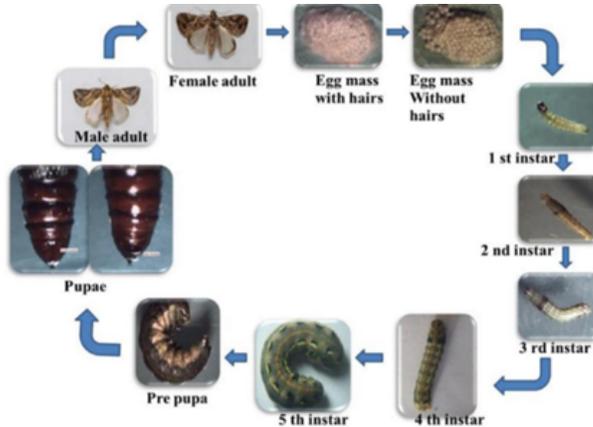
**Gambar 6.2:** Siklus hidup wereng coklat, *Nilaparvata lugens* (Jang, Park dan Kim, 2020)

Siklus hidup wereng ini dimulai dari telur yang menetas dalam 7–9 hari, menghasilkan nimfa yang awalnya berwarna putih dan berubah menjadi coklat dalam waktu singkat. Nimfa ini kemudian melewati lima tahap pertumbuhan sebelum menjadi dewasa, yang berlangsung sekitar 12–15 hari. Umur dewasa berkisar antara 10 hingga 21 hari tergantung kondisi lingkungan.

Kelembaban udara juga memengaruhi kelangsungan hidup, di mana kelembaban sekitar 70% sangat mendukung pertumbuhannya. Kandungan nitrogen dalam daun padi dan jenis varietas padi juga berpengaruh besar terhadap kemampuan bertelur, penetasan telur, umur hidup, dan kecepatan tumbuh wereng (Kumar et al., 2022; Bragard et al., 2023). Wereng menyerang tanaman dengan cara mengisap cairan floem, yang menyebabkan gejala "hopperburn", daun mengering dan tanaman mati (Kang et al., 2022; Ren et al., 2022).

### 6.4.2 Ulat Grayak (*Spodoptera litura*)

*Spodoptera litura* atau yang lebih dikenal dengan ulat grayak merupakan hama polifag yang menyerang berbagai tanaman seperti kedelai, jagung, kapas, dan tembakau. *S. litura* adalah hama penting dari ordo Lepidoptera yang memiliki empat tahap perkembangan dalam siklus hidupnya, yaitu: telur, larva (ulat), pupa (kepompong), dan dewasa (ngengat). Lama waktu dari telur hingga dewasa berkisar antara 28 hingga 36 hari, tergantung suhu dan lingkungan (Gambar 6.3) (Bragard et al., 2019; Fu et al., 2025).



**Gambar 6.3:** Siklus hidup ulat grayak, *Spodoptera litura* (Saraswathi et al., 2023)

#### 1. Tahap Telur

Ngengat betina *S. litura* mulai bertelur dalam waktu 2–5 hari setelah menjadi dewasa. Telur diletakkan berkelompok di bagian bawah daun tanaman inang, dengan jumlah 200–300 butir per kelompok, disusun dalam 1–4 lapisan, dan ditutupi sisik halus berwarna cokelat dari tubuh induk betina untuk melindungi dari pemangsa. Telur yang baru diletakkan berwarna cokelat jingga pucat dan berubah warna menjadi lebih gelap menjelang menetas. Ukuran massa telur antara 4–7 mm, dan masa inkubasi berlangsung selama 2–14 hari tergantung suhu (lebih cepat di suhu

panas, lebih lambat di suhu dingin). Dalam masa hidupnya yang singkat (6–8 hari), betina dapat menghasilkan lebih dari 2.000 telur, sebagian besar pada hari ke-3 atau ke-4 setelah kawin.

## 2. Tahap Larva (Ulat)

Setelah menetas, larva muda (neonata) berwarna hijau pucat dengan kepala hitam dan rambut halus. Seiring pertumbuhan, warna tubuh berubah dari hijau muda menjadi hijau gelap atau cokelat, dengan garis kuning cerah di punggung dan bercak gelap khas di sisi tubuh. Larva mengalami 5 hingga 7 instar (fase pertumbuhan), dan tahapan ini berlangsung selama 13–27 hari, tergantung suhu dan musim. Ulat muda hanya memakan bagian lunak daun, sedangkan ulat yang lebih tua mampu memakan bagian keras seperti tulang daun. Larva aktif makan di malam hari dan bersembunyi di tanah di siang hari. Pada instar ke-4 dan seterusnya, larva dapat berkumpul dan berpindah dalam kelompok besar (seperti "tentara") dari satu tanaman ke tanaman lain. Larva siap berubah menjadi pupa biasanya membentuk posisi seperti huruf "C".

## 3. Tahap Pupa (Kepompong)

Larva yang sudah dewasa menggali tanah dan berubah menjadi pupa di dalam tanah. Pupa berwarna cokelat kemerahan sampai cokelat tua, panjangnya sekitar 15–20 mm, dan memiliki dua duri kecil di bagian ujung tubuh. Fase pupa berlangsung sekitar 7–12 hari, tergantung suhu. Pada suhu 25°C, ngengat dewasa akan muncul setelah 12 hari. Tidak ada tahap dorman (tidur panjang) dalam siklus hidup *S. litura*, sehingga serangga ini dapat terus berkembang sepanjang tahun di wilayah tropis.

#### 4. Tahap Dewasa (Ngegat)

Ngegat dewasa memiliki panjang tubuh sekitar 15–20 mm. Sayap depan berwarna abu-abu hingga coklat kemerahan dengan pola mozaik, sedangkan sayap belakang berwarna putih keperakan. Jantan biasanya memiliki warna yang lebih mencolok daripada betina. Ngegat betina mampu kawin 3–4 kali selama hidupnya, dan mulai kawin setelah malam pertama keluar dari pupa. Betina menarik jantan menggunakan feromon (zat kimia pemikat). Namun, jika betina *S. litura* kawin dengan jantan dari spesies saudara dekat seperti *S. littoralis*, telur yang dihasilkan tidak menetas.

#### 5. Perkembangan dan Penyebaran

Kecepatan perkembangan *S. litura* sangat dipengaruhi oleh suhu. Semakin hangat, semakin cepat pertumbuhan *S. litura* dapat berkembang. Dibutuhkan antara 526–625 derajat-hari (day-degree) untuk menyelesaikan siklus dari telur hingga dewasa yang dapat bertelur.

# Bab 7

## Siklus Hidup Patogen Penyakit Tanaman

### 7.1 Pendahuluan

Siklus hidup patogen penyakit tanaman merupakan rangkaian tahapan biologis yang dilalui oleh patogen. Setiap jenis patogen baik itu jamur, bakteri, virus, nematoda memiliki tahapan hidup yang khas namun umumnya mengikuti pola yang serupa, yaitu dimulai dari sumber inokulum, penyebaran ke tanaman inang, infeksi, reproduksi, hingga bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Pemahaman mengenai siklus hidup ini penting sebagai dasar dalam pengembangan strategi pengendalian penyakit secara efektif, efisien dan ramah lingkungan.

## 7.2 Sumber Inokulum

Inokulum adalah struktur tubuh dari patogen yang dapat menyebabkan infeksi pada tanaman. Tipe inokulum dari patogen nematoda yaitu telur, larva, dan imago. Inokulum jamur berupa spora seksual dan aseksual, potongan hifa/miselium, sklerotia, rizomorf. Inokulum bakteri yaitu sel bakteri, sel fitoplasma dan inokulum virus yakni partikel virus atau viroid (Sinaga, 2023). Sumber inokulum merupakan titik awal dalam siklus hidup patogen yang menentukan potensi awal infeksi pada tanaman.

Inokulum ini berasal dari berbagai tempat, termasuk sisa-sisa tanaman terinfeksi di musim sebelumnya, benih atau bibit yang terkontaminasi, tanah yang mengandung struktur bertahan hidup seperti sklerotia atau spora dorman, air irigasi, serangga pembawa patogen dan gulma yang berfungsi sebagai inang alternatif. Keberadaan sumber inokulum yang melimpah di awal musim tanam meningkatkan risiko epidemi penyakit secara signifikan.

Bramasta et al., (2023) menemukan empat jenis nematoda parasit (*Pratylenchus* sp, *Rotylenchulus* sp, *Helicotylenchus* sp, *Trichodorus* sp) di sekitar perakaran tanaman kentang. Area hizosper merupakan sumber inokulum patogen nematoda tersebut. Hulupi (2006) mengisolasi nematoda *R. similis* Cobb dari akar tanaman pisang, jeruk, dan kopi yang merupakan sumber inokulum penyakit tanaman tersebut.

Nuryanto et al., (2010) mengemukakan bahwa sklerotium dan misellium *R. solani* dari serasah jerami sebagai sumber inokulum awal penyebab penyakit hawar upih pada tanaman padi. Menurut Wenas et al., (2016) kejadian penyakit layu bakteri tanaman kentang disebabkan ketersediaan sumber inokulum bakteri *Ralstonia solanacearum* yang berasal dari sisa tanaman sakit sebelumnya. Ladja (2013) menguji empat jenis gulma di sawah yang menjadi inang alternatif bagi sumber inokulum RTBV (*Rice Tungro Bacilliform virus* penyebab penyakit tungro padi).

Sumber inokulum dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu inokulum primer dan inokulum sekunder. Inokulum primer adalah yang

menyebabkan infeksi awal pada tanaman sehat dan sering kali bertanggung jawab atas dimulainya epidemi. Sementara itu, inokulum sekunder dihasilkan dari infeksi primer dan berperan dalam penyebaran penyakit selama musim tanam berlangsung.

Keberadaan inokulum sekunder mempercepat laju penyebaran penyakit dan memperburuk tingkat keparahan serangan. Oleh karena itu, strategi pengendalian penyakit tanaman sering kali difokuskan pada pengurangan sumber inokulum melalui sanitasi lahan, penggunaan benih sehat, rotasi tanaman, serta pemusnahan tanaman inang alternatif.

## 7.3 Inokulasi dan Penetrasi

Inokulasi adalah proses dimana inokulum patogen mencapai dan menempel pada permukaan tanaman inang. Keberhasilan inokulasi sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan (seperti kelembapan dan suhu), keberadaan luka pada tanaman, serta interaksi antara permukaan tanaman dan struktur infeksi patogen. Handayani et al., (2013) mengemukakan inokulasi nematoda *Meloidogyne* sp pada permukaan umbi bawang menimbulkan gejala awal penyakit busuk pangkal bawang putih setelah 35 hari tanam.

Soenartiningih et al., (2015) bahwa sklerotium *Rhizoctonia solani* bertahan hidup di dalam tanah maupun sisa tanaman dan mampu melakukan proses inokulasi sejak di permukaan biji yang baru ditanam ataupun di bagian lain tubuh tanaman jagung sehingga menyebabkan penyakit busuk pelepah.

Hasil penelitian Khaeruni et al., (2014) bahwa inokulasi *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* terjadi pada permukaan benih maupun daun tanaman padi fase persemaian maupun vegetatif mampu mempercepat perkembangan penyakit hawar daun bakteri tanaman padi. Menurut Priwiratama et al., (2012) inokulasi virus menggunakan vektor serangga

yang hinggap dan makan dipermukaan daun tanaman cabai berumur 3 – 6 MST menghasilkan keparahan penyakit daun kuning keriting tinggi.

Selanjutnya, patogen melakukan penetrasi untuk masuk ke dalam jaringan tanaman. Mekanisme penetrasi dapat berlangsung secara pasif melalui lubang alami (stomata, hidatoda, atau lentisel) atau luka, maupun secara aktif dengan menghasilkan enzim penghancur dinding sel tanaman. Penetrasi dapat terjadi melalui mekanisme fisik atau kimiawi. Adnan (2008) mengemukakan bahwa patogen nematoda parasit penetrasi secara mekanik menggunakan stilet dan enzimatik yang disekresikan oleh kelenjar esofagus untuk dapat menerobos dinding sel tanaman inang.

Sebagai contoh nematoda parasit akar memproduksi selulase, pektinase, dan proteolitik untuk merusak dinding sel tanaman. Menurut Sinaga (2003) umumnya patogen jamur melakukan penetrasi dengan membentuk tabung kecambah pada permukaan tanaman inang yang diikuti dengan pembentukan appressorium untuk menembus kutikula dan dinding sel tanaman secara mekanis atau melalui proses degradasi enzimatik. Penetrasi jamur baik secara tekanan mekanik maupun melalui lubang alami tanaman inang. Sebagai contoh *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* masuk melalui lubang alami yang terbuka maupun tertutup dengan membentuk kapak penetrasi yang menembus sel tanaman.

Bakteri patogen penetrasi ke dalam tanaman inang baik secara pasif dan aktif, biasanya masuk melalui lubang alami yang terbuka yaitu stomata, hidatoda dll. Berdasarkan penelitian Yuniti (2006) bakteri *Liberobacter asiaticum* dapat berada pada bagian stilet serangga dan penetrasi ke tanaman ketika vektor serangga mengisap daun yang menyebabkan penyakit CVPD tanaman jeruk. bakteri dan beberapa jamur menghasilkan enzim seperti selulase, pektinase, dan ligninase untuk melunakkan jaringan tanaman dan mempermudah masuknya patogen.

Virus umumnya tidak mampu melakukan penetrasi sendiri, melainkan membutuhkan bantuan vektor seperti serangga untuk menginjeksi partikel virus langsung ke dalam sel tanaman. Keberhasilan proses inokulasi dan penetrasi menentukan apakah infeksi dapat berlangsung atau tidak,

sehingga tahap ini menjadi sasaran penting dalam strategi perlindungan tanaman, seperti pelapisan benih dengan agen antimikroba, pemanfaatan varietas tahan, atau pengendalian vektor pembawa patogen.

## 7.4 Infeksi dan Kolonisasi

Infeksi dan kolonisasi merupakan tahap lanjutan setelah patogen berhasil melakukan penetrasi ke dalam jaringan tanaman. Infeksi ditandai dengan kemampuan patogen untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan internal tanaman dan mulai mendapatkan makanan dan berkembang biak. Pada tahap ini, patogen mulai mengganggu proses fisiologis tanaman dengan mengubah metabolisme inang untuk mendukung pertumbuhan dan reproduksinya. Infeksi patogen dapat terjadi secara lokal maupun secara sistemik ke seluruh bagian tanaman.

Menurut Adnan (2008) patogen nematoda menginfeksi tanaman dengan tujuan menyerap nutrisi dari sel – sel hidup bagian tanaman, contohnya *Pratylenchus spp*, *Radopholus similis*, *Aphelenchoides*, *D. Dipsaci* dapat memakan sel – sel epidermis akar hingga menimbulkan kerusakan jaringan tanaman. Patogen jamur menggunakan enzim – enzim untuk mengubah isi sel inang menjadi senyawa sederhana yang dapat diserap oleh jamur tersebut. Patogen bakteri biasanya mengeluarkan enzim dan toksin yang dapat merusak jaringan tanaman, sedangkan virus mengambil alih sistem genetika sel inang untuk menggandakan dirinya. Keberhasilan infeksi sangat tergantung pada interaksi antara faktor virulensi patogen dan tingkat ketahanan tanaman inang.

Setelah infeksi berhasil, patogen akan tumbuh dan menyebar ke jaringan lain dalam proses yang disebut kolonisasi. Kolonisasi bisa berlangsung secara lokal, terbatas pada jaringan tempat infeksi awal, atau sistemik, menyebar melalui pembuluh xilem atau floem ke seluruh bagian tanaman. Adnan (2008) mengemukakan nematoda parasit menginfeksi sel tanaman selanjutnya pindah ke sel di dekatnya atau ke arah longitudinal dan

meletakkan telur dalam jaringan hingga menetas sehingga terjadi kolonisasi. Larva dan dewasa berkolonisasi ke sel / jaringan sehat hingga terjadi kerusakan tanaman.

Agrios (2005) Kolonisasi nematoda dan bakteri secara interseluler dan intraseluler di dalam jaringan tanaman. Sinaga (2023) patogen bakteri penyebab penyakit layu seperti *Ralstonia solanacearum* menyebar secara intraseluler melalui xylem atau terbawa secara pasif dalam aliran transpirasi, menyebabkan penyumbatan aliran air dan nutrisi yang berujung pada layunya tanaman. Kolonisasi jamur patogen terjadi di permukaan maupun di dalam jaringan tanaman, contohnya jamur *Phytophthora* sp dapat mengkolonisasi inangnya secara intraseluler dan interseluler.

*Phytophthora* sp menghasilkan enzim pektolitik yang merusak lamela tengah sel inang sehingga mendukung kolonisasi jamur di dalam sel dan antar sel. Patogen virus melakukan kolonisasi secara intraseluler pada sel epidermis, jaringan pembuluh dan bergerak antar sel melalui plasmodesmata. Kolonisasi yang meluas memperburuk kondisi fisiologis tanaman dan mempercepat munculnya gejala penyakit.

Tahap ini juga berperan dalam pembentukan inokulum sekunder yang menjadi sumber penyebaran lebih lanjut, sehingga pemahaman terhadap mekanisme infeksi dan kolonisasi sangat penting dalam pengembangan strategi pengendalian yang tepat sasaran.

## 7.5 Gejala Penyakit Tanaman

Gejala penyakit tanaman adalah perubahan morfologis atau fisiologis yang muncul sebagai respons tanaman terhadap infeksi patogen. Gejala ini menjadi indikator awal adanya gangguan kesehatan tanaman dan dapat terlihat dalam berbagai bentuk, seperti klorosis (daun menguning), nekrosis (kematian jaringan), bercak daun, layu, busuk akar, atau pertumbuhan abnormal seperti kerdil dan pengeritingan daun.

Jenis dan intensitas gejala sangat bergantung pada jenis patogen, organ tanaman yang terinfeksi, serta ketahanan tanaman terhadap serangan tersebut. Meskipun gejala dapat digunakan sebagai petunjuk awal dalam identifikasi penyakit, sering kali diperlukan analisis lanjutan untuk memastikan penyebab pasti, karena gejala yang serupa juga dapat disebabkan oleh faktor abiotik seperti kekurangan hara atau stres lingkungan.

Adnan (2008) infeksi nematoda patogen menimbulkan abnormalitas pertumbuhan tanaman, contohnya *Meloidogyne* spp menyebabkan gejala nekrosis akar dan puru akar, pembentukan sel raksasa memberi tekanan pada xylem sehingga sel pembuluh pecah dan terdesak dan salah tempat. Akibatnya transportasi air melalui pembuluh terganggu sehingga terhambat pertumbuhan bahkan kematian tanaman. *Radopholus similis*, *Pratylenchus* sp, *Aphelenchoides* sp menimbulkan gejala nekrosis dan kerusakan tanaman inang secara luas.

Jamur patogen menyebabkan gejala penyakit yang beragam, seperti bercak daun, layu, hawar, kanker, rebah kecambah, busuk batang, busuk akar, antraknosa, kudis dll. Penyakit Layu fusarium oleh *Fusarium oxysporum* yang menginfeksi dan kolonisasi jaringan pembuluh sehingga menyumbat transport air dan unsur hara tanaman mengakibatkan terhambat pertumbuhan dan kematian tanaman.

Adam et al., (2023) gejala penyakit hawar pelepah disebabkan oleh jamur *Rhizoctonia solani* menginfeksi bagian pelepah, batang hingga ke tongkol pada tanaman jagung varietas Lamuru. Nasrun et al., (2007) melakukan karakteristik fisiologis bakteri patogen *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu tanaman nilam yang diawali dengan gejala layu pada daun pucuk, diikuti dengan nekrotik/ pembusukan akar dan pangkal batang. Hal ini diakibatkan adanya massa bakteri yang menyumbat jaringan pembuluh tanaman nilam mengakibatkan gejala layu bakteri dan kematian tanaman.

Gejala penyakit yang disebabkan oleh bakteri lainnya seperti kudis, hawar daun, bercak, busuk, malformasi organ tanaman, kanker. Putra et al., (2015) mengidentifikasi virus patogen geminivirus pada tanaman cabai yang

menimbulkan gejala mosaik, kuning dan klorosis. Partikel virus mengurangi merusak kloroplas dan mengurangi klorofil sehingga terhambat proses fotosintesis tanaman yang berakibat pada pertumbuhan tanaman yang abnormal. Adapun gejala penyakit tanaman terinfeksi virus yakni kerdil, keriting, daun menggulung, tumor, mottle dll.

## 7.6 Reproduksi dan Penyebaran Patogen

Reproduksi dan penyebaran patogen penyakit tanaman merupakan proses biologis yang sangat menentukan tingkat keparahan dan cakupan infeksi suatu penyakit di lahan pertanian. Patogen seperti jamur, bakteri, virus, dan nematoda memiliki mekanisme reproduksi yang beragam, baik secara seksual maupun aseksual, yang memungkinkan mereka berkembang biak dengan cepat dalam kondisi lingkungan yang mendukung. Adnan (2008) nematoda memiliki tipe reproduksi hermaphrodit, amphimiksis, dan parthenogenesis.

Nematoda menghasilkan telur dan umumnya mengalami 4 kali ganti kulit, 4 fase larva dan kemudian dewasa. Beberapa nematoda bertelur di permukaan tanaman maupun di dekat tanaman inang. Menurut Agrios (2005) jamur patogen bereproduksi secara seksual atau pembelahan secara meiospora dan aseksual atau pembelahan secara mitospora, umumnya hifa jamur dari satu koloni atau koloni yang berdekatan bisa menyatu, dan proses ini disebut anastomosis hifa. Jika hifa yang menyatu membawa inti sel yang berbeda secara genetik, maka koloni baru yang terbentuk disebut heterokarion.

Tapi, banyak jamur memiliki mekanisme alami yang mencegah penyatuan jika sel-sel tersebut terlalu mirip secara genetik. Jika dua hifa dari strain berbeda tetapi memiliki tipe reproduksi yang sama bertemu, biasanya tidak bisa menyatu dan akan mengalami ketidakcocokan vegetatif. Bakteri patogen bereproduksi secara aseksual atau pembelahan biner, proses

reproduksi terjadi secara cepat di dalam sel-sel maupun jaringan xylem dan floem tanaman inang. Virus patogen hidup dan bereplikasi hanya di dalam sel tanaman inang.

Adnan (2008) Nematoda menyebar secara aktif maupun pasif sehingga mengikuti pola distribusi dasar yaitu seragam, acak dan kelompok mengikuti distribusi akar sebab berhubungan dengan sumber makanan. Nematoda dapat menyebar melalui hembusan angin, perantara benih dan alat – alat pertanian. Jamur patogen dapat tersebar melalui udara, air hujan, percikan air, benih, alat dan bahan pertanian, atau serangga vektor, sehingga mampu menginfeksi tanaman dalam waktu singkat dan pada jarak yang cukup luas.

Penelitian Zulaika et al., (2018) tentang keparahan penyakit blas tanaman padi disebabkan oleh patogen *Pyricularia oryzae* yang berasal dari sumber inokulum sisa tanaman benih hasil panen dapat berpotensi membawa patogen tersebut. Bakteri dapat menyebar melalui luka tanaman, angin, benih, air irigasi, percikan air hujan, atau kontak langsung antar tanaman. Sudir & Wirajaswadi (2014) mengemukakan bahwa sebaran penyakit hawar daun bakteri yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dipengaruhi oleh kondisi genangan air yang terus menerus mendukung dalam perkembangan patogen penyakit tanaman tersebut.

Sementara virus tidak memiliki kemampuan bergerak sendiri dan sangat bergantung pada vektor hidup seperti serangga, khususnya kutu daun, thrips, wereng, dan lalat putih, yang membawa virus dari tanaman terinfeksi ke tanaman sehat dan dapat menular melalui perantara benih. Fiddin et al., (2021) mendeteksi penyebaran penyakit tungro di lahan tanaman padi disebabkan oleh adanya vektor serangga wereng hijau yang menularkan inokulum virus tungro pada tanaman padi.

Kecepatan dan efisiensi penyebaran ini menjadikan pengelolaan penyakit tanaman harus dilakukan secara terpadu dan preventif, termasuk melalui penggunaan benih sehat, sanitasi lahan, rotasi tanaman, serta pengendalian vektor penyebar patogen.

## 7.7 Dormansi dan Survival

Dormansi merupakan fase istirahat atau tidak aktif dalam siklus hidup patogen tanaman yang memungkinkan mereka bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Selama fase ini, patogen tidak menunjukkan aktivitas pertumbuhan atau infeksi, namun tetap hidup dalam bentuk struktur khusus seperti spora (contohnya klamidospora pada jamur), sklerotia, mikrosklerotia, sista nematoda atau bahkan sebagai bentuk laten dalam jaringan tanaman inang. Dormansi sangat penting bagi patogen untuk bertahan hidup selama musim tanam tidak berlangsung atau saat kondisi seperti suhu ekstrem, kekeringan, atau ketiadaan inang menghambat aktivitas infeksi.

Survival atau ketahanan hidup patogen mencakup kemampuan patogen untuk tetap hidup dalam jangka waktu lama di luar inangnya dan menjadi sumber inokulum utama pada musim tanam berikutnya. Patogen dapat bertahan di dalam tanah, sisa-sisa tanaman, benih, atau vektor serangga. Beberapa bakteri dan jamur bahkan mampu membentuk biofilm atau struktur pelindung yang memperpanjang masa hidupnya di lingkungan yang keras. Mekanisme survival ini menentukan keberhasilan infeksi ulang, kecepatan penyebaran penyakit, serta efektivitas strategi pengendalian penyakit tanaman.

# Bab 8

## Faktor Lingkungan Dalam Perkembangan Hama Dan Penyakit

### 8.1 Pendahuluan

Faktor lingkungan dianggap berperan penting dalam perkembangan hama dan penyakit. Bahkan, meskipun terdapat inang yang rentan dan patogen yang virulen di suatu wilayah, kondisi lingkungan tetap menjadi faktor penentu utama. Perkembangan hama dan penyakit tanaman dipengaruhi oleh faktor lingkungan biotik dan abiotik. Faktor-faktor ini dapat menciptakan kondisi yang mendukung atau menghambat populasi perkembangan hama dan penyakit tanaman. Dalam konteks perubahan iklim, dinamika lingkungan semakin kompleks, dengan meningkatnya frekuensi kejadian ekstrem yang berpotensi mempercepat perkembangan dan penyebaran hama dan penyakit tanaman.

Keterkaitan faktor lingkungan dengan perkembangan hama dan penyakit menjadi semakin penting, terutama dalam sektor pertanian dan peternakan yang sangat bergantung pada kestabilan ekosistem. Untuk memahami bagaimana variabel lingkungan memengaruhi siklus hidup, perkembangan, dan tingkat infestasi hama serta patogen, serta bagaimana strategi mitigasi dapat dikembangkan untuk mengurangi dampak negatifnya. Perubahan lingkungan memiliki dampak signifikan terhadap pola sebaran dan intensitas serangan hama serta patogen.

Pemanasan global telah menyebabkan perubahan suhu dan pola curah hujan, yang pada gilirannya memengaruhi siklus hidup hama, vektor, dan patogen tanaman. Selain itu, praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, seperti monokultur, pemupukan, dan penggunaan pestisida yang berlebihan, juga turut berkontribusi terhadap peningkatan resistensi hama dan munculnya strain patogen baru.

Sebagai respons terhadap tantangan ini, diperlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana faktor lingkungan memengaruhi perkembangan hama dan penyakit. Selanjutnya Nurhayati (2011) menyatakan bahwa perkembangan penyakit tanaman membutuhkan unsur lingkungan berupa komponen ruang, lingkungan fisik, lingkungan fisik-kimia dan lingkungan biotik serta waktu, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Bab ini membahas secara singkat tentang faktor lingkungan biotik berpengaruh terhadap perkembangan hama dan penyakit tanaman dan lebih menitik beratkan kepada pembahasan bagaimana faktor lingkungan abiotik (suhu, kelembaban, curah hujan, tanah, pemanasan, kekeringan, dan polusi) yang memengaruhi perkembangan hama dan penyakit tanaman, serta dampak perubahan iklim dan pergeseran pola serangan hama dan penyakit di berbagai ekosistem pertanian.

Adapun tujuan penulisan bab ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan biotik dan abiotik yang berkontribusi terhadap perkembangan hama dan penyakit tanaman dan menganalisis bagaimana perubahan iklim memengaruhi dinamika hama dan penyakit.

## 8.2 Faktor Biotik

Faktor biotik dalam lingkungan pertanian mencakup semua makhluk hidup yang berinteraksi dengan tanaman, termasuk mikroorganisme, serangga, gulma, dan organisme lain yang dapat memengaruhi pertumbuhan serta kesehatan tanaman. Faktor biotik dapat berperan sebagai agen penyebar penyakit, kompetitor sumber daya, maupun pemangsa alami bagi hama dan patogen tanaman.

Interaksi antara tanaman dan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan virus dapat bertindak sebagai patogen yang menyebabkan penyakit pada tanaman. Sebagai contoh, *Phytophthora infestans*, agen penyebab penyakit busuk daun pada kentang, berkembang lebih cepat ketika terdapat interaksi yang kompleks antara patogen dan tanaman inangnya (Fry, 2008). Selain itu, beberapa mikroba bersifat antagonis terhadap patogen, seperti *Trichoderma* spp., yang dapat menekan pertumbuhan jamur patogen melalui kompetisi ruang dan sumber daya (Harman et al., 2004).

Selain itu peran serangga sebagai Vektor penyakit tidak hanya menyebabkan kerusakan langsung melalui aktivitas makan, tetapi juga dapat bertindak sebagai vektor penyakit tanaman. Misalnya, kutu kebul (*Bemisia tabaci*) diketahui menjadi vektor virus gemini yang menyerang berbagai tanaman pertanian, seperti tomat dan cabai. Pola interaksi ini menunjukkan bahwa pengendalian hama secara tidak langsung juga berkontribusi dalam pengelolaan penyakit tanaman.

Kompetisi dengan inang alternatif seperti gulma dapat menjadi tempat berkembang biaknya hama dan patogen sebelum menyerang tanaman budidaya. Beberapa gulma seperti *Echinochloa crus-galli* dapat menjadi inang alternatif bagi serangga hama seperti wereng coklat (*Nilaparvata lugens*), yang menyebabkan kerusakan serius pada tanaman padi. Dengan demikian, pengelolaan gulma merupakan strategi penting dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman.

Selanjutnya predator dan parasit sebagai pengendali hama dapat bertindak sebagai agen pengendali alami bagi hama tanaman. Misalnya, kumbang

Coccinellidae (kepik) memangsa kutu daun yang merupakan vektor virus tanaman, sehingga membantu menekan populasi hama (Obrycki & Kring, 1998). Keberadaan predator alami dalam suatu ekosistem pertanian dapat mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimia yang berpotensi merusak lingkungan (Tabel 8.1)

**Tabel 8.1:** Pengaruh Faktor Biotik terhadap Perkembangan hama dan penyakit tanaman

Faktor Biotik	Hama dan Penyakit Tanaman	Mekanisme Pengaruh
Patogen	<i>Pseudomonas syringae</i>	Menghasilkan toksin coronatine yang mengganggu jalur sinyal jasmonat, menekan gen pertahanan tanaman, dan meningkatkan infeksi (Wasternack & Hause , 2013)
Tanaman inang alternatif	Gulma atau tanaman liar	Menjadi reservoir patogen, memperpanjang siklus hidup patogen, dan meningkatkan tekanan inoculum (Plantegenest at al., 2007)
Mikroorganisme tanah	<i>Bacillus, Pseudomonas</i>	Menghasilkan metabolit sekunder (misalnya fenazin) yang menghambat patogen dan meningkatkan ketahanan tanaman (Kim et al, 2011)
Vektor	Serangga seperti kutu daun	Menyebarkan patogen melalui aktivitas makan atau pergerakan antar tanaman (West, 2014)

Faktor biotik lingkungan memainkan peran penting dalam menentukan dinamika populasi hama dan penyakit tanaman. Interaksi antara patogen, vektor penyakit, gulma, dan agen pengendali alami membentuk keseimbangan ekosistem pertanian yang kompleks. Oleh karena itu, strategi pengelolaan hama dan penyakit yang berkelanjutan perlu mempertimbangkan faktor biotik ini untuk mengoptimalkan hasil pertanian tanpa merusak lingkungan.

## 8.3 Faktor Abiotik

Faktor abiotik merupakan komponen lingkungan seperti suhu, kelembaban, curah hujan, cahaya, dan kualitas tanah yang dapat mempengaruhi perkembangan hama dan penyakit tanaman (Agrios, 2005). Perubahan kondisi abiotik dapat meningkatkan atau menekan populasi hama dan patogen tanaman yang pada akhirnya berdampak pada produktivitas tanaman. Berikut ini diberikan contoh komponen faktor abiotik yang berdampak terhadap hama dan penyakit tanaman (Tabel 8.2).

**Tabel 8.2:** Faktor Abiotik Terhadap Hama dan Penyakit Tanaman

Faktor abiotik	Dampak terhadap hama tanaman	Dampak terhadap penyakit tanaman
Suhu	Peningkatan suhu mempercepat siklus hidup hama seperti kutu daun dan wereng (Deutsch et al., 2018). Suhu tinggi dapat mengurangi efektivitas musuh alami (Hoffmann et al., 2021).	Suhu tinggi mempercepat perkembangan patogen seperti jamur dan bakteri (Garrett et al., 2006). Suhu rendah dapat memperpanjang masa inkubasi penyakit (Bebber, 2015).
Kelembaban Udara	Kelembaban tinggi mendukung perkembangan hama seperti thrips dan tungau (Reynolds et al., 2016). Kelembaban rendah menghambat perkembangan beberapa hama penghisap (Bale et al., 2002).	Kelembaban tinggi meningkatkan infeksi jamur seperti <i>Phytophthora</i> dan <i>Fusarium</i> (Agrios, 2005). Kelembaban rendah dapat mengurangi aktivitas beberapa patogen (Mendes et al., 2011)
Curah Hujan	Curah hujan tinggi dapat mencuci telur dan nimfa hama dari tanaman, serta hujan lebat dapat menyebabkan hama tanah naik ke permukaan (Jactel et al., 2019).	Hujan mendukung penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air seperti hawar daun bakteri ( <i>Xanthomonas</i> ), serta kelembaban akibat hujan mendukung infeksi patogen jamur (Mendes et al., 2011).
Angin	Angin kuat dapat membantu penyebaran hama seperti wereng	Penyebaran spora jamur dan bakteri melalui angin, misalnya

	dan belalang (Van Lenteren, 2012). Angin kencang dapat menghambat serangan hama dengan merusak habitatnya (Bale et al., 2002).	<i>Puccinia</i> (karat daun) dan <i>Alternaria</i> (Agrios, 2005). Paparan angin memperlambat waktu perkembangan hama <i>Plutella xylostella</i> dan <i>Pieris brassicae</i> pada tanaman <i>Brassica nigra</i> serta saling memengaruhi interaksi ke dua hama tersebut (Bjorkman & Bylund, 2028).
Cahaya Matahari	Intensitas cahaya tinggi dapat mengurangi aktivitas beberapa hama seperti ulat (Dixon et al., 2005). Cahaya rendah dapat meningkatkan aktivitas hama yang aktif di malam hari (Jactel et al., 2019).	Sinar UV dapat menekan perkembangan spora patogen tertentu (Hoffmann et al., 2021). Naungan yang berlebihan dapat meningkatkan kelembaban mikro, mendukung perkembangan penyakit jamur (Garrett et al., 2006).
pH Tanah	pH ekstrem dapat menghambat perkembangan serangga tanah tertentu (Harman et al., 2004). pH rendah dapat meningkatkan toksisitas logam berat bagi beberapa hama tanah (Mendes & Stevani, 2010).	pH yang tidak sesuai dapat meningkatkan atau menekan pertumbuhan patogen tanah seperti <i>Pythium</i> dan <i>Rhizoctonia</i> (Mendes et al., 2013). pH netral lebih mendukung keseimbangan mikroorganisme tanah yang menghambat patogen (Agrios, 2005).

### 8.3.1 Suhu dan Perubahan Musim

Suhu merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi terjadinya dan perkembangan banyak penyakit. Sebagian besar penyakit jamur lebih parah pada suhu rendah dan penyakit bakteri lebih parah pada suhu yang sedikit lebih tinggi daripada penyakit jamur. Namun, suhu menjadi lebih berbahaya ketika suhu menyimpang dari tingkat optimal. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta tingkat keparahan penyakit secara langsung dipengaruhi oleh stres suhu yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Interaksi tiga bagian antara patogen, vektor dan tanaman inang, suhu sangat memengaruhi perkembangan penyakit terutama untuk virus.

Suhu dapat memengaruhi kelangsungan hidup inokulum dan vektor dengan menurunkan jumlahnya. Dampak suhu terhadap patogen terjadi pada berbagai tahap patogenesis, seperti perkecambahan spora, penetrasi ke inang, pertumbuhan, reproduksi, serangan terhadap inang, atau proses sporulasi. Jika suhu berada dalam kisaran yang mendukung, patogen dapat menyelesaikan siklus penyakitnya dalam waktu singkat, sehingga tetap berpotensi memicu perkembangan epidemi (Agrios, 2005).

Suhu dapat memengaruhi inkubasi atau periode laten, waktu generasi, dan periode menular patogen. Di bawah kondisi dingin, kemajuan epidemi biasanya lebih lambat sehingga kejadian penyakit ditingkat keparahan mungkin tidak mencapai ambang batas yang diperlukan untuk menyebabkan hilangnya tanaman yang signifikan.

Perubahan suhu, pola curah hujan, dan peningkatan kejadian cuaca ekstrem telah mengubah ekologi dan dinamika populasi hama dan penyakit tanaman (OPT), vektor penyakit, serta patogen yang menyerang tumbuhan. Pergeseran ini tidak hanya berdampak pada sektor pertanian dan peternakan tetapi juga mengancam ketahanan pangan dan keanekaragaman hayati. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pemanasan global memperluas habitat berbagai hama dan patogen ke wilayah yang sebelumnya tidak mendukung keberadaannya (Bebber, 2015).

Hama seperti serangga herbivora, yang sebelumnya terbatas pada daerah tropis dan subtropis, kini semakin sering ditemukan di wilayah yang lebih tinggi atau lintang yang lebih utara dan selatan (Deutsch et al., 2018). Patogen lain yang juga berkembang pesat di bawah temperatur optimum inang dan patogennya adalah *Gibberella zeae* penyebab penyakit busuk akar pada tanaman jagung (Nurhayati, 2011). Lebih lanjut Hartono et al. (2024) melaporkan fluktuasi suhu dan kelembaban udara sangat memengaruhi perkembangan serangan penyakit hawar daun kentang oleh *Phytophthora infestans* di Kabupaten Bandung dan Garut.

Dalam pertanian, hama seperti kutu daun (*Aphis* spp.) dan ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) telah memperluas wilayah invasinya akibat suhu

yang lebih hangat (IPCC, 2023). Penyakit tanaman seperti karat daun gandum yang disebabkan oleh *Puccinia graminis* dan hawar daun kentang oleh *Phytophthora infestans* juga mengalami pergeseran distribusi (Chaloner et al., 2021). Pergeseran distribusi hama dan penyakit berdampak signifikan terhadap produksi pertanian.

Serangan hama di wilayah baru dapat menyebabkan kehilangan hasil panen yang tidak terduga, memengaruhi ketersediaan pangan, dan meningkatkan biaya pengendalian OPT. Di sisi lain, upaya mitigasi seperti penerapan biosekuriti, pengembangan varietas tahan hama, dan peningkatan sistem surveilans penyakit perlu diperkuat guna mengantisipasi dampak negatif dari pergeseran ini.

### 8.3.2 Kelembaban dan Curah Hujan

Istilah kelembaban mencakup berbagai aspek seperti curah hujan, kelembaban relatif, embun, kelembaban daun, serta percikan air hujan dan air lainnya, yang semuanya dapat memengaruhi penyebaran propagul patogen. Pada umumnya penyakit tanaman cenderung terjadi pada kondisi yang sering terjadi defisit air tanah. Akan tetapi, sebagian besar penyakit tanaman lebih parah pada tanah kering dan beberapa pada tanah basah.

Patogen menyerang dan berkembang biak di tanaman inang ketika terjadi peningkatan kondisi stres air dan inang menjadi rentan karena berkurangnya fotosintesis (menghambat produksi fitoaleksin) dan penurunan pertumbuhan tanaman tanpa memengaruhi perkembangbiakan patogen. Demikian pula kadar air tanah juga memengaruhi tingkat keparahan penyakit tanaman. Embun merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang berperan dalam perkembangan wabah penyakit yang disebabkan oleh jamur dan bakteri. Faktor ini juga berpengaruh terhadap nematoda *Anguina* spp., yang berpindah ke tanaman melalui jaringan batang dan menginfeksi bagian tanaman di atas permukaan tanah.

Dampak kelembaban udara berpengaruh terhadap sporulasi dan penyebaran patogen. Kelembaban udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan dan

penyebaran patogen tanaman. Patogen yang bersifat obligat atau fakultatif sering kali membutuhkan kondisi kelembaban tertentu untuk dapat berkecambah, menginfeksi, dan menyebar ke tanaman inang lainnya. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kelembaban udara yang tinggi dapat meningkatkan sporulasi dan viabilitas spora, sehingga mempercepat epidemi penyakit tanaman (Garrett et al., 2006).

Kelembaban baik dalam bentuk hujan, embun atau kelembaban relatif yang berlebihan, berlangsung lama atau terjadi berulang kali, merupakan faktor yang sangat membantu perkembangan epidemi penyakit. Penyakit yang dipengaruhi kelembaban seperti penyakit bercak daun, hawar, embun tepung, karat, dan antraknose yang disebabkan oleh jamur, atau bakteri (bercak, hawar, busuk), dan nematoda.

Selanjutnya Nurhayati (2011) menyatakan patogen yang memerlukan air bebas dan kelembaban tinggi sepanjang siklus hidupnya seperti *Phytophthora infestans* penyebab penyakit late blight pada tanaman kentang. Selain itu bakteri *Erwinia* dan *Pseudomonas* memerlukan keadaan basah dan kelembaban yang cukup tinggi. Patogen tanah seperti *Rhizoctonia* dan *Sclerotium* juga memerlukan kelembaban tanah yang cukup tinggi.

Sporulasi adalah proses pembentukan spora yang merupakan tahapan penting dalam siklus hidup patogen. Kelembaban relatif (RH) yang tinggi, terutama di atas 90%, sering dikaitkan dengan peningkatan produksi spora pada jamur patogen seperti *Phytophthora infestans* (causal agent of late blight) dan *Puccinia* spp. (rust fungi) (Mendgen & Hahn, 2002). Misalnya, studi oleh Hijwegen (1992) menunjukkan bahwa sporulasi *Botrytis cinerea*, patogen penyebab busuk abu-abu, meningkat secara signifikan pada kondisi  $RH > 95\%$ .

Selain itu, *Fusarium* spp. dan *Alternaria* spp. juga membutuhkan kelembaban tinggi untuk menghasilkan konidia. Menurut penelitian Rotem (1994), *Alternaria solani*, penyebab early blight pada kentang dan tomat, memiliki laju sporulasi tertinggi pada kelembaban di atas 92%.

Kelembaban udara tidak hanya berperan dalam sporulasi, tetapi juga dalam penyebaran spora dan inokulum patogen.

Spora jamur seperti *Peronospora destructor* pada bawang dan *Plasmopara viticola* pada anggur dapat dengan mudah terbawa angin saat kondisi udara lembab dan hangat. Kondisi hujan atau embun yang berkepanjangan juga dapat mempercepat penyebaran patogen dengan menyediakan lingkungan yang mendukung perkecambahan spora. Beberapa patogen, seperti *Colletotrichum* spp. dan *Xanthomonas* spp., menyebar lebih cepat melalui percikan air akibat hujan atau irigasi overhead (Madden et al., 2007).

Kelembaban memengaruhi pertanaman tanaman inang menjadi sukulen dan rentan, meningkatkan sporulasi fungi dan perbanyakkan bakteri. Kelembaban memberi kesempatan kepada jenis fungi untuk menghasilkan spora dan memunculkan bakteri ke permukaan inang. Kelembaban juga memberi peluang spora berkecambah. Zoospora fungi, sel bakteri dan nematoda akan berpindah tempat karena adanya air atau kelembaban yang berlebihan. Oleh karena itu jika kejadian tersebut berulang-ulang atau terjadi dalam waktu lama maka akan memperlancar terjadinya epidemi.

Dari berbagai hasil kajian, dapat dinyatakan bahwa curah hujan memiliki hubungan yang kompleks dengan populasi vektor penyakit. Faktor-faktor lain seperti suhu, kelembaban, dan perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia juga memainkan peran penting dalam menentukan dinamika populasi vektor dan penyebaran penyakit yang ditularkannya.

Curah hujan memiliki peran krusial dalam dinamika epidemi penyakit tanaman, terutama dalam mendukung perkembangan dan penyebaran patogen. Secara umum, wabah penyakit cenderung muncul pada awal musim hujan karena sebagian besar patogen memerlukan kelembaban tinggi dan kondisi daun yang basah untuk tumbuh dan berkembang biak. Hujan tidak hanya menyediakan lingkungan yang mendukung perkecambahan dan infeksi patogen, tetapi juga berkontribusi terhadap penyebarannya.

Percikan air hujan dapat membawa spora patogen dari tanah ke tanaman atau dari satu tanaman ke tanaman lainnya, sementara aliran air hujan dapat mencuci spora patogen dari permukaan tanaman dan menyebarkannya ke area yang lebih luas (Agrios, 2005). Namun, curah hujan yang berlangsung terus-menerus hingga menyebabkan tanah menjadi terlalu lembab atau bahkan tergenang dapat memberikan efek sebaliknya. Kondisi tanah yang terlalu jenuh air dapat menghambat pertumbuhan patogen tertentu atau bahkan menyebabkan kematian mereka akibat kekurangan oksigen (Garrett et al., 2006).

Sebaliknya, pada musim kemarau, ketika tanah menjadi sangat kering, banyak patogen yang bergantung pada kelembaban akan mengalami dormansi atau mati karena tidak dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang kering (Nurhayati, 2011). Oleh karena itu, variasi pola curah hujan memainkan peran penting dalam menentukan tingkat keparahan epidemi penyakit tanaman serta distribusi patogen di suatu ekosistem pertanian.

### 8.3.3 Karakteristik Tanah dan Nutrisi

Tanah dengan kondisi fisik dan kimia tertentu dapat menciptakan lingkungan yang mendukung atau menghambat pertumbuhan hama dan patogen.

Beberapa aspek utama yang memengaruhi perkembangan hama dan penyakit tanaman meliputi:

#### 1. Struktur dan Tekstur Tanah

Tanah dengan struktur yang buruk dan drainase yang kurang baik sering kali menyebabkan akumulasi kelembaban yang tinggi, menciptakan kondisi ideal bagi patogen tular tanah seperti *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., dan *Fusarium* spp. (Agrios, 2005). Sebaliknya, tanah dengan drainase yang baik dapat mengurangi kejadian penyakit karena menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen.

## 2. pH Tanah

pH tanah berpengaruh terhadap ketersediaan nutrisi serta keberlangsungan hidup mikroorganisme patogen. Beberapa penyakit seperti busuk akar yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* lebih dominan pada tanah dengan pH tinggi, sedangkan *Plasmodiophora brassicae*, patogen penyebab penyakit akar gada pada tanaman crucifer, lebih berkembang di tanah dengan pH rendah (Huang et al., 2019).

## 3. Kandungan Bahan Organik

Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi sering kali memiliki populasi mikroba antagonis yang lebih banyak, seperti *Trichoderma* spp. dan *Bacillus* spp., yang dapat menekan patogen tanaman melalui kompetisi atau produksi senyawa antifungal (Marschner et al., 2018).

### 8.3.4 Karakteristik Tanah dan Nutrisi

Tanah dengan kondisi fisik dan kimia tertentu dapat menciptakan lingkungan yang mendukung atau menghambat pertumbuhan hama dan patogen.

Beberapa aspek utama yang memengaruhi perkembangan hama dan penyakit tanaman meliputi:

#### 1. Struktur dan Tekstur Tanah

Tanah dengan struktur yang buruk dan drainase yang kurang baik sering kali menyebabkan akumulasi kelembaban yang tinggi, menciptakan kondisi ideal bagi patogen tular tanah seperti *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., dan *Fusarium* spp. (Agrios, 2005). Sebaliknya, tanah dengan drainase yang baik dapat mengurangi kejadian penyakit karena menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen.

## 2. pH Tanah

pH tanah berpengaruh terhadap ketersediaan nutrisi serta keberlangsungan hidup mikroorganisme patogen. Beberapa penyakit seperti busuk akar yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* lebih dominan pada tanah dengan pH tinggi, sedangkan *Plasmodiophora brassicae*, patogen penyebab penyakit akar gada pada tanaman crucifer, lebih berkembang di tanah dengan pH rendah (Huang et al., 2019).

## 3. Kandungan Bahan Organik

Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi sering kali memiliki populasi mikroba antagonis yang lebih banyak, seperti *Trichoderma* spp. dan *Bacillus* spp., yang dapat menekan patogen tanaman melalui kompetisi atau produksi senyawa antifungal (Marschner et al., 2018).

## 4. Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah berhubungan langsung dengan infeksi penyakit akar dan batang. Patogen seperti *Phytophthora infestans*, penyebab penyakit busuk daun kentang, berkembang optimal dalam kondisi tanah yang lembab dan suhu rendah (Fry, 2008).

Dengan pula halnya dengan nutrisi Tanah dan Pengaruhnya terhadap Hama serta Penyakit Tanaman Ketersediaan nutrisi dalam tanah tidak hanya memengaruhi pertumbuhan tanaman tetapi juga menentukan tingkat ketahanan atau kerentanannya terhadap serangan hama dan penyakit, seperti:

### 1. Nitrogen (N)

Pemberian nitrogen yang berlebihan dapat meningkatkan serangan hama penghisap seperti kutu daun (*Aphididae*) dan thrips (*Thripidae*), karena tanaman yang memiliki kandungan nitrogen tinggi cenderung menghasilkan jaringan yang lebih lunak dan

lebih disukai oleh serangga ini (Hodge, 2016). Selain itu, nitrogen tinggi juga dikaitkan dengan peningkatan infeksi patogen foliar seperti *Blumeria graminis*, penyebab embun tepung pada serealia (Walters & Bingham, 2007).

## 2. Fosfor (P) dan Kalium (K)

Fosfor berperan dalam pembentukan dinding sel yang lebih kuat dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Kalium memiliki fungsi serupa, di mana tanaman dengan ketersediaan kalium yang baik lebih tahan terhadap patogen seperti *Puccinia* spp., penyebab karat daun (Perrenoud, 1990).

## 3. Mikronutrien (Zn, Mn, Cu, Fe)

Unsur mikro seperti seng (Zn), mangan (Mn), tembaga (Cu), dan besi (Fe) berperan dalam aktivasi enzim pertahanan tanaman serta sintesis senyawa metabolit sekunder yang bersifat antimikroba. Defisiensi Mn, misalnya, diketahui meningkatkan kerentanan tanaman terhadap *Gaeumannomyces graminis*, patogen penyebab penyakit akar pada gandum (Huber & Wilhelm, 1988).

Oleh sebab itu, kondisi tanah memiliki peran krusial dalam menentukan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. Tanah yang sehat menyediakan lingkungan optimal bagi pertumbuhan akar, penyerapan nutrisi, serta aktivitas mikroorganisme yang berkontribusi pada ketahanan tanaman. Berbagai faktor tanah, seperti kandungan bahan organik, struktur, kadar air, pH, serta keseimbangan mikroba, dapat memengaruhi tingkat serangan hama dan patogen.

Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi cenderung mendukung populasi mikroba menguntungkan, seperti *Trichoderma* spp. dan *Bacillus* spp., yang mampu menekan pertumbuhan patogen tanaman (Mazzola, 2004). Selain itu, struktur tanah yang baik memungkinkan aerasi optimal dan drainase yang mencegah perkembangan patogen tanah seperti

*Phytophthora* spp. dan *Fusarium* spp. yang berkembang dalam kondisi anaerob.

Keberadaan mikroba tanah juga berkontribusi dalam mekanisme pertahanan tanaman melalui induksi ketahanan sistemik (ISR - Induced Systemic Resistance). Mikroba tertentu dapat memicu respon imun tanaman, memperkuat dinding sel akar, serta meningkatkan produksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat antifungal dan antibakteri (Berendsen et al., 2012). Selain faktor biotik, kondisi abiotik tanah, seperti kadar nitrogen dan keseimbangan mineral, juga berperan penting.

Defisiensi unsur hara tertentu dapat meningkatkan kerentanan tanaman terhadap patogen. Misalnya, kekurangan kalsium dikaitkan dengan peningkatan serangan penyakit seperti busuk ujung buah pada tomat akibat *Botrytis cinerea* (Hiruma et al., 2016). Sebaliknya, kelebihan nitrogen dapat meningkatkan serangan serangga penghisap seperti kutu daun yang tertarik pada jaringan tanaman dengan kadar nitrogen tinggi.

Dengan demikian, pengelolaan tanah yang berkelanjutan, termasuk penerapan pupuk organik, rotasi tanaman, dan inokulasi mikroba bermanfaat, sangat penting untuk meningkatkan daya tahan tanaman terhadap hama dan penyakit. Pemahaman lebih dalam mengenai interaksi tanah-tanaman-mikroba akan semakin membuka peluang dalam mengembangkan strategi pengelolaan pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Praktik pemupukan dan pengolahan tanah memainkan peran penting dalam menentukan kesehatan tanaman serta keseimbangan ekosistem tanah. Namun, praktik yang tidak tepat dapat menyebabkan peningkatan populasi hama dan penyakit tanaman. Dampak ini dapat terjadi melalui perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang mendukung perkembangan organisme patogen dan serangga hama.

### 8.3.5 Dampak Pemupukan terhadap Perkembangan Hama dan Penyakit

Pemupukan berlebih, terutama nitrogen (N), sering dikaitkan dengan peningkatan serangan hama dan penyakit tanaman. Kandungan nitrogen yang tinggi dalam jaringan tanaman meningkatkan kerapuhan sel dan menarik hama penghisap seperti kutu daun (Aphididae) serta meningkatkan tingkat keparahan penyakit yang disebabkan oleh patogen seperti *Pyricularia oryzae* pada padi (Duan et al., 2020).

Selain itu, ketidakseimbangan unsur hara dapat mengurangi ketahanan alami tanaman terhadap infeksi patogen (Huber & Haneklaus, 2007). Di sisi lain, pupuk berbasis kalium (K) dan fosfor (P) dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit dengan memperkuat dinding sel dan meningkatkan produksi metabolit sekunder yang bersifat antimikroba (Amtmann et al., 2008). Oleh karena itu, pemupukan yang tidak seimbang dapat meningkatkan atau menekan perkembangan hama dan penyakit tanaman.

Praktik pemupukan yang tidak tepat dapat berkontribusi terhadap peningkatan populasi hama dan penyakit tanaman. Pengelolaan yang seimbang, termasuk pemupukan berdasarkan kebutuhan tanaman dan pengolahan tanah yang sesuai dengan kondisi agroekologi, menjadi kunci dalam mengurangi dampak negatif tersebut. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan strategi yang lebih efektif dalam memitigasi dampak praktik pertanian terhadap dinamika hama dan penyakit tanaman.

## 8.4 Perubahan Iklim dan Pergeseran Pola Serangan Hama dan Penyakit

### 8.4.1 Dampak Pemanasan Global terhadap Perilaku Hama dan Patogen

Pemanasan global telah menyebabkan perubahan signifikan dalam ekosistem pertanian, termasuk perubahan perilaku hama dan patogen tanaman. Peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan kejadian cuaca ekstrem berdampak langsung terhadap siklus hidup, distribusi geografis, dan tingkat virulensi hama serta patogen tanaman.

Peningkatan suhu global telah mempercepat siklus hidup berbagai jenis hama, sehingga meningkatkan populasi mereka dalam satu musim tanam. Misalnya, serangga hama seperti *Bemisia tabaci* (kutu kebul) dan *Spodoptera frugiperda* (ulat grayak) menunjukkan peningkatan laju perkembangan dan reproduksi dalam kondisi suhu yang lebih tinggi (Deutsch et al., 2018). Selain itu, periode diapause (fase dormansi) beberapa serangga berkurang, menyebabkan siklus generatif lebih cepat dan meningkatkan populasi dalam satu musim tanam (Bale & Hayward, 2010).

Ekspansi Wilayah dan Pergeseran Distribusi Hama. Pemanasan global memungkinkan beberapa spesies hama berpindah ke daerah dengan suhu lebih tinggi yang sebelumnya tidak dapat mereka tempati. Hal ini telah diamati pada *Tuta absoluta* (hama tomat) yang memperluas jangkauannya ke Eropa dan Asia akibat kenaikan suhu lingkungan (Campos et al., 2017). Demikian pula, serangga vektor penyakit tanaman seperti *Myzus persicae* (kutu daun persik) semakin luas penyebarannya, meningkatkan risiko penularan virus tanaman (Ziska et al., 2016).

Peningkatan Virulensi dan Adaptasi Patogen Tanaman. Pemanasan global juga memengaruhi dinamika penyakit tanaman dengan meningkatkan agresivitas patogen. Sebagai contoh, *Phytophthora infestans*, penyebab

penyakit hawar daun kentang, berkembang lebih cepat dalam kondisi suhu tinggi dan kelembapan tinggi, sehingga mempercepat siklus infeksi dan penyebaran penyakit (Skelsey, 2019). Selain itu, beberapa strain patogen mengalami mutasi genetik yang memungkinkan mereka lebih tahan terhadap perubahan lingkungan serta pengendalian berbasis fungisida.

Interaksi Kompleks antara Hama, Patogen, dan Tanaman Inang. Pemanasan global juga berkontribusi pada peningkatan hubungan simbiotik antara hama dan patogen. Misalnya, serangga vektor seperti *Bemisia tabaci* tidak hanya menyebabkan kerusakan langsung tetapi juga berperan dalam penyebaran virus tanaman seperti Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV). Peningkatan suhu menyebabkan interaksi yang lebih erat antara vektor dan patogen, meningkatkan laju penularan penyakit (Eigenbrode et al., 2018).

Dampak pemanasan global terhadap perilaku hama dan patogen tanaman menuntut strategi pengelolaan yang lebih adaptif. Peningkatan pemantauan hama, penggunaan varietas tanaman tahan panas dan penyakit, serta pengembangan metode pengendalian terpadu berbasis ekologi menjadi langkah penting untuk menjaga ketahanan pangan global. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dinamika perubahan ini guna mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif.

Perubahan iklim, khususnya kenaikan suhu global, telah menyebabkan pergeseran signifikan dalam siklus hidup dan jumlah generasi hama pertanian. Suhu yang lebih tinggi mempercepat metabolisme serangga, mengurangi lama perkembangan larva, serta meningkatkan jumlah siklus reproduksi dalam satu musim tanam. Hal ini berimplikasi pada peningkatan populasi hama, pergeseran pola serangan, dan perubahan distribusi geografis hama yang sebelumnya terbatas pada wilayah tertentu. Studi oleh Deutsch et al. (2018) menunjukkan bahwa kenaikan suhu menyebabkan peningkatan tingkat konsumsi tanaman oleh hama, terutama di daerah beriklim sedang.

Mereka menemukan bahwa setiap peningkatan suhu sebesar 2°C dapat meningkatkan kerusakan hasil panen hingga 10–25%, terutama untuk

tanaman pokok seperti padi, jagung, dan gandum. Selain itu, penelitian oleh Bale (2002) mengonfirmasi bahwa serangga hama yang berkembang dalam lingkungan lebih hangat mengalami percepatan siklus hidup dan meningkatnya jumlah generasi per tahun. Contohnya adalah *Myzus persicae* (kutu daun persik) yang mengalami lebih banyak siklus generasi dalam setahun akibat suhu yang lebih tinggi (Harrington et al., 2007).

Fenomena ini juga menyebabkan migrasi hama ke daerah yang lebih tinggi atau lebih jauh ke arah kutub. Paini et al. (2016) menyatakan bahwa perubahan iklim memungkinkan penyebaran spesies invasif ke area baru, menimbulkan ancaman terhadap ekosistem dan sistem pertanian lokal yang belum memiliki mekanisme pertahanan alami terhadap hama tersebut. Implikasi dari perubahan ini menuntut penyesuaian dalam strategi pengendalian hama, termasuk pemantauan berbasis prediksi iklim, peningkatan ketahanan varietas tanaman, serta inovasi dalam metode pengendalian hayati dan kimia.

Dalam sektor pertanian, peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan menciptakan kondisi yang lebih mendukung bagi perkembangan patogen tanaman seperti *Phytophthora infestans*, penyebab penyakit busuk daun pada kentang, yang kini lebih sering muncul di daerah dengan suhu sedang (Skelsey et al., 2010). Selain itu, serangga hama seperti wereng coklat (*Nilaparvata lugens*) mengalami peningkatan populasi dan frekuensi serangan yang lebih tinggi di Asia akibat perubahan suhu dan pola angin muson.

#### 8.4.2 Badai, Banjir, dan Lonjakan Hama serta Penyakit Tanaman

Fenomena cuaca ekstrem seperti badai dan banjir semakin sering terjadi akibat pemanasan global, yang tidak hanya berdampak pada infrastruktur dan kehidupan manusia tetapi juga pada ekosistem pertanian. Badai dan banjir menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung lonjakan populasi hama dan penyakit tanaman, sehingga berkontribusi terhadap penurunan produksi pangan global (Rosenzweig et al., 2014).

Badai tropis yang membawa angin kencang dan hujan deras dapat memicu penyebaran hama dan patogen dalam cakupan yang lebih luas. Angin badai berperan dalam memindahkan serangga hama seperti belalang dan wereng ke area baru yang sebelumnya tidak terinfestasi. Misalnya, hama wereng coklat (*Nilaparvata lugens*) yang menyerang padi sering terbawa angin kencang selama badai dan menyebar ke wilayah baru di Asia Tenggara (Otuka, 2013).

Selain itu, badai dapat meningkatkan penyebaran spora patogen udara, seperti *Phytophthora infestans* yang menyebabkan penyakit busuk daun pada kentang dan tomat. Spora jamur ini dapat terbawa angin dalam jarak yang jauh dan menginfeksi tanaman dalam kondisi lembab setelah badai.

### 8.4.3 Kekeringan dan Peningkatan Tekanan Serangan Serangga

Perubahan iklim telah meningkatkan frekuensi dan intensitas kekeringan di berbagai wilayah dunia, yang berdampak signifikan pada ekosistem pertanian dan dinamika populasi serangga herbivora. Kekeringan tidak hanya melemahkan tanaman secara fisiologis, tetapi juga mengubah interaksi antara tanaman dan herbivora, yang sering kali berujung pada peningkatan serangan hama (Prasad et al., 2019), meliputi: dampak kekeringan terhadap ketahanan tanaman; respons serangga herbivora terhadap kekeringan; interaksi kekeringan dan penyebaran penyakit; dan implikasi bagi ketahanan pangan dan strategi adaptasi.

Kekeringan yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim berkontribusi pada peningkatan tekanan serangan serangga herbivora dengan berbagai mekanisme, termasuk perubahan fisiologi tanaman dan peningkatan kualitas nutrisi bagi hama. Hal ini berdampak besar pada ketahanan pangan global, terutama di wilayah-wilayah yang bergantung pada pertanian lahan kering. Oleh karena itu, strategi mitigasi yang komprehensif perlu dikembangkan untuk mengurangi dampak negatif ini terhadap produksi pertanian di masa depan.

Faktor lingkungan biotik dan abiotik memainkan peran krusial dalam perkembangan penyakit pada tumbuhan. Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, curah hujan, kualitas udara, dan perubahan ekosistem dapat memengaruhi dinamika patogen serta interaksinya dengan inang dan vektor. Perubahan iklim, misalnya, telah terbukti memperluas wilayah persebaran penyakit akibat peningkatan suhu dan kelembaban yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen. Selain itu, polusi lingkungan dan degradasi kualitas air dapat memperlemah sistem kekebalan inang, sehingga meningkatkan risiko infeksi.

Dalam konteks pertanian, praktik pengelolaan lingkungan yang buruk, seperti penggunaan pestisida berlebihan atau sistem sanitasi yang tidak memadai, dapat mempercepat munculnya hama dan patogen yang lebih resisten. Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan antara faktor lingkungan biotik dan abiotik dan perkembangan penyakit menjadi kunci dalam merancang strategi pencegahan dan mitigasi yang efektif.

Dinamika lingkungan biotik dan abiotik yang memengaruhi perkembangan penyakit memiliki dampak signifikan terhadap sistem pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan. Perubahan iklim yang menyebabkan peningkatan suhu, kelembaban ekstrem, kekeringan, serta pola curah hujan yang tidak menentu dapat mempercepat penyebaran hama dan penyakit tanaman, mengurangi produktivitas, dan meningkatkan ketergantungan pada input eksternal seperti pestisida dan pupuk sintetis.

Sementara itu, degradasi lingkungan biotik dan abiotik akibat praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, seperti penggunaan lahan yang berlebihan, pencemaran air, semakin memperparah tantangan ketahanan pangan. Untuk memastikan sistem pertanian yang berkelanjutan, diperlukan pendekatan terpadu yang menggabungkan praktik pertanian ramah lingkungan, biosekuriti ketat, serta inovasi teknologi seperti pemuliaan tanaman tahan penyakit dan sistem pemantauan berbasis kecerdasan buatan.

Ke depan, ketahanan pangan global sangat bergantung pada kemampuan untuk menyesuaikan sistem pertanian dengan perubahan lingkungan biotik

dan abiotik yang dinamis. Dengan mengintegrasikan riset ilmiah, kebijakan yang adaptif, dan praktik pertanian yang lebih berkelanjutan, risiko terhadap produksi pangan dapat diminimalkan, sekaligus menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam bagi generasi mendatang.

# Bab 9

## Pengendalian Hama Secara Mekanis

### 9.1 Pendahuluan

Hama dan penyakit tanaman merupakan salah satu organisme pengganggu tanaman di Indonesia. Hama dan penyakit tanaman ini dianggap sebagai permasalahan utama dalam sistem produksi pertanian di Indonesia yang dapat menyebabkan kehilangan hasil mencapai 30% per tahun. Pengendalian hama secara mekanis adalah salah satu metode dalam pengelolaan hama yang menggunakan alat fisik atau mekanik untuk mengendalikan populasi hama, tanpa melibatkan bahan kimia.

Metode ini berfokus pada upaya fisik yang bertujuan untuk menghalangi hama, menangkap hama dengan tangan atau perangkap, atau membunuh hama yang ada, dengan cara-cara yang relatif aman bagi lingkungan dan tidak menimbulkan dampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan pertanaman terutama kompleks ekosistem. Pengendalian

mekanis ini merupakan salah satu komponen dalam pengendalian hama terpadu (Indiati & Marwoto, 2017).

Keberhasilan pengendalian secara mekanik sangat didukung oleh pemahaman tentang hubungan populasi hama (serangga) dengan tanaman dan faktor lainnya seperti hama lain sebagai pesaing serta musuh alami (Speight et al., 2008).

Pengendalian hama secara mekanis merupakan salah satu pendekatan yang ramah lingkungan dan semakin populer, mengingat meningkatnya kekhawatiran terhadap dampak penggunaan pestisida kimia yang berlebihan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, terutama munculnya resistensi hama (Stenersen, J., 2004). Pengendalian mekanis tidak melibatkan bahan kimia berbahaya, sehingga dapat menjaga keseimbangan ekosistem pertanian serta menghasilkan produk pertanian yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Prinsip dasar dari pengendalian hama secara mekanis adalah pemanfaatan alat atau perangkat yang bekerja melalui pendekatan fisik untuk memanipulasi kondisi lingkungan yang mendukung keberadaan hama atau untuk langsung menargetkan hama itu sendiri. Metode ini tidak melibatkan bahan kimia atau pestisida sintetis, melainkan mengandalkan alat mekanik, struktur fisik, atau perubahan lingkungan yang mengganggu atau merusak siklus hidup hama.

Secara umum, pengendalian hama mekanis melibatkan berbagai cara yang memanfaatkan alat, perangkat, atau teknik tertentu untuk mencegah atau mengurangi serangan hama. Beberapa contoh pengendalian mekanis antara lain penggunaan perangkap, jaring penghalang, dan pemangkasan bagian tanaman yang terinfeksi. Metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis tanaman, mulai dari tanaman pangan hingga tanaman hortikultura.

## 9.2 Jenis-jenis Pengendalian Hama Secara Mekanis

Pengendalian hama secara mekanis adalah metode pengendalian yang memanfaatkan alat atau teknologi untuk mengatasi masalah hama pada tanaman tanpa melibatkan bahan kimia dan, musuh alami. Metode ini sangat berguna dalam pertanian yang mengedepankan prinsip ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan pendekatan ini, risiko terhadap ekosistem dan kesehatan manusia dapat diminimalisir, mengingat bahwa pengendalian hama secara mekanis ini digunakan sebelum menggunakan pestisida kimia. Pestisida kimia sintetik memiliki efek dapat mencemari lingkungan, meninggalkan residu, menyebabkan resistensi hama, dan ledakan populasi hama karena melemahnya musuh alami (Kakoki, S., et al. 2019;), sehingga dapat memengaruhi keanekaragaman hayati (Balamurugan & Kandasamy, 2021).

Prinsip dasar dari pengendalian hama secara mekanis adalah pemanfaatan alat atau perangkat yang bekerja melalui pendekatan fisik untuk memanipulasi kondisi lingkungan agar tidak mendukung keberadaan hama atau untuk langsung menargetkan hama itu sendiri. Pengendalian mekanis dan fisik pada dasarnya adalah penggunaan jebakan, perangkap, atau pembatas fisik seperti jaring atau pelindung tanaman untuk mencegah hama dan penyakit (Dwisatria, et al., 2024).

Ada beberapa jenis pengendalian hama mekanis yang dapat diterapkan pada tanaman. Setiap jenis memiliki cara dan teknik yang berbeda, tetapi semuanya bertujuan untuk meminimalkan atau menghilangkan hama dengan cara yang tidak merusak tanaman atau lingkungan.

### 9.2.1 Penggunaan Perangkap (Traps)

Perangkap adalah salah satu metode mekanis yang paling sering digunakan untuk mengendalikan hama tanaman, terutama serangga dan tikus.

Perangkap adalah alat yang dirancang untuk menangkap atau memusnahkan hama. Perangkap bisa berbentuk fisik seperti jebakan yang berfungsi untuk menjerat hama, atau menggunakan bahan lain seperti perekat dan lampu yang dapat memikat hama (Yuliani & Anggraeni, 2019).

Beberapa jenis perangkap yang umum digunakan dalam pertanian meliputi:

1. Perangkap Cahaya (Light Traps): Digunakan untuk menarik hama yang tertarik pada cahaya, seperti ngengat dan serangga terbang lainnya. Perangkap ini bekerja dengan menyalakan sumber cahaya di malam hari yang menarik perhatian hama, lalu mereka terperangkap dalam wadah yang telah disiapkan. Perangkap cahaya merupakan metode baru yang banyak digunakan untuk memantau populasi hama serangga dan juga teknologi tambahan di samping metode pengendalian hama lain yang efektif di bidang pertanian (Balamurugan & Kandasamy, 2021).
2. Perangkap Lem (Sticky Yellow Traps): Perangkap ini sering digunakan untuk menangkap serangga terbang seperti lalat dan kutu daun. Serangga akan menempel pada permukaan perangkap yang berwarna kuning dilapisi dengan lem yang lengket (Solihin, et al., 2020).
3. Perangkap Feromon: Menggunakan feromon (zat kimiawi yang digunakan oleh serangga untuk berkomunikasi) untuk menarik serangga jantan menuju perangkap. Metode ini sangat efektif dalam mengendalikan serangga yang menyerang tanaman pertanian. Pengendalian hama serangga berbasis feromon seks merupakan strategi nonpestisida terdepan di antara berbagai pilihan pengendalian hama terpadu. Umpan feromon meniru feromon seks yang dipancarkan secara alami, untuk menarik serangga dewasa jantan.

Dengan perangkat feromon yang direkomendasikan, serangga sasaran akan tertarik dan kemudian terperangkap. Ini merupakan metode yang aman dan efisien untuk menentukan keberadaan serangga sasaran, atau memantau populasinya (Wang, X., et al., 2024).

### 9.2.2 Jaring Penghalang (Barrier Nets)

Penggunaan jaring penghalang adalah metode pengendalian mekanis yang melibatkan pemasangan jaring di sekitar tanaman untuk mencegah hama tertentu masuk dan merusak tanaman. Jaring ini biasanya terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti polietilena atau nilon, yang memiliki ukuran lubang yang sesuai untuk mencegah hama tertentu, seperti serangga atau burung, namun tetap memungkinkan cahaya dan udara masuk.

Beberapa contoh penggunaannya adalah:

1. Jaring anti-serangga: Ditempatkan di atas tanaman untuk mencegah serangga terbang, seperti wereng, kutu daun, dan lainnya.
2. Jaring anti-burung: Dipasang di kebun atau ladang untuk mencegah burung merusak hasil pertanian, seperti buah atau biji tanaman.

Jaring penghalang ini merupakan salah satu cara yang efektif dalam pengendalian hama tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem secara signifikan.

### 9.2.3 Pemangkasan dan Pembersihan Tanaman (Pruning and Cleaning)

Pemangkasan adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi bagian tanaman yang terinfeksi oleh hama atau penyakit. Dengan memangkas bagian tanaman yang rusak atau terinfeksi, kita tidak hanya mengurangi sumber makanan bagi hama, tetapi juga membantu memperbaiki kualitas

tanaman yang masih sehat. Pemangkasan dan pembuangan perlu dilakukan secara berkala hingga panen pertama, terutama pada pucuk tanaman yang rusak oleh hama, hal ini merupakan komponen penting dalam strategi pengendalian hama terpadu (PHT) (Srinivasan & Chun-Chu Huang, 2009).

Selain itu, pembersihan tanaman atau kebun juga sangat penting. Hal ini meliputi pengangkatan daun-daun yang jatuh, ranting yang patah, atau bagian tanaman yang sudah mati, karena ini bisa menjadi tempat persembunyian bagi hama.

1. Pemangkasan daun yang terinfeksi: Daun yang terinfeksi oleh hama seperti kutu daun atau ulat, jika tidak dipangkas, bisa menyebarkan infeksi ke tanaman lain. Dengan memangkas dan membuang bagian yang terinfeksi, kita bisa mencegah penyebaran hama lebih lanjut.
2. Pembersihan kebun dari sampah organik: Hama seperti kutu dan wereng sering kali bersembunyi di bawah sampah organik yang tertinggal di tanah. Oleh karena itu, rutin membersihkan kebun dari sisa-sisa tanaman yang jatuh dapat membantu mengurangi tempat persembunyian hama.

#### **9.2.4 Rotasi Tanaman dan Penggunaan Tanaman Penghalang (Crop Rotation and Barrier Plants)**

Rotasi tanaman adalah metode pengendalian hama mekanis yang melibatkan pergantian jenis tanaman yang ditanam di suatu area setiap musim tanam. Teknik ini dapat mengurangi kemungkinan hama yang spesifik untuk tanaman tertentu berkembang biak, karena mereka tidak akan memiliki sumber makanan yang stabil.

Selain itu, penggunaan tanaman penghalang seperti tanaman yang memiliki bau atau sifat yang tidak disukai oleh hama juga dapat membantu melindungi tanaman utama. Tanaman seperti kenikir dapat ditanam di

sekitar tanaman lain untuk mencegah serangan hama tertentu. Pohon besar bertindak sebagai penghalang pergerakan angin dan serangga di ladang.

Tanaman yang bukan inang juga dapat bertindak sebagai penghalang bagi pergerakan hama pada tanaman. Tanaman ini dapat ditanam dalam bentuk strip lebar bersama tanaman inang. Pagar tebal di sekitar ladang menentukan batas pergerakan musuh alami hama. Sebaiknya pagar harus berupa tanaman berbunga untuk menyediakan makanan bagi musuh alami.

### 9.2.5 Penggunaan Alat dan Mesin (Mechanical Equipment)

Di pertanian berskala besar, penggunaan alat dan mesin sering digunakan untuk mengendalikan hama secara mekanis.

Beberapa contoh penggunaan alat ini adalah:

1. Mesin penyemprot udara: Digunakan untuk mengusir serangga terbang dari tanaman. Alat ini berfungsi untuk menghasilkan aliran udara yang cukup kuat untuk mendorong serangga keluar tanpa merusak tanaman.
2. Mesin pemanen atau pemangkas otomatis: Mesin ini tidak hanya digunakan untuk panen, tetapi juga untuk menghilangkan bagian tanaman yang terinfeksi hama.

### 9.2.6 Penggunaan Pencahayaan dan Suhu (Light and Temperature Control)

Metode pengendalian hama dengan pengaturan pencahayaan dan suhu telah diterapkan di beberapa area pertanian modern. Misalnya, penggunaan lampu inframerah untuk mengatur suhu, panjang gelombang suara dan cahaya di sekitar tanaman tertentu guna mengusir hama atau mengatur siklus hidup hama (Fakhari, et al., 2020).

### 9.2.7 Penyemprotan dengan Air atau Aliran Udara

Penyemprotan air atau udara dengan tekanan tinggi dapat digunakan untuk mengusir atau membuang hama tertentu, seperti kutu atau serangga kecil, dari tanaman. Contohnya seperti penyemprotan dengan air bertekanan tinggi pada tanaman untuk mengusir kutu daun atau serangga lain yang menempel pada daun.

### 9.2.8 Penggunaan Alat Tanam atau Alat Pertanian

Beberapa alat pertanian dirancang untuk mencegah atau mengurangi populasi hama di tanah atau di area pertanian. Alat ini membantu dalam pengelolaan gulma, hama tanah, dan mengurangi kerusakan akibat serangga. Misalnya alat pengolahan tanah (bajak atau cangkul): Dapat digunakan untuk mengganggu siklus hidup hama yang berada di dalam tanah dengan memindahkan tanah, sehingga dapat merusak tempat berlindung atau bertelur bagi hama.

### 9.2.9 Pemanfaatan Teknologi dan Otomatisasi

Adanya kemajuan ilmu dan teknologi maka, pengendalian hama secara mekanis juga mulai mengintegrasikan penggunaan robotika dan sensor otomatis untuk mendeteksi dan mengeliminasi hama secara lebih efisien. Misalnya penggunaan robot pembasmi hama di ladang pertanian yang dapat mendeteksi kehadiran dan keberadaan hama pada tanaman dan dapat mengusir hama secara otomatis tanpa campur tangan manusia.

## 9.3 Keuntungan Pengendalian Hama Secara Mekanis

Pengendalian hama secara mekanis adalah salah satu metode dalam manajemen hama yang melibatkan penggunaan alat, teknik, atau proses fisik untuk mengurangi atau mengendalikan populasi hama pada tanaman tanpa menggunakan bahan kimia. Pengendalian mekanis memiliki

berbagai keuntungan yang menjadikannya pilihan yang menarik, terutama dalam pertanian organik atau yang berfokus pada keberlanjutan.

Berikut adalah uraian lengkap tentang keuntungan pengendalian hama secara mekanis:

1. Aman untuk Lingkungan
  - a. Pengendalian hama secara mekanis tidak melibatkan penggunaan pestisida atau bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari tanah, air, atau udara. Dengan demikian, metode ini sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi atau dampak negatif terhadap ekosistem dan keanekaragamana hayati di sekitar lahan pertanian (Balamurugan & Kandasamy, 2021).
  - b. Mengurangi potensi kerusakan terhadap organisme non-target, seperti serangga penyerbuk, burung, dan hewan lain yang hidup di sekitar tanaman.
2. Aman untuk Kesehatan Manusia dan Hewan
  - a. Tidak ada residu kimia yang tertinggal pada tanaman atau di lingkungan yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Hal ini membuat produk pertanian yang dihasilkan lebih aman untuk dikonsumsi.
  - b. Khususnya dalam pertanian organik, pengendalian mekanis memungkinkan petani untuk menghasilkan produk yang bebas dari bahan kimia berbahaya, yang bisa meningkatkan daya tarik pasar bagi konsumen yang peduli dengan kesehatan.
3. Efektif untuk Mengontrol Populasi Hama Secara Tertarget
  - a. Pengendalian mekanis dapat sangat efektif untuk mengendalikan jenis hama tertentu tanpa merusak tanaman atau organisme lain. Misalnya, dengan penggunaan perangkap,

- jaring, atau alat fisik lainnya, petani dapat mengurangi jumlah hama dengan cara yang sangat terkontrol.
- b. Metode ini memungkinkan petani untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi hama secara langsung, sehingga menghindari dampak negatif pada fauna lain yang mungkin bermanfaat bagi ekosistem pertanian.
4. Mengurangi Ketergantungan pada Pestisida
    - a. Salah satu keuntungan terbesar dari pengendalian mekanis adalah mengurangi ketergantungan pada pestisida kimiawi. Ketergantungan pada pestisida dapat menyebabkan masalah resistansi hama terhadap bahan kimia, yang membuat pengendalian hama semakin sulit dan mahal dari waktu ke waktu.
    - b. Dengan menggunakan metode mekanis, petani dapat mengurangi biaya pembelian pestisida dan mengurangi potensi resistansi yang dapat mengganggu keberlanjutan produksi pertanian.
  5. Tidak Menyebabkan Resistensi Hama

Berbeda dengan penggunaan pestisida kimia, yang sering memicu perkembangan resistensi pada hama, pengendalian mekanis tidak menyebabkan hama menjadi kebal atau lebih tahan terhadap metode tersebut. Hal ini membuat pengendalian mekanis lebih berkelanjutan dalam jangka panjang.
  6. Dapat Digunakan pada Semua Tahapan Tanaman
    - a. Pengendalian mekanis dapat diterapkan sejak tahap awal pertumbuhan tanaman hingga panen. Misalnya, penggunaan jaring atau penutup tanaman untuk menghindari serangan hama pada bibit atau tanaman muda, atau pemasangan

perangkap untuk mengurangi serangan hama pada tanaman yang sudah dewasa.

- b. Ini juga memberikan fleksibilitas kepada petani untuk menyesuaikan metode sesuai dengan tahap pertumbuhan tanaman dan jenis hama yang dihadapi.
7. Berkelanjutan dan Efektif pada Skala Kecil hingga Besar
    - a. Pengendalian mekanis dapat diterapkan pada berbagai ukuran lahan, dari pertanian kecil hingga pertanian komersial besar. Dengan alat yang tepat, seperti alat pembersih gulma atau perangkap hama, pengendalian mekanis bisa efektif baik pada skala kecil maupun besar.
    - b. Metode ini juga dapat dilengkapi dengan teknologi canggih, seperti penggunaan drone atau alat otomatis untuk pengendalian hama pada lahan yang lebih luas.
  8. Meminimalkan Dampak Terhadap Keanekaragaman Hayati
    - a. Penggunaan pengendalian mekanis dapat membantu menjaga keanekaragaman hayati di sekitar lahan pertanian. Karena pengendalian ini tidak mengganggu organisme selain hama, maka tidak ada risiko terhadap serangga penyerbuk, burung, atau organisme tanah yang bermanfaat.
    - b. Hal ini mendukung konsep pertanian berkelanjutan yang berfokus pada keberlanjutan ekosistem dan konservasi alam.
  9. Pengurangan Penggunaan Sumber Daya Alam
    - a. Penggunaan metode mekanis, seperti pemangkasan, penutupan dengan kain atau jaring, serta penyemprotan dengan air bertekanan tinggi, dapat mengurangi kebutuhan akan bahan kimia dan energi yang diperlukan dalam penggunaan pestisida.

- b. Ini dapat menurunkan jejak karbon dalam proses pertanian, mendukung tujuan pertanian yang ramah lingkungan dan lebih efisien dalam penggunaan sumber daya.

#### 10. Biaya Pemeliharaan Relatif Rendah

Alat atau teknik pengendalian mekanis sering kali memiliki biaya pemeliharaan yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia atau metode kimia lainnya. Setelah alat mekanis dibeli, biaya operasional dan pemeliharaan cenderung rendah, sehingga lebih ekonomis dalam jangka panjang.

#### 11. Peningkatan Ketahanan terhadap Perubahan Iklim

Dengan beralih ke pengendalian mekanis, petani dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap perubahan iklim, karena teknik ini lebih adaptif dan dapat disesuaikan dengan kondisi iklim yang berubah. Misalnya, menggunakan sistem irigasi atau penghalang fisik untuk melindungi tanaman dari hama yang muncul akibat perubahan iklim atau cuaca ekstrim.

## 9.4 Kekurangan Pengendalian Hama Secara Mekanis

Pengendalian hama secara mekanis merupakan salah satu metode dalam pertanian yang bertujuan untuk mengurangi atau mengendalikan populasi hama tanpa menggunakan bahan kimia, namun melalui alat atau teknik fisik. Meski cukup efektif pada beberapa jenis tanaman dan hama tertentu, pengendalian hama secara mekanis ini juga memiliki beberapa kekurangan.

Berikut adalah beberapa kekurangan pengendalian hama secara mekanis:

1. Cakupan Terbatas

Pengendalian hama secara mekanis memiliki cakupan yang terbatas hanya pada hama yang terlihat secara fisik. Tidak semua jenis hama dapat diatasi dengan metode ini, terutama hama yang berukuran kecil atau tersembunyi, seperti hama di bawah permukaan tanah atau yang tersembunyi di dalam batang tanaman.

2. Biaya dan Waktu yang Tinggi

Meskipun metode mekanis tidak melibatkan bahan kimia, penggunaan alat atau teknik fisik sering kali memerlukan biaya yang tinggi untuk pembelian alat atau perlengkapan. Selain itu, pengendalian secara mekanis sering memerlukan waktu dan tenaga kerja yang lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan pestisida atau teknik pengendalian lainnya.

3. Ketergantungan pada Kondisi Fisik

Pengendalian mekanis bergantung pada kondisi fisik tanaman dan hama. Jika tanaman memiliki struktur yang rapuh atau hama tersebar secara luas dan tersembunyi, metode ini menjadi kurang efektif. Misalnya, penggunaan perangkap atau jaring-jaring mungkin tidak bisa menjangkau semua area yang terinfeksi atau tanaman yang tumbuh di medan yang sulit dijangkau.

4. Kerusakan pada Tanaman

Penggunaan alat mekanis, seperti pemangkasan atau penyemprotan dengan alat penyemprot manual, berisiko merusak tanaman itu sendiri. Kesalahan dalam penggunaannya dapat menyebabkan cedera pada batang atau daun tanaman, yang pada akhirnya dapat mengurangi hasil tanaman atau bahkan membahayakan tanaman tersebut.

5. Keterbatasan dalam Menangani Populasi Hama yang Besar

Ketika populasi hama sangat besar atau menyebar di area yang luas, pengendalian mekanis menjadi kurang efektif. Pengendalian seperti memungut hama (telur, kelompok telur, larva dan pupa) secara manual atau memasang perangkap (menangkap imago) hanya bisa menangani sebagian kecil dari populasi hama, dan tidak mampu mengatasi hama yang sangat banyak atau sulit dijangkau.

6. Pemeliharaan dan Pengoperasian yang Rumit

Beberapa alat mekanis memerlukan pemeliharaan dan pengoperasian yang cukup rumit. Alat seperti jaring atau perangkap harus dipasang dan dipelihara dengan hati-hati agar tetap berfungsi dengan baik. Jika tidak dirawat dengan baik, alat ini bisa kehilangan efektivitasnya, yang dapat menyebabkan kerugian lebih lanjut bagi tanaman.

7. Tidak Menyelesaikan Masalah Secara Permanen

Pengendalian mekanis umumnya hanya bersifat sementara. Hama dapat kembali jika tidak ada tindakan lanjutan untuk mencegahnya. Selain itu, teknik ini sering kali tidak mengubah ekosistem secara permanen atau mengurangi potensi hama di masa depan.

8. Bergantung pada Keterampilan Manusia

Banyak metode pengendalian mekanis mengandalkan keterampilan manusia dalam pelaksanaannya. Ketidaktepatan atau kelalaian dalam menggunakan metode ini dapat menyebabkan pengendalian yang tidak efektif, serta dapat merusak tanaman atau lingkungan sekitar.

9. Sulit untuk Hama yang Bergerak Cepat

Hama yang memiliki kemampuan bergerak cepat atau memiliki pola hidup yang sangat adaptif, seperti serangga terbang atau hama

yang sering berpindah tempat, akan sulit diatasi hanya dengan metode mekanis.

#### 10. Tidak Memperbaiki Masalah Penyebaran Hama

Pengendalian mekanis tidak mengatasi penyebab utama penyebaran hama, seperti kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan hama. Misalnya, kelembaban yang tinggi atau kondisi tanaman yang rentan terhadap serangan hama tetap dapat menjadi faktor yang memungkinkan hama berkembang biak.



# Bab 10

## Pengendalian Hama secara Biologis

### 10.1 Konsep Dasar

Pertumbuhan populasi global telah memberikan tekanan yang sangat besar pada sektor pertanian untuk meningkatkan produksi pangan. Dalam upaya untuk memenuhi permintaan ini, para petani telah beralih ke pestisida sintetis untuk melindungi tanaman dari hama dan penyakit. Meskipun bahan kimia ini mungkin memberikan hasil yang cepat, efek jangka panjangnya menimbulkan risiko serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

Pestisida sintetis telah terbukti banyak menimbulkan berbagai masalah kesehatan, termasuk masalah pernapasan, kondisi kulit, gangguan neurologis, dan bahkan kanker. Selain membahayakan manusia, zat-zat ini sering mencemari tanah dan air, merusak ekosistem, dan membunuh organisme yang bermanfaat seperti penyerbuk dan predator hama alami.

Penggunaan bahan kimia yang meluas ini tidak hanya mengganggu keseimbangan ekologi tetapi juga berkontribusi terhadap menurunnya keanekaragaman hayati. Hal ini menjadi masalah yang semakin mendesak dalam konteks perubahan iklim.

Seiring dengan meningkatnya pemanasan global, dampaknya terhadap pertanian menjadi lebih parah. Meningkatnya suhu dan pola cuaca yang tidak dapat diprediksi mengubah perilaku hama, membuat serangan hama lebih sering terjadi dan lebih sulit untuk ditangani. Banyak petani menanggapi dengan meningkatkan penggunaan pestisida, yang mengarah pada lingkaran setan kerusakan lingkungan dan meningkatnya resistensi hama. Selain itu, produksi dan penggunaan bahan kimia ini melepaskan gas rumah kaca, yang menambah masalah perubahan iklim.

Mengingat tantangan ini, ada kebutuhan mendesak untuk solusi pengelolaan hama berkelanjutan yang efektif, ramah lingkungan, dan dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi iklim. Salah satu alternatif yang paling menjanjikan adalah pengendalian biologis, atau biokontrol. Metode ini melibatkan penggunaan musuh alami seperti serangga, tungau, jamur, atau bakteri untuk mengendalikan populasi hama. Daripada membasmi hama melalui bahan kimia beracun, biokontrol bekerja dengan memulihkan interaksi ekologi alami.

Biokontrol sangat terarah, yang berarti hanya memengaruhi hama yang dituju sambil membiarkan organisme yang bermanfaat tidak terluka. Pendekatan ini membantu melestarikan keanekaragaman hayati dalam ekosistem pertanian. Di sisi lain, keanekaragaman hayati sangat mendukung fungsi ekosistem seperti penyerbukan, kesuburan tanah, dan pengaturan hama alami. Keanekaragaman spesies yang kaya juga memperkuat ekosistem terhadap tekanan lingkungan, termasuk yang disebabkan oleh perubahan iklim.

Melindungi keanekaragaman hayati melalui biokontrol memiliki manfaat lingkungan yang lebih luas. Ekosistem yang sehat lebih baik dalam menyerap dan menyimpan karbon, menjadikannya pemain kunci dalam mengurangi perubahan iklim. Lebih jauh lagi, dengan mengurangi

kebutuhan akan pestisida sintetis, pengendalian hayati menurunkan jejak karbon pertanian. Pengendalian hayati memangkas emisi yang terkait dengan produksi, transportasi, dan aplikasi bahan kimia, sehingga pertanian menjadi lebih tangguh terhadap iklim dan berkelanjutan.

Keuntungan lain dari pengendalian hayati adalah kemampuannya untuk mencegah resistensi hama. Tidak seperti bahan kimia, yang seringkali dapat beradaptasi dengan cepat oleh hama, agen pengendalian hayati merupakan bagian dari ekosistem dinamis yang tidak dapat dengan mudah dikalahkan oleh hama. Hal ini menghasilkan solusi pengelolaan hama yang lebih tahan lama. Selain itu, setelah diperkenalkan dan ditetapkan, beberapa agen pengendalian hayati dapat mempertahankan pengendalian hama dengan intervensi lebih lanjut yang minimal, sehingga mengurangi biaya tenaga kerja dan input dari waktu ke waktu.

Pengendalian hayati juga mendukung peralihan ke pertanian organik dan ramah lingkungan. Seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan masalah kesehatan dan lingkungan, permintaan akan makanan bebas bahan kimia pun meningkat. Petani yang mengadopsi pengendalian hayati dapat mengakses pasar khusus ini, yang menawarkan produk yang lebih aman dan lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Namun, untuk berhasil menerapkan pengendalian hayati, petani memerlukan dukungan dalam mengidentifikasi musuh alami yang tepat, memahami ekosistem lokal, dan menerapkan metode pengendalian hayati secara efektif.

## 10.2 Definisi dan Konsep Dasar

### **Biological Control Agent (BCA)**

Agen pengendali hayati adalah organisme yang bersumber dari alam yang digunakan untuk mengendalikan hama, gulma, dan penyakit di lingkungan pertanian. Agen-agen ini bekerja melalui berbagai mekanisme, termasuk membunuh, menghalangi, atau mengganggu organisme target. Pemahaman

yang komprehensif tentang berbagai jenis agen pengendali hayati sangat penting untuk memilih strategi pengendalian hama yang paling efektif.

Pembahasan ini membahas empat kategori utama agen pengendali hayati, dengan memberikan contoh nyata penerapannya dalam pertanian berkelanjutan:

### 1. Makrobia

Makrobia adalah organisme yang lebih besar, seperti serangga, tungau, dan nematoda bermanfaat, yang memangsa populasi hama. Agen-agen ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekologi dalam sistem pertanian. Contoh agen pengendali hayati makrobia yang terkenal adalah kepik (*Hippodamia convergens*), yang sangat efektif dalam mengendalikan populasi kutu daun.

Dengan memasukkan kepik ke ladang, petani dapat secara signifikan mengurangi serangan kutu daun tanpa harus menggunakan pestisida kimia. Penelitian telah menunjukkan bahwa kepik dapat memakan hingga 5.000 kutu daun dalam hidupnya, menjadikannya sekutu yang kuat dalam pengendalian hama (Dixon et al., 1997; Shandilya et al., 2024).

Contoh lain adalah tungau predator *Phytoseiulus persimilis*, yang digunakan untuk mengelola serangan tungau laba-laba di lingkungan rumah kaca. Tungau ini khususnya efektif terhadap tungau laba-laba berbintik dua (*Tetranychus urticae*), hama umum pada berbagai tanaman. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa *P. persimilis* dapat secara efektif mengurangi populasi tungau laba-laba hingga 98%, sehingga menghasilkan tanaman yang lebih sehat dan hasil panen yang lebih baik (Raworth, 2001; Zhao et al., 2023).

Nematoda yang bermanfaat, seperti spesies *Steinernema* dan *Heterorhabditis*, juga digunakan untuk menargetkan hama yang hidup di tanah seperti larva dan kumbang akar. Cacing gelang mikroskopis ini memasuki tubuh inang serangga dan melepaskan bakteri yang membunuh hama. Nematoda *H. bacteriophora* dan *Steinernema* sp mampu menyebabkan kematian kumbang *Geotrogus olcesii* hingga 68% dan 77%

(Benseddik et al., 2021; Tomar et al., 2024). Metode ini memberikan alternatif yang ramah lingkungan untuk insektisida kimia.

## 2. Mikroba

Mikroba mencakup berbagai macam mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, dan virus, yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bentuk, seperti kultur hidup, spora, atau metabolit. Salah satu agen pengendali hayati mikroba yang paling dikenal adalah *Bacillus thuringiensis* (Bt), bakteri yang menghasilkan protein kristal yang beracun bagi larva serangga tertentu. Bt sangat efektif terhadap ulat, sehingga menjadi pilihan populer di kalangan petani organik untuk mengendalikan hama seperti penggerek batang jagung (*Ostrinia nubilalis*). Penelitian telah menunjukkan bahwa Bt dapat secara signifikan mengurangi populasi hama sekaligus aman bagi organisme nontarget (Magagnoli et al., 2021; Smith et al., 2019; Tan et al., 2011).

Agen mikroba terkenal lainnya adalah jamur *Beauveria bassiana*, yang menginfeksi dan membunuh berbagai hama serangga, termasuk *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*, *Aphid* sp, dan *Plutella xylostella*. Jamur entomopatogen ini diaplikasikan sebagai biopestisida dan telah terbukti efektif mengendalikan populasi hama di berbagai tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa *B. bassiana* dapat menyebabkan tingkat kematian yang tinggi pada hama sasaran, sehingga menjadikannya sebagai agen biokontrol yang penting dalam pengelolaan hama terpadu (Afandhi et al., 2021; Iida et al., 2023; Jang et al., 2023; Saif et al., 2024)

## 3. Semiochemicals

Semiochemicals adalah senyawa kimia yang dikeluarkan oleh tumbuhan dan hewan yang berdampak pada transmisi pesan atau sinyal kepada organisme lain, yang memengaruhi perilaku mereka. Senyawa ini dapat digunakan dalam pengelolaan hama sebagai pengusir, pemikat, atau untuk mengganggu perilaku kawin.

Misalnya, feromon sering digunakan dalam perangkap untuk memikat serangga jantan, sehingga secara efektif mengurangi populasinya.

Penggunaan feromon seks untuk mengendalikan ngengat penggerek buah apel (*Cydia pomonella*) di kebun apel merupakan kisah sukses yang penting. Perangkap yang diberi umpan feromon sintetis telah secara signifikan mengurangi jumlah hama, sehingga menghasilkan tanaman apel yang lebih sehat (Skenderasi et al., 2023; Whitfield and Fountain, 2024).

Selain itu, zat volatil tanaman dapat menarik serangga yang bermanfaat, seperti parasitoid, ke area tersebut, sehingga meningkatkan pengendalian hama secara alami. Penelitian telah menunjukkan bahwa tanaman tertentu dapat mengeluarkan senyawa organik volatil yang menarik musuh alami hama, sehingga meningkatkan strategi pengelolaan hama (Li et al., 2020; Tamiru and Khan, 2017).

#### 4. Zat Alami

Zat alami berasal dari tanaman, mineral, atau hewan dan dapat digunakan untuk mengusir atau mengendalikan hama. Zat-zat ini dapat diekstraksi secara langsung atau disintesis untuk meniru zat alami. Minyak nimba, yang diekstraksi dari biji pohon nimba (*Azadirachta indica*), adalah biopestisida terkenal yang menunjukkan sifat insektisida terhadap berbagai hama, termasuk kutu daun, lalat putih, dan ulat. Senyawa aktifnya mengganggu sistem hormonal serangga, mencegah mereka tumbuh dan berkembang biak (Bezerra et al., 2021; Chaudhary et al., 2017).

Setiap kategori agen pengendalian hayati seperti makrobia, mikroba, semiokimia, dan zat alami, memiliki kelebihan dan tantangannya sendiri. Penerapan metode ini secara sukses memerlukan pertimbangan cermat tentang kompatibilitas ekologis, biologi hama, kelayakan ekonomi, dan kerangka regulasi. Seiring dengan sektor pertanian yang terus mencari solusi berkelanjutan, peran agen pengendalian hayati niscaya akan meningkat, yang berkontribusi pada sistem pertanian yang tangguh dan produktif.

#### Dampak Positif:

- a. Keseimbangan Ekosistem: BCA dapat secara efektif mengurangi populasi hama sekaligus meningkatkan keanekaragaman hayati, sehingga menghasilkan ekosistem yang lebih seimbang.
- b. Keberlanjutan: BCA menyediakan solusi pengelolaan hama jangka panjang, mengurangi kebutuhan akan intervensi kimia, dan meminimalkan dampak lingkungan.
- c. Kekhususan: Banyak BCA yang bersifat spesifik terhadap inang, hanya menargetkan spesies hama, yang membantu melestarikan organisme yang bermanfaat dalam ekosistem.

#### Dampak Negatif:

- a. Efikasi Terbatas: Efektivitas BCA dapat bervariasi berdasarkan kondisi lingkungan dan tekanan hama, terkadang menyebabkan pengendalian yang tidak memadai.
- b. Dampak Non-target: Ada risiko bahwa BCA dapat secara tidak sengaja memengaruhi spesies non-target, termasuk serangga bermanfaat dan organisme lain dalam ekosistem.
- c. Tantangan Pembentukan: Pembentukan BCA yang berhasil di lingkungan baru dapat menjadi sulit, memerlukan kondisi ekologis tertentu.

## 10.3 Faktor Penting dalam Keberhasilan Aplikasi Biokontrol Hama

### 10.3.1 Pemahaman tentang Biologi dan Ekologi Hama

Pemahaman yang komprehensif tentang biologi dan ekologi hama sasaran sangat penting untuk keberhasilan penerapan strategi pengendalian hayati (biocontrol). Pengetahuan ini mencakup berbagai aspek, termasuk siklus hidup, perilaku, dan dinamika populasi spesies hama. Misalnya, mengenali tahap kehidupan hama, seperti ulat kapas (*Helicoverpa armigera*), sangat penting untuk menentukan waktu pelepasan agen pengendalian hayati secara efektif.

Ulat kapas mengalami beberapa instar sebelum mencapai imago, dan menargetkan hama selama fase bertelur dapat secara signifikan meningkatkan efektivitas agen pengendalian hayati seperti tawon parasitoid *Trichogramma* spp., yang secara khusus menargetkan telur ulat kapas (Laurentis et al., 2019).

Selain itu, memahami pola perilaku hama dapat menginformasikan waktu dan metode aplikasi agen pengendalian hayati. Misalnya, tungau predator *Phytoseiulus persimilis* paling efektif terhadap tungau laba-laba (*Tetranychus urticae*) saat populasi tungau laba-laba masih rendah (Yanar et al., 2019). Jika populasi tungau laba-laba telah melonjak, tungau predator mungkin kesulitan mengendalikan wabah secara efektif. Oleh karena itu, pemantauan populasi hama secara terus-menerus sangat penting untuk memastikan bahwa agen pengendalian hayati diperkenalkan pada saat yang paling tepat.

Selain itu, interaksi ekologis antara hama dan lingkungannya harus diperhitungkan. Kehadiran inang atau mangsa alternatif dapat secara signifikan memengaruhi efektivitas agen pengendalian hayati. Misalnya, jika agen pengendalian hayati, seperti kumbang predator, memiliki akses ke sumber makanan alternatif, agen tersebut mungkin tidak secara efektif menargetkan hama yang dimaksud (Koss and Snyder, 2005). Hal ini

menyoroti pentingnya memahami konteks ekologi tempat strategi pengendalian hayati diterapkan.

Lebih jauh, dampak faktor lingkungan terhadap populasi hama tidak boleh diabaikan. Perubahan suhu, kelembapan, dan struktur habitat semuanya dapat memengaruhi dinamika hama dan kinerja agen pengendalian hayati. Misalnya, hama tertentu dapat berkembang biak dalam kondisi iklim tertentu, yang dapat memengaruhi laju pertumbuhan populasinya. Dengan memahami faktor lingkungan ini, praktisi dapat memprediksi wabah hama dengan lebih baik dan menyesuaikan strategi pengendalian hayati mereka.

Singkatnya, pemahaman menyeluruh tentang biologi dan ekologi hama sangat penting bagi keberhasilan strategi pengendalian hayati. Dengan mengenali siklus hidup, perilaku, dan interaksi ekologis hama sasaran, praktisi dapat membuat keputusan yang tepat terkait waktu dan pemilihan agen pengendalian hayati. Pengetahuan ini tidak hanya meningkatkan efektivitas metode pengendalian hayati tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan praktik pengelolaan hama secara keseluruhan.

### 10.3.2 Pemilihan Agen Pengendalian Hayati yang Tepat

Pemilihan agen pengendalian hayati yang tepat merupakan faktor penting dalam keberhasilan strategi pengelolaan hama. Berbagai pertimbangan harus diperhatikan, termasuk spesifisitas inang agen, keefektifannya terhadap hama sasaran, dan kompatibilitas dengan ekosistem setempat. Misalnya, tawon parasitoid *Aphidius colemani* merupakan agen pengendalian hayati yang efektif untuk mengelola populasi kutu daun di lingkungan rumah kaca (Emaru et al., 2023; Goh et al., 2001). Spesifisitasnya terhadap kutu daun meminimalkan risiko membahayakan serangga yang bermanfaat, seperti penyerbuk, yang penting untuk produksi tanaman.

Sebaliknya, pengenalan predator generalis, seperti lacewing hijau (*Chrysoperla carnea*), dapat menyebabkan konsekuensi yang tidak diinginkan jika memangsa serangga yang bermanfaat juga (Hagen et al., 1999). Oleh karena itu, praktisi harus mengevaluasi dengan cermat peran

ekologis agen pengendalian hayati potensial untuk memastikan mereka hanya menargetkan hama yang dimaksud. Spesifisitas ini penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mencegah dampak negatif pada spesies yang bukan sasaran.

Aspek penting lainnya dalam memilih agen pengendalian hayati adalah memahami persyaratan lingkungan dan kisaran inangnya. Misalnya, jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* efektif terhadap berbagai hama serangga, tetapi kinerjanya sangat bergantung pada kondisi lingkungan tertentu, seperti kelembapan dan suhu. Penelitian telah menunjukkan bahwa *B. bassiana* tumbuh subur di lingkungan yang lembap, sehingga lebih efektif dalam pengaturan pertanian tertentu (Mishra et al., 2015). Oleh karena itu, praktisi harus menilai kondisi lingkungan untuk memastikan kondisi tersebut mendukung pembentukan dan perkembangbiakan agen pengendali hayati yang dipilih.

Selain itu, kompatibilitas agen pengendali hayati dengan praktik pengelolaan hama yang ada harus dievaluasi. Jika pestisida kimia digunakan secara bersamaan, pestisida tersebut dapat berdampak negatif pada kelangsungan hidup dan efektivitas agen pengendali hayati. Misalnya, insektisida berspektrum luas dapat membahayakan serangga yang bermanfaat, termasuk agen pengendali hayati, yang menyebabkan berkurangnya kemanjuran pengendalian hama. Oleh karena itu, memilih agen pengendali hayati yang dapat bertahan atau tumbuh subur di hadapan pestisida tertentu sangat penting untuk keberhasilan.

Sebagai kesimpulan, pemilihan agen pengendali hayati yang tepat adalah proses multifaset yang memerlukan pertimbangan cermat terhadap spesifisitas inang, kondisi lingkungan, dan kompatibilitas dengan praktik pengelolaan hama yang ada. Dengan memilih agen yang tepat, praktisi dapat meningkatkan efektivitas strategi pengendalian hayati sambil meminimalkan risiko dampak negatif pada spesies non-target dan ekosistem secara keseluruhan.

### 10.3.3 Kondisi Lingkungan

Konteks lingkungan tempat agen pengendalian hayati digunakan berperan penting dalam efektivitasnya. Berbagai faktor, termasuk suhu, kelembapan, dan struktur habitat, dapat memengaruhi kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi agen pengendalian hayati. Misalnya, tungau predator *Neoseiulus californicus* sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan, khususnya suhu dan kelembapan. Penelitian telah menunjukkan bahwa tungau ini tumbuh subur di lingkungan yang hangat dan lembap, sehingga lebih efektif dalam kondisi rumah kaca yang terkendali, tempat faktor-faktor tersebut dapat dioptimalkan (Walzer et al., 2007).

Selain itu, ketersediaan tempat berlindung dan sumber makanan di lingkungan dapat memengaruhi pembentukan dan efektivitas agen pengendalian hayati. Misalnya, menanam tanaman berbunga yang menghasilkan nektar dan serbuk sari dapat menarik serangga bermanfaat, seperti parasitoid dan penyerbuk, sehingga meningkatkan efektivitasnya dalam pengendalian hama. Kehadiran vegetasi yang beragam dapat menciptakan lingkungan yang lebih ramah bagi agen pengendalian hayati, sehingga meningkatkan peluang mereka untuk bertahan hidup dan bereproduksi (Wang et al., 2023).

Selain itu, waktu pelepasan agen pengendalian hayati harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan. Misalnya, melepaskan nematoda entomopatogen *Steinernema carpocapsae* selama periode kelembapan tanah tinggi dapat meningkatkan efektivitasnya terhadap hama yang hidup di tanah. Sebaliknya, melepaskannya selama kondisi kering dapat mengurangi kemanjurannya. Oleh karena itu, praktisi harus memantau kondisi lingkungan dan menyesuaikan strategi pelepasan mereka (Ramakrishnan et al., 2022).

Lebih jauh, praktisi harus mempertimbangkan dampak potensial dari perubahan lingkungan, seperti variabilitas iklim, pada strategi pengendalian hayati. Pergeseran suhu dan pola presipitasi dapat memengaruhi populasi hama dan kinerja agen pengendalian hayati. Misalnya, suhu yang lebih

hangat dapat mempercepat perkembangan hama, yang menyebabkan peningkatan tekanan hama. Oleh karena itu, pemantauan kondisi lingkungan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengadaptasi strategi pengendalian hayati terhadap keadaan yang berubah.

Singkatnya, kondisi lingkungan merupakan faktor penting yang memengaruhi keberhasilan strategi pengendalian hayati. Dengan memahami persyaratan khusus agen pengendalian hayati dan konteks ekologi tempat mereka beroperasi, praktisi dapat meningkatkan efektivitas upaya pengelolaan hama. Pengetahuan ini memungkinkan pengoptimalan strategi pengendalian hayati, yang pada akhirnya berkontribusi pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

### 10.3.4 Integrasi dengan Strategi Pengendalian Hama Lainnya

Pengendalian hayati harus dilihat sebagai bagian dari pendekatan pengelolaan hama terpadu (IPM) yang lebih luas, bukan sebagai bagian yang berdiri sendiri. Implementasi pengendalian hayati yang berhasil sering kali memerlukan integrasi berbagai strategi pengelolaan hama, termasuk praktik kultural, pengendalian mekanis, dan, jika perlu, penggunaan pestisida kimia yang bijaksana.

Misalnya, menggabungkan penggunaan tawon parasitoid *Trichogramma* sp. dengan praktik kultural seperti rotasi tanaman dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan hama secara keseluruhan (Gonzalez-Cabrera et al., 2025). Rotasi tanaman mengganggu siklus hidup hama, sehingga hama menjadi lebih sulit berkembang biak.

Selain itu, pengendalian mekanis, seperti jaring serangga atau perangkap, dapat digunakan bersama dengan agen pengendalian hayati untuk memberikan penekanan hama secara langsung sekaligus memungkinkan agen pengendalian hayati berkembang biak. Misalnya, penggunaan perangkap lengket untuk menangkap hama dewasa dapat mengurangi jumlah hama, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk berkembang biaknya agen pengendalian hayati seperti serangga predator

(Domingues et al., 2022; Shi et al., 2021). Pendekatan terpadu ini dapat menghasilkan hasil pengelolaan hama yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada masukan kimia.

Lebih jauh lagi, pengaturan waktu intervensi sangat penting untuk memaksimalkan efektivitas agen pengendalian hayati dan strategi pengelolaan hama lainnya. Misalnya, penerapan agen pengendalian hayati mikroba seperti *Bacillus thuringiensis* (Bt) bersamaan dengan pelepasan musuh alami dapat menciptakan efek sinergis, yang mengarah pada pengendalian hama yang lebih efektif (Romeis et al., 2019). Dengan mengoordinasikan pengaturan waktu intervensi ini, praktisi dapat meningkatkan dampak keseluruhan dari upaya pengelolaan hama mereka.

Selain itu, pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap populasi hama dan kinerja agen pengendalian hayati sangat penting untuk menilai keberhasilan strategi pengelolaan hama terpadu. Pelacakan kepadatan hama dan dampak agen pengendalian hayati secara berkala memungkinkan praktisi untuk membuat keputusan yang tepat mengenai pengaturan waktu dan metode intervensi. Pendekatan pengelolaan adaptif ini memastikan bahwa strategi pengelolaan hama tetap efektif dari waktu ke waktu.

Sebagai kesimpulan, mengintegrasikan pengendalian hayati dengan strategi pengelolaan hama lainnya sangat penting untuk mencapai pengendalian hama yang berkelanjutan. Dengan menggabungkan berbagai pendekatan, praktisi dapat meningkatkan efektivitas keseluruhan upaya pengelolaan hama sekaligus meminimalkan ketergantungan pada pestisida kimia. Pendekatan holistik ini berkontribusi pada keberlanjutan jangka panjang praktik pertanian dan meningkatkan kesehatan lingkungan.

### 10.3.5 Pemantauan dan Evaluasi

Pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap populasi hama dan kinerja agen pengendalian hayati sangat penting untuk menilai keberhasilan strategi pengendalian hayati. Pelacakan kepadatan hama dan dampak agen pengendalian hayati secara berkala memungkinkan praktisi untuk membuat keputusan yang tepat terkait waktu dan metode intervensi.

Misalnya, pemantauan dinamika populasi hama sasaran dapat membantu menentukan waktu yang optimal untuk melepaskan agen pengendalian hayati, memastikan bahwa agen tersebut diperkenalkan saat populasi hama masih dapat dikelola.

Pemantauan yang efektif melibatkan penggunaan berbagai teknik, seperti inspeksi visual, perangkap, dan metode pengambilan sampel, untuk menilai populasi hama. Misalnya, perangkap lengket dapat digunakan untuk menangkap hama dewasa, yang memberikan data berharga tentang tingkat populasi dan pola aktivitasnya. Informasi ini dapat memandu praktisi dalam memutuskan kapan akan melepaskan agen pengendalian hayati atau menerapkan tindakan pengelolaan hama tambahan (Domingues et al., 2022; Koller et al., 2024; Rustia et al., 2020).

Selain itu, mengevaluasi efektivitas agen pengendalian hayati dari waktu ke waktu sangat penting untuk menyempurnakan strategi pengelolaan hama. Misalnya, jika agen pengendalian hayati tertentu tidak bekerja seperti yang diharapkan, praktisi dapat menyesuaikan pendekatan mereka dengan memilih agen alternatif atau memodifikasi strategi pelepasan. Pendekatan manajemen adaptif ini memastikan bahwa strategi manajemen hama tetap efektif dari waktu ke waktu dan dapat disesuaikan dengan kondisi yang berubah.

Selain itu, mendokumentasikan hasil intervensi pengendalian hayati dapat memberikan wawasan berharga untuk upaya manajemen hama di masa mendatang. Dengan berbagi kisah sukses dan pelajaran yang didapat, praktisi dapat berkontribusi pada basis pengetahuan yang lebih luas tentang strategi pengendalian hayati, mendorong kolaborasi dan inovasi dalam komunitas pertanian. Pengetahuan kolektif ini dapat membantu menginformasikan praktik terbaik dan meningkatkan efektivitas metode pengendalian hayati secara keseluruhan.

Sebagai kesimpulan, pemantauan dan evaluasi merupakan komponen penting dari strategi pengendalian hayati yang berhasil. Dengan terus menilai populasi hama dan kinerja agen pengendalian hayati, praktisi dapat membuat keputusan yang tepat yang meningkatkan efektivitas upaya

manajemen hama. Proses evaluasi yang berkelanjutan ini tidak hanya berkontribusi pada keberhasilan intervensi pengendalian hayati individual tetapi juga mendukung pengembangan praktik manajemen hama yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

### 10.3.6 Pertimbangan Regulasi dan Ekonomi

Terakhir, kerangka regulasi dan faktor ekonomi harus diperhitungkan saat menerapkan strategi pengendalian hayati. Kepatuhan terhadap regulasi lokal dan internasional terkait penggunaan agen pengendalian hayati sangat penting untuk menghindari komplikasi hukum.

Misalnya, pengenalan agen pengendalian hayati non-asli mungkin memerlukan izin dan penilaian risiko menyeluruh untuk memastikan bahwa agen tersebut tidak menimbulkan ancaman bagi ekosistem lokal. Memahami lanskap regulasi sangat penting bagi praktisi untuk menavigasi kompleksitas penerapan pengendalian hayati dengan sukses.

Selain itu, kelayakan ekonomi metode pengendalian hayati dibandingkan dengan pengendalian kimia tradisional harus dievaluasi untuk memastikan bahwa petani dapat mengadopsi praktik ini secara berkelanjutan.

Misalnya, meskipun biaya awal untuk memperkenalkan agen pengendalian hayati mungkin lebih tinggi daripada menerapkan pestisida kimia, manfaat jangka panjang dari pengurangan penggunaan pestisida dan peningkatan kesehatan ekosistem dapat menghasilkan penghematan biaya dari waktu ke waktu. Analisis ekonomi dapat membantu petani menilai laba atas investasi yang terkait dengan strategi pengendalian hayati, sehingga memungkinkan mereka untuk membuat keputusan yang tepat tentang praktik pengelolaan hama.

Lebih jauh lagi, menyediakan akses informasi dan sumber daya terkait pengendalian hayati kepada petani dapat meningkatkan tingkat adopsi. Program pendidikan dan layanan penyuluhan dapat membantu petani memahami manfaat dan tantangan pengendalian hayati, memberdayakan mereka untuk membuat keputusan yang tepat tentang strategi pengelolaan

hama. Dengan menumbuhkan kesadaran dan pengetahuan tentang pengendalian hayati, pemangku kepentingan pertanian dapat mendorong penerapan praktik berkelanjutan yang menguntungkan petani dan lingkungan.

Sebagai kesimpulan, pertimbangan regulasi dan ekonomi merupakan faktor penting yang memengaruhi keberhasilan strategi pengendalian hayati. Dengan memahami regulasi dan mengevaluasi kelayakan ekonomi metode pengendalian hayati, praktisi dapat menavigasi kompleksitas implementasi dan mendorong penerapan praktik pengelolaan hama berkelanjutan. Pendekatan komprehensif ini berkontribusi pada keberhasilan jangka panjang pengendalian hayati di bidang pertanian, yang pada akhirnya mendukung kesehatan lingkungan dan produktivitas pertanian.

Penerapan strategi pengendalian hayati (biokontrol) yang efektif dalam pengelolaan hama bergantung pada beberapa faktor utama. Pemahaman yang komprehensif tentang biologi dan ekologi hama sangat penting untuk menentukan waktu yang optimal untuk melepaskan agen pengendalian hayati dan memastikan bahwa agen tersebut secara efektif menargetkan hama yang diinginkan. Memilih agen pengendalian hayati yang tepat, dengan mempertimbangkan secara cermat kekhususan inangnya dan kebutuhan lingkungannya, sangat penting untuk mengurangi dampak buruk pada spesies yang bukan target dan meningkatkan efektivitas secara keseluruhan.

Faktor lingkungan, termasuk suhu dan struktur habitat, memainkan peran penting dalam kelangsungan hidup dan keberhasilan reproduksi agen pengendalian hayati, yang menyoroti pentingnya pemantauan berkelanjutan dan penyesuaian strategi. Mengintegrasikan pengendalian hayati dengan teknik pengelolaan hama lainnya dalam kerangka pengelolaan hama terpadu (PHT) meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan upaya pengendalian hama secara keseluruhan.

Pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap populasi hama dan kinerja agen pengendalian hayati sangat penting untuk menyempurnakan strategi dan memastikan keberhasilan jangka panjang. Selain itu, perhatian

terhadap kepatuhan terhadap peraturan dan kelayakan ekonomi diperlukan untuk mendorong penerapan metode pengendalian hayati. Dengan menangani faktor-faktor ini secara holistik, praktisi dapat meningkatkan efektivitas strategi pengendalian hayati, yang mengarah pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan hasil pengelolaan hama yang lebih baik.



# Bab 11

## Pengendalin Hama Secara Kimiawi

### 11.1 Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor penting dalam menyediakan kebutuhan pangan bagi manusia. Salah satu tantangan terbesar dalam pertanian adalah serangan hama yang dapat mengurangi hasil panen secara signifikan. Untuk mengatasi permasalahan ini, berbagai metode pengendalian hama telah dikembangkan, salah satunya adalah pengendalian hama secara kimiawi dengan menggunakan insektisida. Insektisida menjadi solusi yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam membasmi hama dengan cepat dan efektif (Harini, Kumbara & Ilmiasari, 2024).

Hama merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan penurunan hasil pertanian di berbagai belahan dunia. Serangan hama dapat menyebabkan kehilangan produksi dalam jumlah besar, baik secara kuantitatif maupun kualitatif (Surbakti, Dewi & Ramadhani, 2024). Dalam

menghadapi ancaman ini, berbagai metode pengendalian telah dikembangkan, mulai dari pengendalian hayati, mekanis, hingga pengendalian kimiawi. Pengendalian kimiawi dengan insektisida masih menjadi pilihan utama bagi banyak petani karena efeknya yang cepat dan efisien dalam mengurangi populasi hama (Mubarok & Nasiruddin, 2024).

Insektisida adalah bahan kimia yang dirancang untuk membunuh atau mengendalikan serangga yang merugikan tanaman. Penggunaannya telah membantu meningkatkan produksi pertanian secara signifikan dengan menekan tingkat serangan hama. Namun, penggunaan yang tidak tepat dapat berdampak negatif, seperti resistensi hama, pencemaran lingkungan, serta efek berbahaya bagi manusia dan hewan non-target. Oleh karena itu, pemahaman mengenai insektisida harus ditingkatkan agar penggunaannya tetap efektif dan berkelanjutan.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan global, petani semakin bergantung pada insektisida untuk melindungi tanaman mereka. Namun, tantangan yang muncul adalah bagaimana menggunakan insektisida dengan cara yang bijak agar tidak menimbulkan dampak negatif yang berkepanjangan. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan yang lebih ilmiah dalam memilih jenis insektisida, menentukan dosis yang tepat, serta waktu aplikasi yang paling efektif.

Beberapa contoh hama utama yang sering menyerang tanaman pertanian antara lain:

1. Wereng coklat (*Nilaparvata lugens*) yang menyerang tanaman padi dan menyebabkan tanaman mengering.
2. Ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) yang menyerang jagung dengan merusak daun dan tongkol.
3. Kutu kebul (*Bemisia tabaci*) yang menyerang sayuran dan menyebabkan penyakit virus tanaman.
4. Lalat buah (*Bactrocera* spp.) yang merusak buah-buahan seperti mangga, cabai, dan tomat.

5. Penggerek batang padi (*Scirpophaga incertulas*) yang menyebabkan tanaman padi roboh dan gagal panen.

Bab ini akan membahas secara mendalam mengenai pengendalian hama secara kimiawi dalam sektor pertanian, khususnya yang berfokus pada insektisida. Pembahasan meliputi jenis-jenis insektisida, mekanisme kerja, metode aplikasi, dampak ekologis, serta strategi penggunaannya yang lebih berkelanjutan. Dengan memahami aspek-aspek tersebut, diharapkan petani dan pemangku kepentingan dapat menerapkan pengendalian hama yang lebih aman dan efisien.

Melalui pembahasan bab ini, pembaca akan memperoleh pemahaman komprehensif tentang bagaimana insektisida bekerja, bagaimana cara menggunakannya secara optimal, serta bagaimana menghindari dampak negatifnya. Dengan pengetahuan yang lebih baik, diharapkan penggunaan insektisida dapat lebih terkontrol sehingga tidak hanya menguntungkan petani, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

## 11.2 Hama Serangga dalam Pertanian dan Dampaknya

Hama serangga merupakan salah satu penyebab utama kegagalan panen di berbagai sektor pertanian. Hama ini menyerang tanaman pada berbagai fase pertumbuhan, mulai dari benih, bibit, hingga tanaman dewasa. Mereka dapat menyebabkan kerusakan langsung, seperti menggerogoti daun dan batang, serta kerusakan tidak langsung, misalnya dengan menjadi vektor penyakit tanaman. Jika dibiarkan tanpa pengendalian yang efektif, serangan hama dapat menyebabkan penurunan hasil panen yang signifikan, bahkan hingga gagal panen.

Salah satu contoh hama yang sering menyerang tanaman pangan adalah wereng coklat (*Nilaparvata lugens*) pada tanaman padi. Menurut Syahrawati et al. (2019) wereng coklat mengisap cairan tanaman,

menyebabkan daun menjadi kuning dan akhirnya mati. Selain itu, wereng coklat juga dapat menularkan penyakit kerdil rumput dan kerdil hampa pada padi, yang semakin memperparah dampak kerusakan. Jika serangan terjadi dalam skala luas, produktivitas padi dapat menurun drastis, mengancam ketahanan pangan di suatu wilayah (Kardinan, Rizal & Maris, 2020).

Selain wereng coklat, ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) juga menjadi ancaman serius bagi tanaman jagung. Hama ini memiliki tingkat reproduksi yang tinggi dan dapat menyebar dengan cepat dalam suatu area pertanian. Larva ulat grayak memakan daun dan tongkol jagung, yang mengakibatkan penurunan hasil panen secara signifikan. Jika pengendalian tidak dilakukan dengan cepat, serangan ulat grayak dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi petani (Afifah et al., 2023).

Hama tidak hanya menyerang tanaman pangan, tetapi juga hortikultura seperti cabai dan tomat. Kutu kebul (*Bemisia tabaci*) adalah salah satu hama yang sering menyerang tanaman hortikultura dengan cara mengisap cairan daun, menyebabkan daun menguning dan menggulung. Selain itu, kutu kebul juga dapat menularkan berbagai virus tanaman, seperti virus kuning pada cabai, yang dapat mengurangi hasil produksi secara drastis (Bahri et al., 2024).

Oleh karena itu, pengendalian hama yang efektif sangat diperlukan dalam sektor pertanian. Salah satu metode yang sering digunakan adalah aplikasi insektisida. Dengan pemilihan insektisida yang tepat dan metode aplikasi yang sesuai, populasi hama dapat ditekan sehingga tanaman dapat tumbuh optimal dan menghasilkan panen yang berkualitas. Namun, penggunaan insektisida harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merugikan lingkungan dan kesehatan manusia.

## 11.3 Konsep Pengendalian Hama Secara Kimiawi

Pengendalian hama secara kimiawi dengan insektisida bertujuan untuk menekan populasi serangga hingga berada di bawah ambang batas ekonomi, yaitu tingkat serangan yang dapat menyebabkan kerugian secara finansial bagi petani. Dalam penggunaannya, insektisida harus diaplikasikan pada waktu yang tepat untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Kesalahan dalam aplikasi dapat menyebabkan efektivitasnya menurun, bahkan dapat menimbulkan dampak negatif seperti resistensi hama dan pencemaran lingkungan (Ibrahim & Sillehu, 2022).

Agar penggunaan insektisida lebih efektif, petani perlu memahami siklus hidup hama. Misalnya, pada serangga dengan metamorfosis sempurna seperti kupu-kupu dan kumbang, aplikasi insektisida akan lebih efektif jika dilakukan pada fase larva dibandingkan fase dewasa. Hal ini karena larva merupakan fase yang paling merusak dan lebih rentan terhadap insektisida dibandingkan serangga dewasa yang memiliki lapisan pelindung lebih kuat (Rostaman, 2023).

Selain memahami siklus hidup hama, petani juga harus memperhatikan dosis dan metode aplikasi yang tepat. Penggunaan dosis yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan resistensi hama terhadap insektisida, sementara dosis yang terlalu rendah mungkin tidak cukup efektif untuk mengendalikan hama. Oleh karena itu, pemilihan dosis yang tepat sesuai dengan rekomendasi pabrik sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keamanan penggunaan insektisida.

Selain itu, rotasi insektisida dengan bahan aktif yang berbeda juga diperlukan untuk mencegah resistensi hama. Jika suatu populasi hama terus-menerus terpapar insektisida dengan bahan aktif yang sama, kemungkinan besar hama tersebut akan mengembangkan ketahanan terhadap insektisida tersebut. Oleh karena itu, pergantian bahan aktif secara berkala menjadi salah satu strategi penting dalam pengendalian hama

secara kimiawi yang berkelanjutan Moekasan, Prabaningrum & Adiyoga, 2014).

Meskipun insektisida sangat efektif dalam mengendalikan hama, penggunaannya harus dilakukan secara bijak dan tidak berlebihan. Penggunaan insektisida yang tidak terkendali dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, membunuh serangga non-target seperti lebah dan kumbang penyerbuk, serta membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penerapan prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT) sangat dianjurkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap insektisida dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

## 11.4 Jenis-Jenis Insektisida dan Mekanisme Kerjanya

Menurut Hudayya dan Jayanti (2013) Insektisida dalam pertanian dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai faktor, termasuk bahan aktifnya, cara kerjanya, dan metode aplikasinya.

Berdasarkan asalnya, insektisida terbagi menjadi dua kelompok utama, yaitu insektisida alami dan insektisida sintetis:

1. Insektisida alami diperoleh dari sumber biologis seperti ekstrak tanaman, misalnya azadirachtin dari neem (*Azadirachta indica*).
2. Sementara itu, insektisida sintetis dikembangkan melalui proses kimiawi di laboratorium, contohnya klorpirifos, imidakloprid, dan lambda-sihalotrin.

Berdasarkan mekanisme kerjanya, insektisida dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis utama:

1. Insektisida kontak bekerja dengan membunuh hama saat terjadi kontak langsung dengan zat aktifnya, misalnya insektisida dari golongan piretroid seperti deltametrin dan sipermetrin.
2. Insektisida sistemik diserap oleh jaringan tanaman dan bekerja dari dalam, efektif terhadap hama pengisap seperti kutu daun dan wereng; contohnya imidakloprid dan tiametoksam.
3. Insektisida inhalasi (fumigan) masuk ke dalam sistem pernapasan hama dalam bentuk gas atau uap, seperti metil bromida dan fosfin.
4. Insektisida pencernaan bekerja setelah hama memakan tanaman yang telah terkontaminasi zat aktif, contohnya karbofuran dan klorantraniliprol.

Selain mekanisme kerja, insektisida juga tersedia dalam berbagai bentuk formulasi untuk mempermudah aplikasinya, yaitu:

1. Formulasi cair (EC - Emulsifiable Concentrate) adalah bentuk konsentrat yang harus dilarutkan sebelum digunakan, contohnya klorpirifos EC dan deltametrin EC.
2. Formulasi butiran (GR - Granule) digunakan untuk aplikasi ke tanah atau perakaran tanaman, seperti karbofuran GR dan fipronil GR.
3. Formulasi tepung (WP - Wettable Powder) harus dicampur dengan air sebelum disemprotkan, misalnya karbaril WP.
4. Formulasi tablet (TB) dan umpan (Bait) yang digunakan untuk serangga tertentu, seperti metomil bait untuk pengendalian hama tanah.

Dalam hal target sistem saraf, beberapa insektisida bekerja dengan menghambat enzim asetilkolinesterase, menyebabkan kelumpuhan dan

kematian serangga. Contohnya adalah insektisida golongan organofosfat seperti klorpirifos dan diazinon, serta golongan karbamat seperti karbaril. Insektisida lain mengganggu kanal ion dalam sistem saraf serangga, seperti golongan piretroid yang memengaruhi kanal natrium, menyebabkan kejang-kejang hingga kematian hama, contohnya permethrin dan cypermethrin. Ada juga insektisida yang bekerja dengan mengganggu pertumbuhan serangga melalui hormon pertumbuhan serangga (IGR - Insect Growth Regulator), seperti diflubenzuron dan pyriproxyfen.

Dengan banyaknya jenis insektisida dan variasi formulasi yang tersedia, petani memiliki pilihan luas dalam pengendalian hama. Namun, pemilihan insektisida harus didasarkan pada jenis hama, lingkungan, serta efektivitasnya terhadap target organisme.

Penggunaan insektisida secara tepat dan bijaksana sangat penting untuk menghindari dampak negatif, seperti resistensi hama dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai berbagai jenis insektisida, mekanisme kerja, dan bentuk formulasinya menjadi hal yang sangat penting dalam pertanian modern.

## 11.5 Metode Aplikasi Insektisida yang Efektif

Efektivitas insektisida dalam mengendalikan hama sangat bergantung pada metode aplikasinya. Metode aplikasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan insektisida serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan organisme non-target (Putra, Himawan & Choliq, 2024).

Secara umum, ada beberapa metode utama dalam aplikasi insektisida, yaitu penyemprotan, perendaman benih, pengocoran tanah, pengasapan (fumigasi), dan umpan beracun:

1. Metode penyemprotan (spraying) adalah yang paling umum digunakan dalam pertanian. Penyemprotan dapat dilakukan

dengan menggunakan alat semprot manual, mesin sprayer, atau pesawat penyemprot udara (aerial spraying). Agar penyemprotan efektif, petani harus memastikan bahwa larutan insektisida mengenai seluruh bagian tanaman yang berisiko terserang hama, termasuk permukaan bawah daun. Teknik penyemprotan juga harus disesuaikan dengan jenis hama yang ditargetkan untuk memastikan efektivitasnya (Pratamasari, Winata & Rusba, 2024).

2. Selain penyemprotan, metode perendaman benih juga sering digunakan, terutama untuk mengendalikan hama yang menyerang sejak tahap awal pertumbuhan tanaman. Dalam metode ini, benih tanaman direndam dalam larutan insektisida sebelum ditanam, sehingga tanaman muda memiliki perlindungan sejak dini terhadap serangan hama. Metode ini banyak digunakan pada tanaman padi dan jagung untuk melindungi dari serangan hama perusak akar dan batang (Aryana & Sudika, 2024)..
3. Metode lain yang cukup efektif adalah pengocoran tanah dengan insektisida sistemik. Metode ini digunakan untuk mengendalikan hama yang menyerang perakaran tanaman, seperti uret dan nematoda. Insektisida yang diaplikasikan ke tanah akan diserap oleh akar tanaman dan didistribusikan ke seluruh jaringan tanaman, sehingga hama yang mengisap cairan tanaman akan mati setelah terpapar zat aktif insektisida. Metode ini sering digunakan pada tanaman hortikultura seperti tomat, cabai, dan kentang (Setiawati, Udiarto & Riskiawan, 2022).
4. Terakhir, metode pengasapan (fumigasi) dan umpan beracun digunakan untuk mengendalikan hama pada kondisi tertentu. Pengasapan menggunakan gas insektisida dilakukan dalam ruang tertutup, seperti gudang penyimpanan hasil panen, untuk membunuh serangga tanpa meninggalkan residu pada produk

pertanian. Sementara itu, umpan beracun digunakan untuk mengendalikan hama tanah atau serangga yang memiliki kebiasaan makan tertentu. Penggunaan metode yang tepat dan sesuai dengan jenis hama yang ditargetkan akan memberikan hasil pengendalian yang optimal tanpa merusak lingkungan.

## 11.6 Dampak Penggunaan Insektisida Terhadap Lingkungan

Penggunaan insektisida dalam pertanian tidak hanya berdampak pada pengendalian hama, tetapi juga dapat menimbulkan efek samping terhadap lingkungan. Salah satu dampak utama adalah pencemaran tanah dan air. Insektisida yang tidak terurai dengan cepat dapat mengendap di dalam tanah, mengganggu keseimbangan mikroorganisme, dan menurunkan kesuburan tanah. Selain itu, jika insektisida terbawa air hujan ke aliran sungai dan danau, dapat mencemari sumber air serta membahayakan organisme akuatik (Ibrahim & Sillehu, 2022).

Dampak lain yang sering terjadi adalah kematian serangga non-target, seperti lebah dan kupu-kupu, yang berperan dalam proses penyerbukan. Beberapa insektisida, terutama dari golongan neonicotinoid dan piretroid, diketahui dapat membunuh lebah secara langsung atau mengganggu sistem sarafnya, sehingga lebah tidak dapat kembali ke sarangnya. Penurunan populasi lebah akibat paparan insektisida dapat berdampak serius terhadap produktivitas tanaman yang bergantung pada penyerbukan serangga (Sinambela, 2024).

Selain itu, penggunaan insektisida yang berlebihan dapat menyebabkan resistensi hama. Resistensi terjadi ketika populasi hama mengalami seleksi alam akibat paparan berulang terhadap insektisida, sehingga hanya individu yang tahan terhadap insektisida yang dapat bertahan dan berkembang biak. Dalam jangka panjang, hal ini membuat insektisida menjadi kurang efektif

dan memaksa petani untuk meningkatkan dosis atau mencari alternatif insektisida lain, yang akhirnya memperburuk dampak lingkungan (Sinambela, 2024).

Pencemaran udara juga menjadi salah satu dampak dari penggunaan insektisida, terutama ketika metode aplikasi yang digunakan kurang tepat. Penyemprotan insektisida dengan pesawat udara atau dalam kondisi angin kencang dapat menyebabkan drift atau penyebaran partikel insektisida ke area yang tidak ditargetkan. Akibatnya, tanaman lain yang tidak memerlukan perlindungan dapat ikut terpapar, dan residu insektisida dapat mengendap pada produk pertanian yang dikonsumsi manusia (Ibrahim & Sillehu, 2022).

Oleh karena itu, diperlukan strategi penggunaan insektisida yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan dosis yang tepat, pemilihan insektisida dengan tingkat toksisitas rendah, serta penerapan teknik aplikasi yang efisien dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, integrasi dengan metode pengendalian hama lain, seperti pengendalian hayati dan rotasi tanaman, dapat menjadi solusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimiawi.

## 11.7 Strategi Penggunaan Insektisida Yang Berkelanjutan

Untuk memastikan keberlanjutan dalam penggunaan insektisida, diperlukan strategi yang lebih terencana dan bertanggung jawab. Salah satu strategi utama adalah penerapan Prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT merupakan pendekatan yang menggabungkan berbagai metode pengendalian, termasuk pengendalian hayati, mekanis, dan kimiawi, dengan tujuan menekan populasi hama tanpa merusak keseimbangan ekosistem.

Rotasi dan diversifikasi penggunaan insektisida juga menjadi strategi penting dalam mencegah resistensi hama. Dengan menggunakan insektisida yang memiliki mekanisme kerja berbeda secara bergantian, hama tidak akan mudah beradaptasi terhadap satu jenis bahan aktif tertentu. Selain itu, penggunaan insektisida berbasis biologi, seperti ekstrak tumbuhan dan mikroorganisme, juga mulai dikembangkan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Pemilihan waktu aplikasi yang tepat dapat meningkatkan efektivitas insektisida dan mengurangi risiko dampak negatifnya. Misalnya, penyemprotan insektisida sebaiknya dilakukan pada pagi atau sore hari ketika angin tidak terlalu kencang, sehingga mengurangi risiko penyebaran yang tidak diinginkan. Selain itu, aplikasi insektisida sebaiknya dilakukan hanya jika populasi hama telah mencapai ambang batas ekonomi, sehingga menghindari penggunaan yang berlebihan dan tidak perlu.

Pelatihan dan edukasi bagi petani juga sangat penting dalam memastikan penggunaan insektisida yang bertanggung jawab. Banyak petani masih kurang memahami cara pencampuran, dosis, dan metode aplikasi yang benar, sehingga sering kali terjadi kesalahan dalam penggunaan insektisida. Dengan adanya penyuluhan yang lebih intensif, petani dapat diberikan panduan mengenai insektisida yang aman dan efektif serta cara-cara untuk meminimalkan dampak negatifnya.

Terakhir, peran pemerintah dan lembaga pengawas dalam mengatur penggunaan insektisida juga sangat penting. Regulasi yang ketat mengenai pendaftaran, distribusi, dan penggunaan insektisida dapat membantu mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan kesehatan manusia. Selain itu, penelitian terus-menerus dalam mengembangkan insektisida yang lebih selektif dan ramah lingkungan akan menjadi kunci utama dalam menjaga keberlanjutan sistem pertanian di masa depan.

Pengendalian hama secara kimiawi dengan insektisida merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam sektor pertanian karena efektivitasnya dalam menekan populasi hama. Namun, penggunaan insektisida harus dilakukan secara bijaksana untuk menghindari dampak

negatif terhadap lingkungan, manusia, dan organisme non-target. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai jenis-jenis insektisida, mekanisme kerja, dan metode aplikasinya sangat diperlukan.

Dampak negatif dari insektisida, seperti pencemaran tanah dan air, resistensi hama, serta kematian serangga non-target, menjadi tantangan yang harus diatasi dalam penggunaan bahan kimia ini. Dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan, banyak pihak mulai mencari cara untuk menggunakan insektisida secara lebih efisien dan ramah lingkungan, termasuk dengan menerapkan strategi pengendalian yang lebih berkelanjutan.

Prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT) menjadi pendekatan yang semakin banyak diterapkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap insektisida. Dengan mengombinasikan metode pengendalian hayati, mekanis, dan budaya, petani dapat menekan populasi hama dengan lebih efektif tanpa menyebabkan kerusakan ekosistem yang berlebihan. Selain itu, diversifikasi dan rotasi insektisida juga menjadi strategi yang penting dalam mencegah resistensi hama.

Pelatihan dan edukasi bagi petani sangat diperlukan agar mereka dapat memahami cara penggunaan insektisida yang aman dan efektif. Penyuluhan mengenai dosis, waktu aplikasi, dan teknik pencampuran yang benar dapat membantu meningkatkan efektivitas pengendalian hama serta mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. Selain itu, peran pemerintah dalam mengawasi distribusi dan penggunaan insektisida sangat penting untuk memastikan bahwa bahan kimia yang digunakan sesuai dengan standar keamanan yang ditetapkan.

Dengan penerapan strategi yang lebih berkelanjutan, penggunaan insektisida dalam sektor pertanian dapat lebih terkendali dan memberikan manfaat yang maksimal tanpa merusak lingkungan. Melalui pendekatan yang lebih ilmiah dan bertanggung jawab, diharapkan sistem pertanian dapat terus berkembang secara produktif dan berkelanjutan, sehingga kebutuhan pangan global tetap terpenuhi tanpa mengorbankan kesehatan manusia dan ekosistem.



# Bab 12

## Pengendalian Penyakit secara Mekanis

### 12.1 Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor strategis dalam menunjang ketahanan pangan nasional serta menyediakan bahan baku bagi berbagai industri (Rhofita, 2022). Namun dalam praktiknya, usaha tani kerap dihadapkan pada berbagai kendala, salah satunya serangan penyakit tanaman. Penyakit tanaman adalah gangguan fisiologis yang disebabkan oleh patogen seperti cendawan, bakteri, virus, nematoda, maupun organisme lainnya yang dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil pertanian (Agrios, 2005). Penyakit tanaman dapat menurunkan produktivitas secara signifikan, bahkan menyebabkan kegagalan panen apabila tidak ditangani dengan tepat.

Selama ini, pengendalian penyakit tanaman umumnya mengandalkan penggunaan pestisida kimia. Meskipun efektif dalam waktu singkat, penggunaan pestisida secara berlebihan dapat menimbulkan dampak

negatif terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan ketahanan ekosistem pertanian. Selain itu, munculnya patogen yang resisten terhadap bahan kimia menjadi masalah baru yang perlu diwaspadai (Pimentel, 2005).

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pengendalian penyakit tanaman secara mekanis. Pengendalian mekanis merupakan metode pengendalian yang dilakukan secara fisik dengan cara pemangkasan bagian tanaman yang sakit, pencabutan dan pembakaran tanaman terinfeksi, pembersihan lahan, dan pemasangan perangkap vektor penyakit (Nuryanto, 2018).

Pengendalian secara mekanis memiliki keunggulan karena relatif mudah dilakukan, tidak meninggalkan residu kimia, dan dapat diterapkan sebagai bagian dari sistem pengelolaan hama dan penyakit terpadu (Integrated Pest Management, IPM) (Sutraman, Prihatingrum and Agus, 2020). Meskipun sering kali dianggap sederhana, pengendalian secara mekanis terbukti efektif apabila dilakukan dengan tepat dan terintegrasi dengan metode pengendalian lainnya.

## 12.2 Konsep Dasar Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman merupakan suatu kondisi abnormal pada tanaman yang menyebabkan gangguan terhadap proses fisiologis normal sehingga menurunkan produktivitas dan kualitas hasil panen. Penyakit tanaman adalah suatu proses atau hasil interaksi yang merugikan antara tanaman dengan organisme patogen atau faktor lingkungan yang menyebabkan terganggunya fungsi fisiologis tanaman (Agrios, 2005). Kondisi ini ditandai dengan adanya perubahan morfologi, anatomi, dan fisiologi tanaman yang bersifat negatif.

Penyakit tanaman dapat menimbulkan gejala sistemik maupun gejala lokal. Gejala sistemik muncul pada seluruh bagian tanaman dan menyebar melalui jaringan pembuluh, sedangkan gejala lokal hanya terbatas pada bagian tertentu, seperti daun, batang, dan akar (Soesanto et al., 2012).

Organisme penyebab penyakit tanaman disebut patogen. Patogen dapat berupa cendawan, bakteri, virus, nematoda dan organisme seperti fitoplasma, protozoa, dan alga (Agrios, 2005).

Cendawan menyebabkan penyakit pada tanaman pertanian seperti busuk akar, layu fusarium, dan bercak daun. Cendawan dapat berkembang melalui spora yang menyebar melalui udara, air, atau perantara lainnya.

Bakteri dapat menyebabkan penyakit seperti hawar daun bakteri, busuk lunak, dan kanker batang. Penyebaran bakteri biasanya melalui percikan air hujan, alat pertanian, dan serangga vektor.

Virus bersifat parasit obligat dan hanya dapat berkembang di dalam sel tanaman. Penyakit akibat virus menyebabkan mosaik, keriting daun, dan belang-belang. Penyebaran virus umumnya melalui serangga vektor seperti kutu daun, wereng, dan thrips.

Nematoda adalah cacing mikroskopis yang hidup di tanah dan akar tanaman. Serangan nematoda dapat menyebabkan tanaman kerdil, layu, dan kerusakan akar.

Serangan penyakit tanaman dapat menimbulkan berbagai dampak merugikan, diantaranya: penurunan hasil produksi baik secara kuantitas maupun kualitas, peningkatan biaya produksi akibat kebutuhan pengendalian dan pemeliharaan tanaman, gangguan keseimbangan ekosistem pertanian akibat penggunaan pestisida yang berlebihan untuk menanggulangi penyakit, kerugian ekonomi bagi petani dan konsumen karena naiknya harga produk pertanian akibat penurunan hasil (Susanti, Surmaini and Estiningtyas, 2020).

## 12.3 Prinsip Pengendalian Penyakit Tanaman

Pengendalian penyakit tanaman adalah serangkaian usaha yang dilakukan untuk mencegah, menghambat, atau menekan perkembangan penyakit agar tidak menimbulkan kerugian ekonomi yang besar pada hasil pertanian. Pengendalian penyakit bertujuan untuk menjaga kestabilan ekosistem pertanian sekaligus melindungi tanaman dari serangan patogen secara efektif dan berkelanjutan (Agrios, 2005).

Beberapa prinsip dasar dalam pengendalian penyakit tanaman yaitu: (Indiati dan Marwoto, 2017):

1. Pencegahan (Prevention)  
Upaya mencegah patogen masuk atau berkembang di lahan pertanian.
2. Eradikasi (Eradication)  
Penghilangan sumber penyakit, seperti mencabut dan memusnahkan tanaman sakit.
3. Proteksi (Protection)  
Melindungi tanaman sehat dengan cara fisik atau kimia.
4. Terapi (Therapy)  
Pengobatan tanaman yang sudah terinfeksi agar tidak menyebar.
5. Pengendalian Terpadu (Integrated Pest Management, IPM)  
Mengkombinasikan berbagai metode pengendalian agar hasil lebih optimal dan ramah lingkungan.

Metode pengendalian penyakit tanaman terdiri atas: (Suriani, Djaenuddin dan Muis, 2018):

1. Pengendalian penyakit tanaman secara kultur teknis  
Meliputi rotasi tanaman, pengaturan jarak tanam, sanitasi lahan, dan pemilihan varietas tahan penyakit.

2. Pengendalian penyakit tanaman secara mekanis  
Pengendalian secara fisik melalui tindakan langsung seperti pemangkasan, pencabutan, perangkap, dan pembersihan alat.
3. Pengendalian penyakit tanaman secara kimiawi  
Menggunakan pestisida atau fungisida sesuai dosis dan anjuran
4. Pengendalian penyakit tanaman secara hayati  
Menggunakan agens hayati seperti *Trichoderma* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* untuk menekan perkembangan patogen.

Peran pengendalian secara mekanis dalam konsep Pengendalian Hama dan Penyakit Terpadu (Integrated Pest Management, IPM). IPM adalah pendekatan yang menggabungkan berbagai teknik pengendalian untuk menjaga keseimbangan lingkungan dan produktivitas pertanian.

Keunggulan metode pengendalian secara mekanis dalam IPM antara lain: tidak meninggalkan residu kimia, mudah dilakukan, dapat diterapkan di berbagai kondisi lingkungan, menjadi tindakan awal untuk mengurangi sumber inokulum penyakit. Keterpaduan pengendalian secara mekanis dengan metode kultur teknis, biologis, dan hayati mampu menciptakan sistem budidaya tanaman yang lebih sehat dan berkelanjutan (Indiati dan Marwoto, 2017).

## 12.4 Pengendalian Penyakit Tanaman secara Mekanis

Pengendalian penyakit tanaman secara mekanis adalah upaya pengendalian yang dilakukan melalui tindakan fisik secara langsung terhadap sumber penyakit, inang sakit, maupun lingkungan sekitar tanaman dengan tujuan untuk mencegah, menekan, atau menghambat perkembangan penyakit tanpa menggunakan bahan kimia. Cara ini melibatkan aktivitas seperti pencabutan, pemangkasan, pembakaran tanaman sakit, pembersihan alat, pemasangan perangkap, serta pengaturan lingkungan secara fisik.

Metode ini termasuk salah satu komponen penting dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Terpadu (IPM) karena bersifat ramah lingkungan, mudah diterapkan, serta dapat menekan penggunaan pestisida kimia secara berlebihan (Pimentel, 2005).

Pengendalian penyakit tanaman secara mekanis memiliki beberapa tujuan utama, antara lain: mengurangi atau menghilangkan sumber inokulum penyakit, mencegah penyebaran penyakit ke tanaman sehat, memperbaiki kondisi lingkungan agar tidak mendukung perkembangan patogen, meminimalisir penggunaan pestisida kimia, menjaga kelestarian lingkungan dan kesehatan ekosistem pertanian.

Beberapa prinsip dasar yang harus diperhatikan dalam penerapan pengendalian penyakit tanaman secara mekanis adalah:

1. Cepat dan tepat

Tindakan pengendalian harus dilakukan segera setelah gejala penyakit terdeteksi agar penyebaran penyakit dapat dicegah.

2. Memperhatikan jenis patogen

Setiap patogen memiliki cara penyebaran dan siklus hidup berbeda sehingga teknik pengendalian secara mekanis yang diterapkan harus sesuai dengan karakter patogennya.

3. Meminimalisir kerusakan tanaman sehat

Dalam proses pengendalian, sebisa mungkin menghindari kerusakan pada tanaman sehat.

4. Higienitas alat dan media tanam

Peralatan pertanian dan media tanam harus bersih untuk mencegah penularan patogen melalui alat pertanian.

5. Integrasi dengan metode lain

Pengendalian secara mekanis lebih efektif jika dipadukan dengan metode kultur teknis, biologis atau hayati dalam konsep IPM.

Teknik-teknik pengendalian penyakit tanaman secara mekanis: (Suganda et al., 2016; Crous et al., 2021):

1. Pencabutan dan pemusnahan tanaman sakit

Teknik ini dilakukan dengan mencabut tanaman yang terinfeksi berat, kemudian dimusnahkan melalui pembakaran atau penguburan. Tujuannya untuk memutus siklus hidup patogen dan mencegah penyebaran ke tanaman sehat di sekitarnya.

Contoh penerapan:

- a. Pencabutan tanaman padi yang terserang penyakit blas yang disebabkan oleh patogen cendawan *Pyricularia oryzae*.
- b. Pemusnahan tanaman tomat yang terserang penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh cendawan *Fusarium oxysporum*.

2. Pemangkasan bagian tanaman yang terinfeksi

Bagian tanaman yang menunjukkan gejala penyakit, seperti bercak daun, cabang mati, atau buah busuk dipangkas menggunakan alat yang bersih. Sisa potongan tanaman kemudian dikumpulkan dan dimusnahkan. Teknik ini dapat memperbaiki sirkulasi udara dan mengurangi kelembapan.

Contoh penerapan:

- a. Pemangkasan cabang tanaman kopi yang terserang penyakit karat daun yang disebabkan oleh cendawan *Hemileia vastatrix*.
- b. Memotong daun pisang yang bergejala bercak daun Sigatoka yang disebabkan oleh cendawan *Pseudocercospora musicola*.

3. Pembersihan sisa tanaman dan gulma

Sisa tanaman hasil panen atau yang terserang penyakit serta gulma dibersihkan dari lahan untuk mengurangi tempat berkembangnya patogen.

4. Sanitasi lahan dan alat pertanian

Alat-alat pertanian seperti sabit, gunting pangkas, cangkul, dan sprayer harus dibersihkan setelah digunakan terutama setelah menangani tanaman sakit untuk mencegah penularan penyakit. Sanitasi lahan dengan membersihkan sisa tanaman, gulma, dan genangan air.

5. Pengaturan jarak tanam

Pengaturan jarak tanam bertujuan untuk meningkatkan kesehatan tanaman agar antar tanaman memiliki ruang cukup untuk pertumbuhan dan sirkulasi udara, sehingga kelembapan mikro di sekitar tanaman dapat ditekan dan penyebaran patogen dapat dicegah.

6. Pemasangan perangkap serangga vektor penyakit

Serangga vektor seperti kutudaun, wereng, dan thrips dapat membawa virus atau bakteri penyebab penyakit. Pemasangan perangkap seperti lampu perangkap, lem perekat kuning, atau jaring dapat mengurangi populasi serangga vektor.

7. Pengolahan tanah

Patogen tular tanah seperti *Fusarium*, *Pythium*, dan *Rhizoctonia* dapat dikendalikan dengan melakukan pengolahan tanah secara rutin. Pengolahan tanah dapat memperbaiki struktur tanah dan menekan populasi patogen tular tanah.

8. Penggunaan mulsa dan penutup tanah

Mulsa organik atau plastik dapat mengurangi kelembapan tanah berlebih, menghambat percikan air yang membawa patogen, dan menekan pertumbuhan gulma yang berpotensi menjadi inang alternatif patogen.

**Kelebihan dan kekurangan pengendalian penyakit secara mekanis**

Kelebihan:

1. Tidak meninggalkan residu kimia di lingkungan.
2. Mudah dilakukan tanpa memerlukan teknologi tinggi.
3. Dapat diterapkan di berbagai skala budidaya.
4. Aman bagi manusia, tanaman, dan lingkungan.

Kekurangan:

1. Memerlukan tenaga kerja intensif.
2. Kurang efektif jika patogen sudah menyebar luas.
3. Harus dilakukan secara rutin dan terus menerus.
4. Sebagian teknik (seperti pencabutan) berpotensi menimbulkan kerusakan fisik pada tanaman sehat.

Pengendalian penyakit tanaman secara mekanis merupakan salah satu metode pengendalian yang penting, efektif, dan ramah lingkungan dalam sistem budidaya pertanian. Berbagai teknik seperti pencabutan tanaman sakit, pemangkasan bagian tanaman yang terinfeksi, pembersihan gulma dan sisa tanaman, sanitasi alat pertanian, pengaturan jarak tanam, serta pemasangan perangkap serangga vektor telah terbukti mampu menekan tingkat serangan penyakit di berbagai jenis tanaman budidaya.

Pengendalian penyakit tanaman secara mekanis berperan penting dalam menurunkan sumber inokulum patogen dan mencegah penyebaran penyakit secara cepat, Teknik ini relatif mudah diterapkan oleh petani di lapangan tanpa memerlukan biaya tinggi atau teknologi canggih.



# Bab 13

## Pengendalian Penyakit Secara Biologis

### 13.1 Pendahuluan

Sejauh ini kerugian dalam sektor pertanian akibat serangan penyakit tanaman sangat tinggi. Menghadapi kendala tersebut, sebagian besar petani menggunakan pestisida sintetik yang dianggap lebih memberikan hasil yang cepat dan efektif, padahal penggunaan pestisida sintetik yang berlebihan dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan manusia. Keseimbangan alam terganggu dan akan mengakibatkan timbulnya hama atau patogen yang resisten.

Sadar akan dampak buruk penggunaan pestisida sintetik dalam pengendalian penyakit tanaman, petani semakin banyak melakukan pengendalian secara biologi dengan menggunakan agen biokontrol yang ramah bagi lingkungan sebagai alternatif pengganti pestisida sintetik. Pengendalian penyakit tanaman secara biologis mendapat lebih banyak

perhatian di seluruh dunia, hal ini karena pengendalian biologis secara hayati ini terbukti berhasil dan efektif dalam mengendalikan dan menghambat pertumbuhan patogen serta tidak menimbulkan dampak negatif.

Selain itu pengendalian penyakit tanaman secara biologis mempunyai peluang yang cukup cerah dan prospek yang menjanjikan, hal ini dikarenakan organismenya telah tersedia di alam dan aktivitasnya dapat ditingkatkan dan dikembangkan melalui stimulasi dan modifikasi lingkungan maupun tanaman inangnya.

Pengendalian biologis merupakan suatu metode pengelolaan hama dan penyakit dengan memanfaatkan organisme hidup seperti predator, parasitoid dan patogen untuk menekan populasi hama dan penyakit sehingga berada pada tingkat yang tidak merugikan secara ekonomis. Dalam Pengelolaan Hama Terpadu (PHT), pengendalian biologis merupakan salah satu komponen utama yang bertujuan mengendalikan hama dan penyakit secara berkelanjutan dengan seminimal mungkin dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu pengendalian biologis digunakan untuk menekan populasi hama dan patogen penyebab penyakit secara alami melalui interaksi antara musuh alami dan organisme target (Dwisatria, et al., 2025).

Pengendalian penyakit tanaman secara biologis adalah cara mengendalikan penyakit tanaman dengan memanfaatkan musuh alami atau agens pengendali hayati. Pengendalian ini juga dikenal dengan pengendalian hayati atau biological control, pada dasarnya melibatkan keterlibatan organisme secara langsung maupun tidak langsung. Agens pengendali hayati (biological control agens) yaitu setiap organisme yang meliputi subspecies, spesies, varietas, semua jenis protozoa, bakteri, cendawan, virus serta organisme lainnya yang dalam tahap perkembangannya bisa digunakan untuk pengendalian hama dan penyakit atau organisme pengganggu tumbuhan.

## 13.2 Teknik Pengendalian Biologis Penyakit Tanaman

### 13.2.1 Penggunaan Mikroba Antagonis

Mikroba antagonis merupakan mikroorganisme yang dapat menghambat, menekan atau membunuh mikroorganisme lain. Sebagai agen biokontrol, mikroba antagonis dapat berpotensi tinggi dalam menghambat serangan dan pertumbuhan patogen penyebab penyakit serta mampu beradaptasi dan berkolonisasi pada perakaran tanaman.

Penggunaan agens biokontrol ini merupakan salah satu alternatif pengelolaan penyakit yang ramah lingkungan, dengan memanfaatkan mikroba antagonis yang dapat meminimalisir dampak kerusakan pada tanaman. Selain itu dengan menggunakan mikroba antagonis sebagai pengendali penyakit dapat menghambat pertumbuhan patogen tanpa membunuh patogen tersebut, sehingga keanekaragaman hayati tetap terjaga (Prasetyo, et al., 2017).

Mikroba antagonis atau agens pengendali hayati adalah jasad renik berupa bakteri, jamur, actinomycetes maupun virus yang terdapat di alam dan dapat menekan perkembangan mikroba yang merugikan. Banyak mikroba antagonis yang dilaporkan sebagai agen biokontrol, beberapa kelompok bakteri yang telah digunakan sebagai agen antagonis diantaranya yaitu *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens*, sedangkan kelompok jamur seperti *Trichoderma harzianum*, *Gliocladium* sp., dan *Fusarium nonpatogenik*. Kelompok Actinomycetes seperti *Streptomyces* spp.

Efektif dalam mengendalikan penyakit rebah kecambah dan layu fusarium pada kapas. Selain itu Khamir antagonis seperti *Aureobasidium pullulans*, *Sporobolomyces roseus*, *Saccharomyces cerevisiae* juga telah dilaporkan sebagai khamir yang efektif menekan patogen *Alternaria porri* dan *Stemphyllium* sp. Pada tanaman bawang bombai (Hussein, et al., 2007). Kelompok virus Vaksin Carna-5 merupakan mikroba anatgonis yang

terbukti efektif dalam mengendalikan penyakit cucumbar mozaic virus pada tanaman tomat dan cabai (Hanudin & Marwoto, 2012).

Mekanisme dalam pengendalian penyakit tanaman dengan menggunakan mikroba antagonis terhadap patogen dapat dilakukan melalui mekanisme hiperparasitisme, kompetisi ruang dan hara, antibiosis dan lisis (VanLoon, 2000). Mekanisme antibiosis adalah penghambatan patogen karena senyawa metabolik yang dihasilkan oleh agens hayati, seperti enzim, senyawa volatil dan senyawa antibiotik lainnya.

Kompetisi merupakan suatu mekanisme penekanan aktivitas patogen oleh agens hayati terhadap sumber-sumber yang terbatas seperti zat organik, anorganik, serta ruang dan faktor-faktor pertumbuhan lainnya. Contohnya persaingan tempat pada akar aktomikoriza yang mampu membungkus bagian akar, sehingga patogen tidak bisa mengkolonisasi bagian tersebut. Mekanisme hiperparasit adalah perusakan patogen akibat senyawa yang dihasilkan oleh agens hayati seperti kitinase, selulase dan enzim pelisis lainnya (Nurhayati, 2011).

*P. fluorescens* yang berpotensi sebagai agens biokontrol cukup efektif dalam mengendalikan penyakit tanaman dapat bersifat antagonis terhadap berbagai patogen baik dari golongan cendawan maupun bakteri, terutama patogen tular tanah secara *in vitro*, *in planta* maupun *in vivo*. Bakteri ini dapat diisolasi dari daerah perakaran serta banyak ditemukan di tanah, tanaman dan air (Suyono & Salahudin, 2011).

Melalui mekanisme kolonisasi perakaran tanaman, menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti siderofor, HCN dan pelarut fosfat. *P. fluorescens* ini dapat menghambat pertumbuhan patogen, mensintesis senyawa metabolit dengan memanfaatkan eksudat akar, sehingga mampu menghambat pertumbuhan dan aktivitas patogen serta memicu ketahanan sistemik tanaman terhadap patogen penyebab penyakit seperti *F. Oxysporum*, *Plasmodiophora brassicae*, *Erwinia caratovora*, *Phytium ultimum* dan *Ralstonia solanacearum* (Gusnadi, et al., 2023). *P. fluorescens* juga berperan sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) yang tahan terhadap hama dan penyakit.

Aplikasi PGPR dilaporkan Purwantisari, et al., 2019 dapat menunda munculnya gejala penyakit hawar daun kentang, hal ini disebabkan karena tanaman memiliki ketahanan sistemik terhadap invasi patogen *Phytophthora infestans* dibandingkan dengan tanaman yang tidak mendapatkan perlakuan PGPR.

Agens hayati dari genus *Trichoderma* juga telah lama dikenal sebagai biokontrol dalam pengendalian penyakit tanaman, peningkatan pertumbuhan, perkembangan akar dan produktivitas tanaman. Tanaman yang diberikan perlakuan *Trichoderma* menunjukkan peningkatan resistensi terhadap patogen. Kolonisasi akar menyebabkan perubahan metabolisme tanaman sehingga menyebabkan akumulasi senyawa antimikroba.

Penyakit layu *Fusarium mentium* dan busuk batang pada jagung yang diberikan perlakuan *T. Asperellum* menunjukkan bahwa fungi ini mensekresi enzim kitinase, glukonase dan protease yang mampu mendegradasi dinding sel. Enzim xylanase yang diproduksi juga mampu menginduksi resistensi tanaman dan meningkatkan imunitas tanaman melawan patogen (Singh, et al., 2014).

### 13.2.2 Aplikasi Biopestisida

Dalam pertanian modern saat ini, pengendalian penyakit tanaman harus dilakukan secara terpadu. Biopestisida merupakan salah satu komponen dalam pengendalian penyakit. Biopestisida dapat diartikan sebagai bahan yang berasal dari makhluk hidup seperti mikroorganisme, tanaman maupun hewan yang mampu menghambat pertumbuhan dan perkembangan hama atau patogen penyebab penyakit. Biopestisida yang terbuat dari bahan-bahan alam tidak meracuni tanaman dan tidak mencemari lingkungan.

Biopestisida berdasarkan asalnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pestisida nabati dan pestisida hayati. Pestisida nabati merupakan hasil ekstraksi dari bagian tanaman tertentu seperti akar, daun, buah, atau biji yang senyawa metabolit sekundernya bersifat racun terhadap hama dan

penyakit tertentu. Pestisida hayati merupakan formulasi yang mengandung mikroba tertentu seperti jamur, bakteri maupun virus yang bersifat antagonis terhadap patogen lainnya.

Pengembangan biopestisida secara massal dapat dilakukan dengan cepat karena telah tersedia mitra swasta yang memproduksi secara massal biopestisida berbahan aktif mikroba antagonis.

Keefektivan dari masing-masing bahan nabati atau hayati sebagai biopestisida tergantung pada jenis penyakit sasaran dan faktor lingkungan:

#### 1. Aplikasi Biopestisida Nabati

Banyak bahan-bahan potensial yang tersedia berlimpah dan mudah diperoleh disekitar lingkungan pertanian yang bisa digunakan sebagai pestisida nabati. Beberapa tanaman yang mengandung senyawa tertentu yang dapat dimanfaatkan sebagai antimikroba adalah cengkeh, mimba, lengkuas bawang merah, lerak dan sebagainya.

Tanaman yang bisa dijadikan sebagai pestisida nabati dapat dikelompokkan menjadi 6 kelompok yaitu:

- a. Kelompok tumbuhan sebagai insektisida nabati, seperti bengkoang, serai, sirsak dan srikaya.
- b. Kelompok tumbuhan antraktan/penarik, seperti daun kemangi dan daun selasih.
- c. Kelompok tumbuhan rodentisida nabati, seperti gadung.
- d. Kelompok tumbuhan moluskisida nabati, seperti akar tuba dan sembung.
- e. Kelompok tumbuhan fungisida nabati, seperti cengkeh, daun sirih, serai, tembakau dan pinang.
- f. Kelompok tumbuhan pestisida nabati serbaguna sebagai insektisida, fungisida, moluskisida, bakterisida dan nematisida, seperti nimba dan sirih (Mulyadi, 2019).

Penggunaan pestisida nabati memberikan prospek yang baik terhadap perbaikan kualitas produk pertanian yang ramah lingkungan dalam pengendalian penyakit. Banyak penelitian yang melaporkan keefektifan pestisida nabati dalam menekan patogen penyebab penyakit. Minyak cengkeh dapat menekan patogen *Sclerotium* sp. yang dapat menunda munculnya gejala dan mengurangi keparahan penyakit oleh patogen *Helminthosporium* sp.

(Padda, et al., 2022) Selain itu campuran minyak cengkeh dan ekstrak biji nimba dengan perbandingan 60% dan 40% dapat menekan intensitas penyakit karat pada kedelai hingga 45%, meningkatkan isi polong sebesar 37% dan mencegah kehilangan hasil 20%. Selain itu campuran minyak cengkeh, ekstrak biji nimba dan lerak dengan perbandingan 50:30:20 mampu menekan intensitas penyakit karat 24% (Suhartini, 2014).

Beberapa peneliti telah mengkaji dan menginventarisasi tumbuhan yang mengandung bahan baku sebagai pestisida nabati yang efektif, seperti yang terlihat dalam Tabel 13.1.

**Tabel 13.1:** Jenis tumbuhan berpotensi sebagai bahan pestisida nabati

Jeni tumbuhan	Senyawa aktif	Patogen sasaran	Daya hambat (%)
Nimba	Azadirachtin, salamin, milantor	<i>Erisiphe polygoni</i>	70 (Sumartini, 2011)
Bawang merah	Dialil disulfida, alil asistein, metil sistein	<i>Spaceloma batatas</i>	80 (Sumartini, 2014)
Lengkuas	Sineol, pipena, kamfor, metil sinemat	<i>Cercospora canescens</i>	60 (Sumartini 2012)
Sereh wangi	Minyak atsiri	<i>Furarium Oxysporum</i> f.sp. cubense	60 (Agustini & Widyasari, 2017)

## 2. Aplikasi Biopestisida Hayati

Beberapa spesies mikroorganisme yang telah berhasil diisolasi dan di evaluasi keefektifannya sebagai agens pengendali hayati penyakit tanaman dan diformulasikan dalam bentuk biopestisida. Kelompok mikroba yang telah banyak diteliti dan digunakan sebagai agens hayati adalah seperti kelompok bakteri dari genus *Bacillus* dan kelompok fungi dari genus *Trichoderma*. Formulasi dalam bentuk biopestisida dilakukan untuk mempertahankan hidup mikroba dalam jangka waktu yang lama pada kondisi yang optimal secara berkelanjutan, serta mudah diperbanyak dan diaplikasikan secara massal.

Keberhasilan dalam pengembangan formulasi agens hayati tergantung pada pemilihan substrat yang tepat, harus menunjang sintesis enzim yang diperlukan untuk mekanisme biokontrol serta mempertahankan ketersediaan nutrisi yang cukup sehingga tidak menghambat sintesis enzim saat diperlukan (Devi, et al., 2020). Bahan pembawa organik dan anorganik dalam formulasi dapat meningkatkan kestabilan dan efektivitas agens hayati untuk pengendalian penyakit tanaman.

Produksi massal biofungisida berbahan aktif *Trichoderma harzianum* dalam bentuk tepung. *T. harzianum* dijadikan produk biofungisida yang efektif mengendalikan penyakit jamur penyebab penyakit tanaman. Nuryani & Djatnika (1999). Beberapa pemanfaatan biopestisida hayati lainnya yang telah dilaporkan dan terbukti efektif seperti pada Tabel 13.2.

**Tabel 13.2:** Aplikasi biopestisida hayati dengan beberapa jenis formulasi

Jenis formulasi	Bahan pembawa	Jenis agens hayati	Jenis patogen	Tanaman inang	Keefektifan (%)
Powder	talek, CMC, CaCO <sub>3</sub>	Bakteri Filosfer <i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>Oryzaenon</i>	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	Padi (Hawar daun bakteri)	40,73% (Tridesianti, et al., 2016)

		patogen			
Padat	Tepung tapioka, gambut, limbah padat tahi	<i>Bacillus thuringiensis</i> TS2	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. glycines.	Kedelai (pustul bakteri)	17,99 – 69,45% (Yanti, <i>et al.</i> , 2017)
Cair	Rebusan daging keong, terasi	<i>P. fulorescens</i>	Cacao Swollen Shoot Virus (CSSV)	Kakao (mosaik)	25 (Probowati, <i>et.al.</i> , 2020)

### 13.2.3 Penggunaan Mikroba Endofit

Mikroba endofit banyak digunakan sebagai pengendali hayati penyakit tanaman secara biologis. Mikroba endofit adalah mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tumbuhan tanpa menyebabkan gangguan pada tumbuhan itu sendiri. Mikroba endofit dapat ditemukan pada semua bagian tanaman, yang paling sering dan banyak ditemukan sebagai endofit adalah jamur dan bakteri, walaupun kemungkinan juga ditemukan endofit lain dari kelompok mikoplasma dan archaeobacteria.

Keberadaan mikroba endofit dapat memberikan banyak manfaat bagi tanaman inangnya antara lain, sebagai agen biokontrol dalam menekan penyakit yang disebabkan oleh patogen, membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman, menghasilkan antimikroba, meningkatkan kompetisi ruang dan nutrisi serta dapat meningkatkan ketahanan tanaman dengan menginduksi resistensi tanaman (Hallman & Berg, 2006).

Mikroba endofit telah banyak dilaporkan dan digunakan dalam menekan patogen untuk pengendalian penyakit, beberapa diantaranya seperti pada Tabel 13.3.

**Tabel 13.3:** Jenis mikroba endofit dalam pengendalian penyakit tanaman

Jenis endofit	Jenis patogen	Jenis penyakit	Tanaman inang	Keefektivan (%)
Jamur endofit <i>Gliocladium</i> sp.	<i>Pyricularia oryza</i>	Blast	Padi	78.96 (Sopialena, <i>et al.</i> , 2020)
Bakteri endofit isolat BE	<i>Pyricularia oryza</i>	Blast	Padi	32.81-79,69 (Marwan, <i>et al.</i> , 2021 )
Jamur endofit <i>Aspergillus</i> sp. dan <i>Penicillium</i> sp.	<i>Colletrotichum</i> sp.	Antraknosa	Cabai rawit	40 (Noviyanti, <i>et al.</i> , 2022)
Bakteri endofit isolat P	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	Gugur daun	Karet	Tylova, <i>et al.</i> , 2023
Jamur endofit	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv <i>oryzae</i>	Hawar daun bakteri	Padi	Syamsia (2023)

### 13.2.4 Induksi Ketahanan Tanaman

Pengendalian penyakit oleh patogen juga dapat dilakukan dengan menginduksi ketahanan tanaman yang lebih dikenal dengan ketahanan yang di induksi (induced resistance). Induksi ketahanan tanaman dapat memicu mekanisme pertahanan tanaman terhadap patogen penyebab penyakit. Berdasarkan gejala pada tanaman, ketahanan yang di induksi ini terdiri ketahanan sistemik terinduksi (Induced Systemic Resistance/ ISR) dan ketahanan perolehan sistemik (Systemic Acquired Resistance/ SAR).

Ketahanan perolehan sistemik (SAR) diperoleh setelah inokulasi dengan necrotizing patogen HR, melibatkan asam salisilat sebagai molekul sinyal pada tanaman, yang disertai induksi pathogenesis related protein (PR protein). Jika tanaman yang memiliki kandungan asam salisilat yang lebih tinggi maka akan memiliki ketahanan yang lebih baik juga. Selain asam

salisilat, SAR juga terinduksi akibat agens yang dapat meningkatkan enzim  $\beta$ -1,3 glukukanase, kitinase,  $\beta$ -1,4 glukosidase, cetonase, feroksidase dan fenol.

Ketahan sistemik ini merupakan cara tanaman untuk meningkatkan pertahanan dari patogen pada bagian yang terserang maupun pada jaringan tanaman yang sehat. Penelitian tentang ekstrak batang *Salix* sp. dan daun *Clerodendrom japonicum* (pagoda) efektif menginduksi ketahanan tanaman krisan terhadap patogen *Puccinia horiana* dengan persentase penekanan masing-masing sebesar 80,20% dan 75,46%, asam salisilat yang terkandung pada tanaman krisan tahan terhadap patogen *P. horiana* yang di induksi oleh tanaman elisitor (Hanudin, et al. 2016).

ISR di induksi oleh mikroorganisme tanah non patogenik yang bermanfaat seperti endofit dan rhizobacteria yang berada sekitar perakaran dan berasosiasi dengan tanaman. ISR tidak tergantung pada asam salisilat, tetapi melibatkan sinyal dari asam jasmonat (JA) dan etilen (ET). ISR dapat memicu ekspresi gen ketahanan yang menghasilkan senyawa yang mampu menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen tanaman seperti resin, fitoaleksin, proksidase dan senyawa lainnya.

SAR dan ISR mampu merangsang pertumbuhan hormon tanaman yang mampu memberikan perlindungan serangan patogen. Tanaman akan mengekspresikan respon pertahanan yang tinggi apabila asam salisilat, asam jasmonat dan etilen diaplikasikan secara bersama. Aplikasi bakteri endofit *Lactobacillus sphaericus* dan asam salisilat 10 mM dengan induksi ketahanan secara simultan mampu mengeksresikan gen PR-1 secara tunggal maupun kombinasi keduanya. Induksi ketahanan ini terbukti mampu mengendalikan penyakit hawar daun bakteri *X. oryzae* pv. *oryzae* dan meningkatkan ketahanan padi varietas IR64.

Munculnya ekspresi gen PR-1 pada varietas padi IR64 diduga karena varietas ini telah terinduksi resistensinya oleh asam salisilat, yang selanjutnya akan mengaktivasi senyawa pertahanan tanaman padi (Leiwakabessy, et al., 2024). Gen OsPR1 berperan sebagai penginduksi tanaman padi dari patogen *X. oryzae* pv. *oryzae* melalui sinergisme antara

asam salisilat dan asam jasmonat, asam salisilat dan etilen maupun etilen dan asam jasmonat (Mitsuhara, et al., 2008).

# Bab 14

## Pengendalian Penyakit secara Kimiawi

### 14.1 Pendahuluan

Penyakit merupakan kejadian umum pada tanaman, yang sering kali berdampak signifikan terhadap hasil dan kualitas secara ekonomi, sehingga pengendalian penyakit merupakan komponen penting produksi bagi sebagian besar tanaman. Penggunaan bahan kimia masih menjadi cara yang sangat penting dalam mencegah kerugian akibat serangan penyakit tanaman.

Bahan kimia sebagai pengendalian penyakit masih digunakan karena permintaan tinggi hasil pertanian yang berkualitas dan tanpa cacat, penyakit tanaman yang sukar dikendalikan, belum ada varietas yang tahan penyakit, varietas introduksi yang disukai masyarakat padahal rentan terhadap penyakit, serta masih banyak pelaku budidaya yang menganggap

pengendalian kimia lebih menjamin mendapatkan hasil tinggi sehingga keuntungannya pun tinggi.

Sejarah mencatat keberhasilan pengendalian kimiawi dirasakan oleh berbagai negara, contoh di Brazil untuk mengendalikan berbagai patogen jamur yang jika tidak dikendalikan dapat menyebabkan kerugian yang signifikan pada berbagai tanaman termasuk kedelai karena curah hujan dan suhu yang mendukung perkembangan patogen (Calegari, 2003). Di Brazil, luas areal tanam kedelai meningkat dari 13 juta ha pada tahun 1999 menjadi 23,5 juta ha pada tahun 2010, dan penjualan fungisida meningkat dari US\$37 juta pada tahun 1999 menjadi US\$900 juta pada tahun 2010, yang diperkirakan berkontribusi terhadap peningkatan hasil panen dari 2,4 menjadi 2,9 t/ha (Phillips McDougall tahun 2000 dalam Hirooka and Ishii, 2013).

## 14.2 Fungisida

Fungisida adalah jenis pestisida yang khusus mengendalikan penyakit jamur dengan cara menghambat atau membunuh jamur penyebab penyakit tersebut. Tidak semua penyakit yang disebabkan oleh jamur dapat dikendalikan secara memadai oleh fungisida. Penyakit ini meliputi penyakit pembuluh darah layu *Fusarium* dan *Verticillium*. Penyakit yang disebabkan oleh jenis organisme lain, gangguan yang disebabkan oleh faktor abiotik, dan kerusakan akibat serangga tidak dapat dikendalikan oleh fungisida. Oleh karena itu, penting untuk terlebih dahulu menentukan penyebab gejala sebelum menggunakan fungisida.

McGrath (2004) menyatakan bahwa secara umum, ada tiga alasan utama mengapa fungisida digunakan:

1. Untuk mengendalikan penyakit selama pembentukan dan perkembangan tanaman

2. Untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi noda atau cacat. Tanaman pangan yang terkena penyakit dapat menghasilkan lebih sedikit karena daunnya, yang diperlukan untuk fotosintesis, terpengaruh oleh penyakit. Kerusakan dapat memengaruhi bagian tanaman yang dapat dimakan atau dalam kasus tanaman hias, daya tariknya yang keduanya dapat memengaruhi nilai pasar tanaman
3. Untuk meningkatkan masa simpan dan kualitas tanaman dan hasil panen. Beberapa kerugian terbesar akibat penyakit terjadi pasca panen. Jamur sering merusak (membuat tidak dapat digunakan) buah, sayuran, umbi, dan benih yang disimpan.

Beberapa yang menginfeksi biji-bijian menghasilkan racun (mikotoksin) yang dapat menyebabkan penyakit parah atau bahkan kematian pada manusia dan hewan jika dikonsumsi. Fungisida telah digunakan untuk mengurangi kontaminasi mikotoksin pada gandum yang terkena penyakit busuk daun *Fusarium*, tetapi sebagian besar fungisida yang dikembangkan sejauh ini belum cukup efektif untuk digunakan dalam mengelola mikotoksin yang terkait dengan penyakit lain.

### 14.2.1 Jenis Fungisida

Jenis Fungisida dikategorikan dalam beberapa cara berdasarkan karakteristik yang berbeda.

Menurut McGrath (2004) karakteristik yang paling umum digunakan dan kategorinya dijelaskan sebagai berikut.

1. Mobilitas pada tanaman: meliputi kontak atau sistemik

Fungisida kontak (juga disebut pelindung) tetap berada di permukaan tanaman. Banyak kontak yang berpotensi fitotoksik (beracun bagi tanaman) dan dapat merusak tanaman jika diserap. Fungisida lokal yang tidak dapat menyembuhkan luka. Hasil penelitian Paramita, Sumardiyono

and Sudarmadi, (2014) bahwa di lapangan bahan aktif Curxanil dapat mengendalikan patogen *Colletotrichum* spp. pada konsentrasi 0.2%, 800 ppm Mankozeb menghambat 98,8% perkembangan koloninya, sedangkan kombinasi Mancozeb 50 ppm dengan Simoksanil daya hambat 100%, berbeda Ketika hanya Simoksanil saja yang tidak dapat menghambat perkembangan dari koloni patogen.

Sistemik (juga disebut penetran dan fungisida bergerak) diserap ke dalam tanaman. Sebagian besar sistemik bergerak dalam jarak yang sangat pendek dari tempat aplikasi, seperti melintasi helaian daun dari satu permukaan ke permukaan lainnya (sistemik lokal atau translaminar). Beberapa fungisida bersifat sistemik lemah dan dapat bergerak lebih jauh dari tempat aplikasi daripada sistemik lokal, menjangkau semua bagian daun tempat fungisida diendapkan. Penyebaran seiringan dengan proses metabolisme tanaman (Crowdy, 1977).

Beberapa sistemik bergerak lebih luas karena bersifat mobil dalam jaringan xilem. Ketika diaplikasikan ke zona akar, ini diserap oleh akar dan kemudian bergerak ke atas melalui tanaman dengan aliran transpirasi (xylem-mobile systemic). Xylem-mobile systemic yang diaplikasikan ke daun bergerak ke seluruh daun tempat diendapkan, tetapi tidak dapat didistribusikan kembali keluar dari daun itu; namun, bahan apa pun yang diendapkan pada batang dapat bergerak ke atas ke dalam daun. Phloem-mobile systemics (juga dikenal sebagai sistemik "sejati" atau amfimobil) memiliki mobilitas dua arah, beberapa material bergerak dalam floem keluar dari daun tempat diendapkan ke atas ke daun lain dan ke bawah ke akar. Sistemik tidak dapat bergerak lagi setelah translokasi.

Contoh animasi mobilitas fungisida:

- Fungisida kontak - diaplikasikan pada dedaunan.
- Sistemik lokal atau translaminar - diaplikasikan pada dedaunan.
- Sistemik bergerak xilem - diaplikasikan pada tanah.
- Sistemik bergerak xilem - diaplikasikan pada dedaunan.
- Sistemik amfimobil - diaplikasikan pada dedaunan.

Fungisida sistemik ini disebut spesifik atau single site action karena hanya aktif pada satu tempat dari bagian sel jamur, contohnya di dalam mitokondria, suksinat dehydrogenase berperan penting dalam proses respirasi dapat dihambat oleh Oxathiin. Benzimidazole memengaruhi pembelahan inti dengan diikatnya mikrotubulus yang menyebabkan benang gelendong tidak teratur dan terorganisir. Sintesis kitin patogen dihambat oleh antibiotik polioksin dan kitin (Agrios, 1997). Fungisida sistemik dapat menyembuhkan luka.

Bahan aktif fungisida kontak dan sistemik dapat dicampurkan dan hasilnya lebih baik dibandingkan aplikasikan tunggal, seperti kombinasi fungisida sistemik benzotiazol dengan mankozeb dengan perbandingan 1% dan 48% (kepekatan 5g/l) menekan penyakit antraknos pada cabai 90-96% (Hersanti, Ling and Zulkarnaen, 2001).

## 2. Peran dalam perlindungan: sebagai preventif atau kuratif

Kontak adalah fungisida yang cocok untuk penggunaan preventif (profilaksis) karena bekerja melalui tindakan kontak pada permukaan tanaman tempat fungisida diaplikasikan. Aplikasi berulang diperlukan untuk melindungi pertumbuhan baru tanaman dan mengganti bahan yang telah tercuci oleh hujan atau irigasi, atau terdegradasi oleh faktor lingkungan seperti sinar matahari.

Kadang-kadang kontak disebut sebagai produk "residu" karena fungisida yang diendapkan tetap berada di permukaan tanaman, terkadang sebagai residu yang terlihat, selama beberapa hari. Karena kemampuannya menembus tanaman, beberapa sistemik memiliki aktivitas preventif dan kuratif (pemberantasan atau kick-back), sehingga memengaruhi patogen setelah infeksi.

## 3. Tingkat aktivitas: satu situs atau beberapa situs

Fungisida satu situs aktif terhadap satu titik dalam satu jalur metabolisme dalam patogen atau terhadap satu enzim atau protein penting yang dibutuhkan oleh jamur. Karena fungisida satu situs sangat spesifik dalam

toksitasnya, memiliki sedikit efek pada sebagian besar organisme, fungisida tersebut dapat diserap dengan aman ke dalam tanaman, sehingga fungisida ini cenderung memiliki sifat sistemik.

Sebagai hasil dari aktivitas spesifik ini, jamur lebih mungkin menjadi resistan terhadap fungisida karena satu mutasi tunggal pada patogen biasanya memungkinkannya untuk mengatasi aksi fungisida, seperti dengan mencegahnya mengikat ke situs aktif dalam jamur.

Biasanya, fungisida kontak yang lebih lama memiliki aktivitas multi-situs dan dengan demikian biasanya memengaruhi banyak jamur dalam kelas yang berbeda. Melalui pengembangan penyaringan *in vivo*, dan karena peningkatan keketatan dan jumlah uji regulasi yang diperlukan untuk mendaftarkan bahan aktif baru, produsen fungisida merasa lebih mudah untuk mengembangkan sistemik satu situs baru-baru ini. Akibatnya, resistensi fungisida telah menjadi perhatian yang lebih penting dalam manajemen penyakit.

#### 4. Cara kerja

Fungisida membunuh jamur dengan merusak membran selnya, menonaktifkan enzim atau protein penting, atau dengan mengganggu proses utama seperti produksi energi atau respirasi. Fungisida lainnya memengaruhi jalur metabolisme tertentu seperti produksi sterol atau kitin. Misalnya, fungisida fenilamida mengikat dan menghambat fungsi RNA polimerase pada oomycetes, sedangkan fungisida benzimidazole menghambat pembentukan polimer beta tubulin yang digunakan oleh sel selama pembelahan inti.

Beberapa fungisida baru dikembangkan bersifat unik karena tidak secara langsung memengaruhi patogen itu sendiri. Banyak di antaranya yang menimbulkan respons dari tanaman inang yang dikenal sebagai "resistensi yang diperoleh secara sistemik" (SAR). Induktor SAR ini pada dasarnya meniru sinyal kimia pada tanaman yang mengaktifkan mekanisme pertahanan tanaman seperti produksi dinding sel yang lebih tebal dan

protein antijamur. Namun, sejauh ini kegunaan induktor SAR terbatas karena banyak patogen mampu mengalahkan pertahanan tersebut.

Pengelompokkan cara kerja atau mode of action fungisida dalam pengendalian penyakit tanaman yaitu:

- a. Penghambat rantai transport elektron senyawa seperti sulfur dan strobilurin mengganggu transpor elektron sepanjang sitokrom, menghambat respirasi mitokondria dan secara efektif menghentikan pertumbuhan patogen,
- b. Menghambat enzim, kelompok ini mencakup tembaga, ditiokarbamat, dan aromatik tersubstitusi, yang menonaktifkan protein dan enzim yang penting untuk kelangsungan hidup patogen,
- c. Penghambat Metabolisme Asam Nukleat dan Sintesis Protein: Agen seperti benzimidazol, fenilamida, dan dikarboksimida menghambat sintesis DNA dan RNA, pembelahan sel dan metabolisme seluler, sehingga mencegah proliferasi patogen,
- d. Inhibitor Sintesis Sterol: Senyawa seperti imidazol, triazol, dan morfolin mengganggu produksi dinding sel, yang memengaruhi integritas struktural patogen.

#### **5. Luas aktivitas: spektrum sempit atau spektrum luas**

Fungisida spektrum sempit hanya efektif terhadap beberapa patogen yang biasanya terkait erat. Fungisida ini biasanya memiliki aktivitas satu tempat dan sering kali sistemik. Fungisida spektrum luas sering kali dapat mengendalikan berbagai patogen yang tidak terkait. Fungisida ini biasanya merupakan kontak dengan aktivitas multi-tempat, tetapi beberapa memiliki aktivitas satu tempat. Beberapa fungisida memiliki aktivitas yang menempatkannya pada kontinum antara fungisida spektrum sempit dan luas.

## 6. Jenis bahan kimia: anorganik atau organik

Fungisida juga dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya. Secara kimia, molekul organik adalah molekul yang mengandung atom karbon dalam strukturnya sedangkan molekul anorganik tidak. Banyak fungisida pertama yang dikembangkan adalah senyawa anorganik yang berbahan dasar sulfur atau ion logam seperti tembaga, timah, kadmium, dan merkuri yang beracun bagi jamur.

Tembaga dan sulfur masih banyak digunakan. Sebagian besar fungisida lain yang digunakan saat ini adalah senyawa organik dan dengan demikian mengandung karbon. Istilah "organik" sebagaimana digunakan di sini didasarkan pada terminologi kimia dan berbeda dari "organik" yang digunakan untuk menggambarkan sistem pertanian yang berupaya menjadi holistik dan meningkatkan kesehatan agroekosistem.

Enyiukwu et al. (2016) menyatakan bahwa pengendalian kimiawi penyakit tanaman dimulai dengan senyawa anorganik seperti sulfur, tembaga terfiksasi, dan campuran Bordeaux. Kelas fungisida ini memiliki spektrum aktivitas yang luas, yang memengaruhi berbagai aktivitas metabolik seperti transpor elektron, permeabilitas membran, dan fungsi enzim pada berbagai organisme yang rentan. Lebih dari setengah abad yang lalu, pelindung permukaan organik yang juga disebut fungisida multisitus seperti maneb dan captan diperkenalkan.

Keduanya sangat efektif sebagai bahan kimia perawatan benih dan untuk pengendalian penyakit busuk, bercak daun, dan penyakit jamur lainnya pada tanaman ekonomi. Beberapa fungisida dalam kategori ini bekerja dengan menghasilkan isothiosianat terhadap gugus tiol (sulfhidril) dalam banyak sistem enzim jamur dan sintesis RNA ribosomal (OHP, 2011 dalam Enyiukwu et al., 2016).

Dalam kasus tiabendazol, mekanisme kerja fungisidanya masih belum jelas meskipun diduga menyebabkan penghambatan produksi energi pada jamur. *Penicillium atrovirens* dengan merusak sistem reduktase fumarat,

dan berbagai enzim mitokondria termasuk nikotinamida adenina dinukleotida oksidase (Pronk and Schefferlie, 2015).

Spektrum aktivitas pestisidanya yang luas sebagai efek toksik pada banyak spesies non-target dan juga residunya dalam makanan yang diolah telah dikaitkan dengan kanker, alergi, cacat lahir, dan bahkan kematian pada mamalia (Enyiukwu and Awurum, 2013). Hal tersebut merupakan kelemahan utama penggunaannya untuk perlindungan tanaman (Awurum and Enyiukwu, 2013).

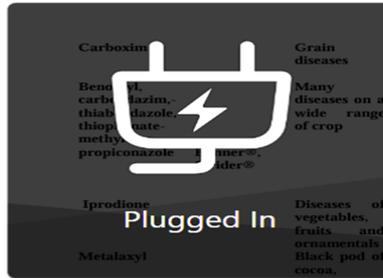
Oleh karena itu, beberapa fungisida benzimidazole sistemik berspektrum sempit termasuk benomil, tiofanat-metil, dan karbendazim dengan efek yang kurang merusak pada organisme nontarget diperkenalkan pada akhir tahun 1960-an. Kelompok fungisida ini ditranslokasi melalui tanaman tanpa dipecah oleh sistem enzim tanaman, mempertahankan toksisitas selektif pada satu atau beberapa jamur patogen terkait, dan memiliki aplikasi luas pasca infeksi dan munculnya penyakit pada tanaman. Penghambatan pembelahan dan pertumbuhan sel mitosis melalui pengikatan dan pencegahan pembentukan mikrotubulus telah dilaporkan sebagai cara kerja fungisida ini pada banyak jamur patogen yang relevan dengan pertanian (Ragsdale, 1994).

Namun, spektrum aktivitas yang sempit dari sebagian besar fungisida sistemik dari waktu ke waktu menyebabkan tekanan seleksi meningkat ke arah pengembangan resistensi pada populasi jamur. Laporan ilmiah menunjukkan bahwa saat ini resistensi terhadap agen antijamur tertentu terjadi sekitar 7 tahun setelah diperkenalkannya fungisida, sehingga menjadi tantangan serius dalam manajemen kesehatan tanaman (Oreskes and Conway, 2010).

Pencampuran fungisida secara tangki atau penggantian fungisida dengan cara kerja yang berbeda, direkomendasikan untuk setidaknya menunda terbentuknya jamur yang resistan di bidang pertanian (Pscheidt, 2015 dalam (Enyiukwu et al., 2016)). Mode of action dari beberapa fungisida disajikan pada Tabel 14.1.

**Tabel 14.1:** Cara kerja beberapa fungisida sintetik dalam perlindungan tanaman (Ragsdale, 1994)

Chemical class of fungicides	Common names	Trade names	Primary uses	Modes of action (MOA)
Diakylidithiocarbamates	Thiram		Foliar diseases of many crops	Inactivates many enzymes
Ethelenebisdithiocarbamates	Maneb, Zaneb		Leafspot diseases of many crops	Generates isothiocyanates which inactivates thiol groups in enzymes and cell metabolites. Inhibits electron transport and
Quinone	Dichlone		Seed treatment, controls diseases of fruits and vegetables	groups in enzymes. Inhibits ribosomal RNA synthesis
Phthalamides	Captan		Seed treatment, controls diseases of fruits and vegetables	Pecan diseases
Organostins	triphenyltin			Inhibition of oxidative phosphorylation and impairment of energy production
Carboximides	Carboxim		Grain diseases	Electron transport inhibition.
Benzamidazoles	Benlate, carbendazim, thiazidazole, thiophanate-methyl		Many diseases on a wide range of crop	Inhibits tubulin formation in MAP mitosis.
Pyrimidines	propiconazole, myclobutanil, metconazole, fenarimol, fludioxonil, prochloraz, pyraclostrobin, tridemorph, tridemorph, fenarimol, fludioxonil, prochloraz, pyraclostrobin	Amecor, Ider®		Demethylation inhibitors, inhibition of sterol synthesis
Dicarboximides	Iprodione		Diseases of vegetables, fruits and ornamentals	Not specific, thought to impair cell division
Phenylamides	Metalaxyl		Block pod of cereals, diseases caused by Oomycetes	Inhibits ribosomal RNA synthesis.



## 14.2.2 Metode Aplikasi

Fungisida dapat berupa serbuk (dust), granul, gas, dan secara umum cairan (liquid), diaplikasikan pada:

1. Benih, umbi, akar tanaman, dan organ perbanyakannya. Perlakuan ini biasanya dilakukan oleh perusahaan benih. Beberapa perlakuan perlu dilakukan oleh petani di lokasi pada saat penanaman. Tujuannya adalah untuk membunuh patogen yang ada pada bahan tanam atau untuk melindungi tanaman muda dari patogen di dalam tanah.
2. Tanah, fungisida dapat disemprotkan pada alur saat penanaman, setelah penanaman sebagai penyiraman tanah (termasuk melalui

irigasi tetes), atau sebagai semprotan yang diarahkan di sekitar pangkal tanaman.

3. Dedaunan dan bagian tanaman lain di atas tanah dengan menggunakan sprayer.
4. Bagian dalam pohon melalui suntikan batang.
5. Hasil panen, dalam bentuk celupan atau semprotan di tempat pengemasan.

Biasanya pestisida kimia yang diaplikasikan pada benih ditujukan untuk melindungi tanaman dari patogen tular tanah seperti bunt dan smut yang disebabkan oleh patogen yang ditularkan melalui benih dan tanah, sepenuhnya konsisten dengan pengelolaan hama terpadu (IPM), karena fungisida memberikan pengendalian pada tingkat yang sangat rendah dan perlakuan benih membatasi aktivitas pada area terbatas di sekitar benih (Allison, 2002).

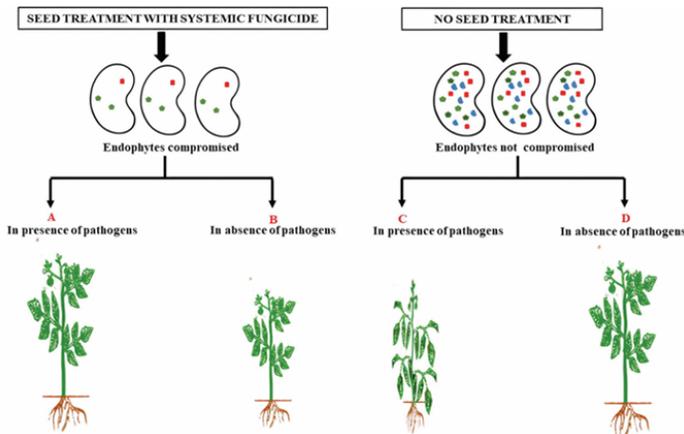
DMI dan QoI dengan sifat sistemik yang kuat telah dikomersialkan, tetapi aktivitas sistemiknya rendah ketika diaplikasikan pada benih pada tingkat dosis yang direkomendasikan, sehingga sangat mengurangi risiko berkembangnya resistensi jamur karena patogen yang terbawa udara tidak ditargetkan atau diberi tekanan (Suty-Heinze, Hauser-Hahn and Kemper, 2004).

Penyemprotan daun umumnya dilakukan dua hingga tiga kali per panen, mulai dari sebelum tanaman membentuk simpul hingga berbunga. DMI digunakan secara intensif, dan dicampur dengan fungisida yang memiliki cara kerja lain seperti QoI untuk mengurangi risiko perkembangan resistensi dan meningkatkan spektrum kemanjuran (Dutzmann and Suty-Heinze, 2004).

Penggunaan QoIs menurun setelah resistensi lapangan berkembang di *S. Tritici*, namun baru-baru ini meningkat sebagai bagian dari campuran dengan DMI atau SDHI baru, terutama karena efek penghijauan yang memaksimalkan hasil panen (Phillips McDougall, 2011 dalam Hirooka and

Ishii, 2013)). FHB juga menjadi masalah pada gandum dan barley di Eropa (Pirgozliev et al., 2003) dan juga harus diperhitungkan dalam strategi pengendalian kimia.

Manfaat perlakuan fungisida pada benih yaitu, dapat meningkatkan kemunculan benih, vigor tanaman, perlindungan dari patogen jamur yang ditularkan melalui benih dan tanah (Lamichhane et al., 2020). Namun, banyak peneliti yang mengkhawatirkan efek sampingnya terhadap keberadaan endofit benih yang menghilang setelah aplikasi fungisida pada benih, sehingga menyebabkan hilangnya viabilitas bibit secara signifikan dan bahwa kerugian tersebut dapat dipulihkan sebagian dengan memperkaya bibit dengan endofit yang hilang.



**Gambar 14.1:** Pengaruh perlakuan benih dengan fungisida sistemik terhadap pertumbuhan tanaman dengan atau tanpa patogen yang ditularkan melalui benih dan tanah.

Penurunan pertumbuhan tanaman (B) merupakan hilangnya pertumbuhan yang dimediasi oleh endofit pada benih yang diobati dengan fungisida sistemik tanpa adanya patogen yang ditularkan melalui benih dan tanah. Hal ini harus dibandingkan dengan fenotipe tanaman di (D). Perbedaan pertumbuhan antara (B) dan (D) dapat dikaitkan dengan efek menguntungkan dari endofit yang hilang karena perlakuan benih dengan fungisida sistemik. (A,C) mengacu pada tanaman yang terpapar patogen

yang ditularkan melalui tanah dan benih tetapi diobati (A) atau tidak diobati (C) dengan fungisida (Ayesha et al., 2021)

Gambar 14.1 menjelaskan tentang benih yang diberi perlakuan fungisida memberikan manfaat perlindungan pada tanaman dari patogen. Namun, menyebabkan kandungan endofit hilang akibatnya ketika ada patogen, tanaman tidak tumbuh dengan baik. Sebaliknya dengan benih yang tidak diberi fungisida, pertumbuhan tanaman menurun, namun disamping itu, pertumbuhan dapat tumbuh dengan baik karena adanya endofit benih yang melimpah.

Beberapa kasus menjelaskan bahwa penurunan signifikan perkecambahan pada benih gandum yang diberi perlakuan bavistin dan thiram disebabkan oleh ketidakmampuan benih untuk memobilisasi pati yang tersimpan tanpa adanya endofit (Gogna, Shee and Moreno, 2015). Meningkatnya kecenderungan tanaman jeruk, pisang dan pakis daun untuk terinfeksi oleh strain patogen virulen setelah pemberian benolat dapat disebabkan oleh menurunnya pertahanan tanaman akibat tidak adanya endofit (Klopper et al., 2013).

Meskipun bukti langsung tidak ada, hasil yang diperoleh untuk jaringan daun dalam hal ini memperkuat hipotesis tersebut. Daun mangga yang diobati dengan heksakonazol, fungisida sistemik triazol spektrum luas, terinfeksi oleh spesies FE (fungal endophyt) yang tidak dapat menginfeksi daun yang tidak diobati (Mohandoss and Suryanarayanan, 2009).

Studi terbaru lainnya menunjukkan bahwa pengobatan fungisida juga mengubah kepadatan komunitas endofit asli (Batzer and Mueller, 2020). Mengingat kemampuan FE dalam menghasilkan senyawa antijamur dan antibakteri serta fitohormon (Bian et al., 2021), dapat dipahami bahwa gangguan yang disebabkan oleh fungisida pada komunitas FE asli di daun memengaruhi sifat tanaman inang (Suryanarayanan, 2020).

## 14.3 Bakterisida

Bakterisida adalah pestisida yang khusus mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh bakteri. Bakterisida untuk mengendalikan penyakit tanaman berupa antibiotik. Definisi klasik antibiotik adalah senyawa yang diproduksi oleh mikroorganisme yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain. Selama bertahun-tahun, definisi ini telah diperluas untuk mencakup produk sintetis dan semi-sintetis. Antibiotik dikelompokkan berdasarkan struktur kimia atau mekanisme penghambatan mikroorganisme. Dua senyawa yang dapat digunakan pada tanaman pangan yaitu streptomisin dan oksitetrasiklin.

Streptomisin. Di AS, penggunaan streptomisin diizinkan pada 12 spesies tanaman, tetapi penggunaan utamanya adalah pada apel, pir, dan pohon hias terkait untuk mengendalikan penyakit busuk daun yang disebabkan oleh *Erwinia amylovora* (Tabel 14.2). Penggunaan minor meliputi florikultura, perawatan benih, dan pada bibit seledri, paprika, kentang, tomat, dan tembakau di rumah kaca dan/atau ladang. Pada konsentrasi tinggi, streptomisin dapat bersifat fitotoksik terhadap tanaman; sehingga dioleskan pada permukaan tanaman dan tidak disuntikkan.

Oksitetrasiklin. Antibiotik ini digunakan terutama pada buah persik, nektarin, dan pir. Oksitetrasiklin juga digunakan sebagai tindakan darurat pada apel di wilayah tertentu tempat strain *Erwinia amylovora* yang resistan terhadap streptomisin telah dilaporkan. Turunan tetrasiklin adalah satu-satunya antibiotik yang juga dapat digunakan secara internal pada tanaman.

Tetrasiklin disuntikkan ke batang pohon palem dan elm untuk mengobati penyakit kuning mematikan yang disebabkan oleh fitoplasma (Agrios, 1997). Penyuntikan tetrasiklin ke pohon merupakan pengobatan yang mahal dan intensif, yang sering kali harus diulang untuk meredakan atau menunda gejala. Penyuntikan antibiotik terbatas hanya praktis untuk tanaman hias bernilai tinggi dan bukan untuk pohon pertanian atau hutan yang luas.

Antibiotik streptomisin dan oksitetrasiklin efektif untuk melindungi buah tomat dari penyakit bercak bakteri oleh *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Jardine and Stephens, 1987). Bahan aktif lain seperti hydrogen peroxide dan peroxyacetic acid dilaporkan bersifat preventif yang efektif menekan hawar daun bakteri pada krisan dengan cara disemprotkan pada daun dengan konsentrasi 0,1% dengan interval 5-7 hari sekali (Choppakatla, 2015 dalam (Hanudin, Sanjaya and Marwoto, 2020).



# Bab 15

## Pengendalian Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman (PHT)

### 15.1 Pendahuluan

Pengendalian terpadu hama dan penyakit tanaman (PHT) merupakan pendekatan yang memadukan berbagai pendekatan untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman yang ditujukan agar lebih efektif, efisien serta ramah lingkungan. PHT bertujuan untuk mengoptimalkan pengendalian hama dan penyakit tanaman yang ada dilapangan dengan berbagai pengendalian seperti kultur teknis, pengendalian hayati, pengendalian kimia. Sistem kerja penerapan PHT memephatikan pada banyak aspek mulai dari pencegahan, pemantauan dan tindakan aplikasi yang tepat untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Pendekatan ini memperhatikan berbagai aspek dalam pengendalian, mulai dari pencegahan, pemantauan, hingga tindakan pengendalian yang tepat. Tindakan PHT terdiri dari tiga komponen penyusun meliputi tindakan

prevent (pencegahan), pencegahan, monitor (pengamatan) dan intervene (pengobatan). Tindakan prevent atau preventif merupakan salah satu bagian yang paling penting berupa pemahaman kondisi lahan yang akan ditanami, pemilihan varietas yang unggul atau tahan, serta pengaturan pertanaman dilahan.

Pada tindakan monitor atau pengamatan dapat berupa pengecekan dilahan selama masa tanam, mengidentifikasi masalah yang ada dilahan serta pengambilan tindakan untuk pengendalian masalah yang ditimbulkan oleh hama atau penyakit dilahan. Tindakan intervene atau pengobatan dapat berupa pemilihan metode pengendalian, merencanakan pendekatan untuk tindakan pengendalian atau pengobatan.

## 15.2 Preventif

Tindakan preventif atau pencegahan adalah tindakan yang diambil sebelum melakukan kegiatan penanaman dilahan budidaya. Banyak hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum memulai penanaman dilahan dengan tujuan meminimalisir kedatangan hama dan penyakit serta gulma dilahan budidaya.

Beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam penerapan PHT dalam tindakan pencegahan seperti mulai dari pemilihan lokasi tanam, pemilihan varietas yang akan digunakan, menentukan strategi penanaman dan rotasi tanam, perawatan tanaman, pemanenan sampai dengan penyimpanan, pemberian pupuk atau nutrisi yang sesuai dan lainnya. Hal-hal tersebut penting diperhatikan dalam penerapan PHT agar tanaman budidaya dapat menghasilkan secara maksimal dengan tingkat kerusakan yang disebabkan oleh OPT menjadi minim.

### 15.2.1 Pemilihan Lokasi Tanam

Pemilihan lokasi tanam sangat penting diperhatikan, kegiatan tersebut dapat menjadi langkah awal yang dapat menuntukan keberhasilan

penanaman yang dilakukan. Pemilihan lokasi tanam mulai dari penyemaian sampai tanaman siap tanam membutuhkan tempat yang layak dan sesuai.

Penyemaian atau nursery umumnya dilakukan pada tempat dengan paparan cahaya matahari yang cukup namun tidak begitu terik, hal tersebut disesuaikan dengan kemampuan tanaman dalam menyesuaikan dengan kondisi lingkungan agar tidak menjadi kering dan mudah mati. Pada kisaran umur tanaman yang cukup baru akan dilakukan transplantasi ketempat yang lebih luas (lahan tanam), pemindahan dapat dilakukan pada sore hari ketika suhu disekitar lahan pertanaman tidak begitu panas.

Pemilihan lokasi yang strategis juga dapat disesuaikan dengan tanaman agar mampu beradaptasi dan hidup, seperti tanah yang tergenangi pada rawa lebak yang cocok untuk jenis tanaman padi, lokasi didataran tinggi yang cocok untuk penanaman kopi dan teh. Pemilihan lokasi ini juga dapat didasarkan dari keberadaan hama yang hidup pada wilayah tersebut, apabila lahan yang akan ditanami sebelumnya sempat terjadi outbreak atau peledakan hama maka penting untuk diberi perlakuan khusus untuk pengelolaan tanah seperti pembajakan, solarisasi tanah dan lainnya dengan tujuan mengangkat sisa-sisa sumber inokulum yang terkubur didalam tanah agar terangkat kepermukaan tanah dan terpapar sinar matahari agar mati.

Beberapa patogen juga dapat dorman didalam tanah, hal tersebut juga dapat memicu permasalahan apabila tidak dilakukan tindakan yang tepat. Penanaman tanaman penutup seperti dari genus *Urochloa* yang merupakan rumput yang dapat direkomendasikan sebagai alternatif tanaman penutup dalam budidaya jagung, rumput tersebut dapat meningkatkan mikroba didalam tanah (Momesso et al., 2022).

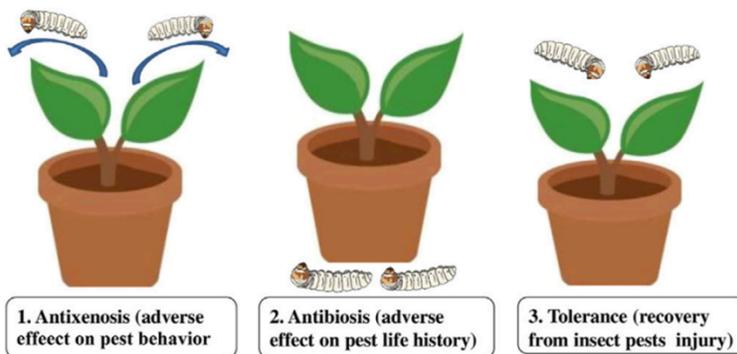
### 15.2.2 Pemilihan Varietas

Pemilihan varietas yang bersifat unggul atau tahan juga penting dilakukan sebagai langkah pencegahan dari serangan hama dan penyakit. Varietas tahan dikenal memiliki ketahanan yang unggul baik dari pertumbuhan

sampai sistem kekebalan tanaman, umumnya benih yang dipasarkan dari produk-produk yang dilabeli sebagai varietas unggul ini sudah menjamin bebas dari hama ataupun penyakit utama yang banyak ditemukan menyerang pada tanaman tersebut.

Umumnya varietas tahan tersebut sudah dilapisi dengan tambahan fungisida yang melingkupi permukaan biji benih yang sudah dikemas, dengan tujuan untuk menjaga kesehatan benih dan meminimalisir serangan dari patogen ataupun hama yang mungkin akan muncul pada saat pembibitan dilakukan. Beberapa contoh dari varietas unggul seperti pada cabai yaitu padi unggul Ciherang yang ditujukan dapat berproduksi maksimal, tahan akan serangan wereng dan dapat ditanam pada sawah jenis irigasi ataupun tadah hujan.

Terdapat jenis lainnya seperti Inpari, Inpara, Inpago yang ditujukan seperti mampu beradaptasi pada lingkungan yang beragam seperti toleran akan kekeringan dan tahan terhadap OPT utama. Varietas tahan akan lebih baik untuk tidak digunakan dalam jangka waktu panjang atau berulang tanpa henti karena memungkinkan mudahnya terpatahkan oleh hama utama yang menyerang. Mekanisme dari tanaman yang bersifat resisten dapat terdiri dari antixenosis, antibiosis dan toleran (Gambar 15.1).



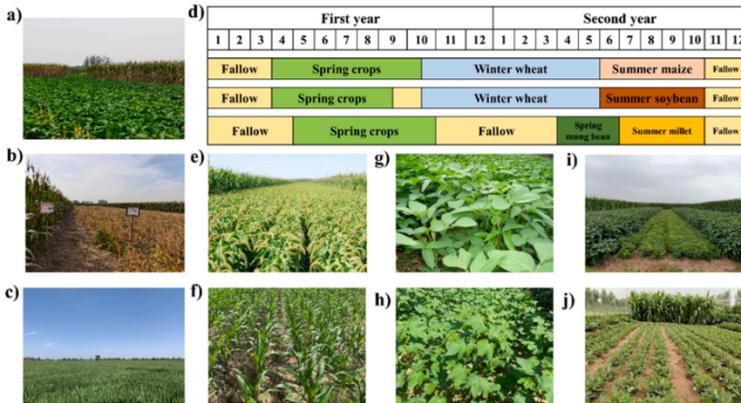
**Gambar 15.1:** Mekanisme dari tanaman inang yang bersifat resisten terhadap serangga (Kumari et al., 2022)

### 15.2.3 Rotasi Tanam

Rotasi tanam merupakan kegiatan pergiliran tanam yang dilakukan disatu lahan yang sama dalam kurun waktu berbeda, kegiatan menanam berbagai jenis tanaman yang berbeda disetiap musim tanam. Salah satu tujuan dari kegiatan ini adalah untuk memutus sumber inokulum baik pada penyakit maupun hama. Penentuan jenis tanaman yang akan dibudidayakan umumnya didasari pada kebutuhan petani dan kecocokan dengan musim yang ada. Rotasi tanam yang dapat diterapkan dalam budidaya lahan pertanian (Gambar 15.2).

Rotasi tanam dapat memutus keberadaan hama dan penyakit yang dapat hidup pada jenis tanaman yang sama atau serupa. Sistem rotasi tanam dapat dilakukan baik pada negara beriklim tropis maupun sub-tropis. Rotasi tanam menjadi penting dilakukan sebagai tindakan preventif karena dilakukan sebelum proses penanaman berlangsung. Pada negara sub-tropis yang memiliki empat musim umumnya rotasi tanam dapat berlangsung tahunan.

Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam melakukan rotasi tanam seperti pengelompokan tanaman berdasarkan familinya, mempertimbangkan kisaran waktu patogen dapat bertahan hidup didalam tanah atau disekitar lingkungan pertanian, mempertimbangkan kisaran hama yang berpotensi menyerang pada tanaman inang, mempertimbangkan penyebaran patogen ataupun hama disekitaran lahan budidaya dan banyak lainnya. contoh penerapan rotasi seperti penanaman kacang-kacangan, sayuran, buah, bawang-bawangan, sayuran akar dan batang.



**Gambar 15.2:** Rotasi tanam pada lahan pertanian

- Keanekaragaman rotasi tanam pada ubi jalar (*Ipomea batatas* (L.) Lam.),
- Kacang kedelai pada musim dingin gandum-pada musim panas dan kedelai pada musim panas,
- Gandum pada musim dingin (*Triticum aestivum* L.),
- Urutan tanaman rotasi tanam, *Panicum miliaceum* L. pada musim panas,
- Jagung (*Zea mays*) pada musim panas,
- Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.),
- Pada musim panas kapas (*Gossypium herbaceum* L.),
- Pada musim semi kacang (*Arachis hypogaea* L.) dan sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Wang et al., 2023)

#### 15.2.4 Perawatan Tanaman

Perawatan tanaman menjadi faktor yang sangat penting, perawatan tanaman sangat berkaitan dengan ada tidaknya gangguan yang ditimbulkan oleh hama dan penyakit. Perawatan yang diberikan pada tanaman dapat menyesuaikan mulai dari tahapan budidaya, jenis tanaman budidaya dan banyak lainnya.

Pengolahan tanah, pengolahan irigasi, pengoptimalisasian pemupukan, panen dan penyimpanan merupakan beberapa bagian dari contoh perawatan yang dapat dilakukan pada tanaman budidaya. Apabila faktor-faktor tersebut dilakukan dengan baik dan menyesuaikan maka ditujukan pada pertumbuhan tanaman yang baik dan mengurangi gangguan pada tanaman.

Pengolahan tanah atau pembolak balikan tanah sangat baik untuk mengangkat sumber inokulum yang hidup didalam tanah agar timbul kepermukaan. Pada tahap ini pengolahan tanah dapat memanfaatkan pembajakan menggunakan mesin atau traktor, secara manual dapat dilakukan dengan pencangkulan tanah menggunakan alat konvensional seperti cangkul. Penaburan kapur pada tanah yang belum ditanami sebagai salah satu upaya yang dilakukan pada tanah yang memiliki pH yang asam juga dapat digunakan.

Parameter tanah dan iklim juga dapat mengontrol asimilasi silikon (Si) oleh tanaman. Si tersedia dalam larutan tanah sebagai asam monosilikat monomer tak bermuatan ( $H_4SiO_4$ ) dan tanaman mengakumulasi Si sebagai silika terhidrasi amorf ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ , yang disebut fitolit) dalam sel epidermis. Emisi Herbivore-Induced Plant Volatiles (HIPV) oleh tanaman dimodifikasi oleh Si, yang pada gilirannya memengaruhi interaksi tritrofik (Leroy et al., 2019).

Pengolahan irigasi yang baik juga diperlukan agar terhindar dari serangan hama dan penyakit. Sistem irigasi yang baik juga dapat meminimalisir genangan pada lahan, beberapa jenis tanaman akan sangat mudah mengalami gangguan berupa stres dan dapat memicu kematian pada tanaman. Sistem irigasi yang baik juga akan meminimalisir kekeringan pada lahan budidaya. Beberapa contoh dari sistem irigasi yang baik seperti penggunaan sprinkler, irigasi tetes, irigasi pompa dan lainnya. Pemanfaatan sistem IoT (Internet of Things) juga dapat diterapkan dengan penggunaan sprinkler yang dapat hidup otomatis sesuai dengan pengaturan waktu yang diinginkan oleh penggunaanya.

Pemupukan merupakan penambahan nutrisi yang dibutuhkan tanaman untuk mendukung perkembangan tanaman agar lebih optimal. Penambahan nutrisi ini dapat diberikan melalui penambahan pupuk baik organik maupun kimiawi. Pemupukan juga dapat diberikan sebelum tanam seperti pemupukan menggunakan pupuk kotoran hewan seperti unggas, biasanya pemupukan ini ditujukan sebagai pemupukan dasar. Pemupukan setelah tanam dapat menggunakan pupuk dengan unsur NPK. Pemberian pupuk dapat diberikan perminggu dengan dosis yang sudah disesuaikan dan dengan jarak yang tepat.

Kegiatan panen dan pasca panen juga menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam PHT. Kegiatan panen yang kurang baik akan mengakibatkan penyebaran hama dan penyakit pada lahan budidaya. Alat pemanenan yang digunakan pada tanaman sakit dapat memungkinkan penularan spora, serangga, partikel virus dan lainnya ketanaman sehat. Beberapa penyakit dan hama juga dapat berkembang dengan baik selama masa penyimpanan. Seperti penyakit kapang biru pada jeruk yang dapat disebabkan oleh jamur dari genus *Penicillium*, busuk asam pada tomat yang dapat disebabkan oleh jamur dari genus *Geotrichum*. Hama yang menyerang pada penyimpanan juga beragam seperti *Sitophilus oryzae* yang menjadi kumbang yang menyerang pada beras dipenyimpanan.

## 15.3 Monitoring

Monitoring merupakan tahapan pengamatan yang umumnya dilakukan setelah proses Penanaman dilakukan. Pada tahap ini penting untuk diketahui hal-hal apa saja yang terjadi dilapangan, bagaimana perkembangan tanaman dilapangan, ada tidaknya organisme pengganggu tumbuhan seperti hama, penyakit dan gulma serta lainnya. Monitoring umumnya dilakukan oleh beberapa orang saja yang menyesuaikan dengan luas kisaran lahan yang ada, kegiatan mengelilingi lahan budidaya, serta mengamati dan mengambil data seperti foto atau tulisan menggunakan peralatan yang telah disiapkan sebelumnya.

Data yang didapat dari proses monitoring ini selanjutnya dapat dijadikan acuan tentang keadaan lahan untuk proses penanaman selanjutnya. Apabila terdapat masalah pada lahan budidaya dari hasil monitoring yang dilakukan maka penting selanjutnya untuk diambil tindakan pengendalian yang bersifat pengobatan pada lahan budidaya. Monitoring sangat bermanfaat dalam kegiatan PHT dilapangan, keutamaan dari keuntungan dari monitoring dilapangan dapat dilihat seperti pada Gambar 15.3.



**Gambar 15.3:** Keuntungan utama monitoring hama secara otomatis (Mikle<sup>✓</sup> and Cirjak, 2022)

## 15.4 Pengendalian

Pengendalian menjadi langkah yang sangat penting diambil apabila keadaan tanaman dilahan budidaya sudah mulai menunjukkan adanya gangguan dari berbagaimacam faktor. Setelah dilakukan tindakan preventif dan tindakan monitoring tidak menutup kemungkinan keberadaan hama, penyakit serta gulma menjadi aman dilapangan.

Maka dari itu perlu dilakukan tindakan pengendalian yang diharapkan dapat menekan keberadaan dari berbagai macam gangguan yang sangat berpotensi mengganggu dilahan budidaya tersebut. Kegiatan pengendalian dapat mencakup kegiatan kultur teknis, pengendalian fisik, pengendalian mekanik, pengendalian kimia sampai pengendalian menggunakan pestisida.

### 15.4.1 Pengendalian secara Kultur Teknis

Pengendalian kultur teknis erat kaitannya dengan manajemen sistem budidaya yang diterapkan, seperti pada penanaman menggunakan sistem tumpang sari. Pada kegiatan tersebut lahan akan ditanami dengan lebih dari satu jenis tanaman yang diusahakan berasal dari famili yang berbeda. Kecocokan penanaman tanaman disatu lahan yang sama juga harus disesuaikan sebelum dilakukan penanaman.

Tanaman yang berbeda famili diharapkan akan meminimalisir kerusakan yang dihasilkan dari hama utama pada tanaman yang ditanam. Maka kerusakan yang ditimbulkan oleh hama, penyakit tersebut diharapkan dapat diminimalisir dengan sistem budidaya tersebut. Penanaman pada waktu yang kurang disukai oleh hama juga dapat mendukung minimnya gangguan yang dapat ditimbulkan.

Salah satu contoh dari sistem penanaman yang menggabungkan dua jenis tanaman yang berbeda disatu lahan seperti pada Gambar 15.4. Selain untuk penekanan terhadap serangan hama dan penyakit penanaman tumpang sari antara *Medicago ruthenica* dan *Bromus inermis* menghasilkan tanaman yang dapat berproduksi secara ideal (Wei et al., 2024).



**Gambar 15.4:** Tumpang sari anatara gandum dan kacang faba (Bonke, 2020)

### 15.4.2 Pengendalian Fisik dan Mekanik

Pengendalian fisik merupakan pengendalian yang berkaitan dengan penyesuaian lingkungan fisik seperti suhu, kelembapan atau cahaya. Penyesuaian suhu, berupa pemaparan sinar matahari pada tanah, menggunakan penguapan air, serta pengaliran gelombang udara panas kedalam tanah. Suhu yang panas diharapkan dapat mematikan sumber inokulum baik yang terdapat didalam tanah maupun di permukaan tanah. Hal tersebut akan sangat membantu untuk mengurangi serangan hama dan penyakit yang terdapat didalam tanah.

Penggunaan mulsa plastik juga merupakan tindakan pengendalian secara fisik, untuk menjaga kelembaban didalam tanah, menjaga tekstur tanah, menjaga suhu tanah, serta sebagai penahan gulma yang tumbuh disekitar tanaman utama. Selain mulsa plastik terdapat juga mulsa organik yang memanfaatkan seresah organik untuk menutup permukaan tanaman. Praktik-praktik yang dapat dilakukan dalam cover crops dapat dilihat pada gambar 15.5. Mengatur lingkungan menjadi tempat yang tidak disukai untuk perkembangan hama dan penyakit tanaman yang ada pada lahan budidaya menjadi penting dilakukan.

Penurunan suhu menggunakan penggenangan air juga dapat menjadi salah satu pengendalian secara fisik dilapangan. Pemanfaatan lampu perangkap light trap sebagai lampu perangkap juga sangat baik untuk memerangkap serangga hama yang aktif menyerang pada malam hari. Apabila faktor fisik tersebut membuat hama dan penyakit menjadi tidak nyaman dengan lingkungan yang dikehendaki hama dan penyakit tersebut maka hal tersebut akan mengganggu perkembangan serta kemampuan bertahan hidup yang dimiliki oleh hama dan penyakit tersebut. Pengendalian fisik juga dapat diterapkan bersamaan dengan pengendalian mekanik dilapangan.



**Gambar 15.5:** Praktik-praktik yang diikuti berdasarkan prinsip penutupan tanah dari pertanian konservasi (Jasrotia et al., 2023)

Pengendalian mekanik merupakan pengendalian yang menggunakan alat sebagai perangkap atau pengendali hama dan penyakit yang ada dilapangan. Penggunaan yellow sticky trap sebagai perangkap lalat buah dan serangga hama lainnya yang biasanya memerangkap serangga yang terbang.

Terdapat juga Trap Barrier System (TBS) yang digunakan sebagai perangkap tikus yang hidup disawah. Perangkap spora sebagai alat yang digunakan untuk memerangkap spora yang ada diudara atau dipermukaan, perangkap spora dilengkapi dengan permukaan yang lengket. Pemasangan umpan untuk memerangkap hama dilapangan, pengusiran menggunakan orang-orangan sawah, dan lainnya.

### 15.4.3 Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati merupakan kegiatan pengendalian hama, penyakit atau gulma dengan memanfaatkan musuh alami sebagai pengendali OPT tersebut. Musuh alami yang digunakan bervariasi mulai dari pengendalian menggunakan parasitoid, predator, entomopatogen, jamur antagonis, bakteri antagonis, virus dan lainnya. Untuk pengendalian hama dapat menggunakan jamur entomopatogen seperti jamur *Beauveria bassiana*,

*Metarhizium* sp., yang telah diperbanyak saat ini dengan tujuan sebagai pengendali serangga hama yang menyerang pada tanaman.

Serangga yang terserang jamur entomopatogen akan menunjukkan gejala berupa perlambatan gerak serangga, tumbuh yang menjadi kaku, mengering serta bagian tubuh yang ditumbuhi jamur. Bakteri entomopatogen yang bersifat membunuh pada serangga inang, dengan menunjukkan beberapa gejala seperti membusuk, melunak dan mati. Pengendalian lainnya berasal dari virus, beberapa contohnya aseperti NPV (Nucleo Polyhedro Virus), Baculovirus dan lainnya, beberapa gejala yang ditimbulkan dari serangan virus seperti berhenti makan, kelumpuhan serangga, dan tubuh serangga yang menggantung.

Terdapat juga predator dan parasitoid yang dapat digunakan untuk pengendalian serangga hama, predator sebagai artropoda yang memangsa serangga yang lebih kecil. Untuk parasitoid merupakan serangga yang dapat hidup didalam tubuh inangnya. Penggunaan tanaman Brassica sebagai bio-kontrol juga akan berdampak sangat baik bagi tanaman dalam penekanan hama dan penyakit yang hidup pada tanaman (Ishita, Jens and B, 2009).

Ada juga jamur endofit yang memiliki peranan dalam fisiologi tanaman, jamur endofit memeberikan metode yang menarik, efektif dan ramah lingkungan sebagai pengendali penyakit tanaman (Akram et al., 2023). Penggunaan rizobakteri yang menguntungkan bagi tanaman atau yang banyak dikenal sebagai Plant Growth-promoting Rhizobacteria (PGPR) yang dapat menginduksi resistensi sistemik terhadap infeksi patogen (Zhu, Huang and Lu, 2022).

#### 15.4.4 Pengendalian Kimia

Pengendalian kimia yang tepat menjadi salah satu faktor yang dapat diterapkan dalam pengendalian berbasis PHT. Pengendalian kimia ditujukan dalam penggunaan pestisida sebagai pengendali hama, insektisida untuk pengendali serangga hama, akarisida sebagai pengendali tungau, nematisida sebagai pengendali nematoda, bakterisida sebagai pengendali

bakteri patogen, fungisida sebagai pengendali jamur, herbisida sebagai pengendali gulma, dan banyak lainnya.

Penggunaan pestisida dilakukan sebagai pilihan terakhir yang digunakan. Ketepatan target yang ingin dikendalikan, dosis atau takaran yang sesuai anjuran, serta cara penggunaan yang baik akan sangat berdampak pada keberadaan hama, penyakit serta gulma yang tumbuh dilapangan.

Beberapa contoh bahan aktif juga perlu diperhatikan dalam pengaplikasian pestisida dilapangan. Seperti bahan aktif dari insektisida seperti metomil 40, klorpirifos, sipermetrin, fipronil, abamectin, deltametrin dan lainnya. Bahan aktif yang terdapat pada fungisida seperti pyraclostrobin, simoksanil, propamocarb dan lainnya.

Dalam penerapan PHT penggunaan pestisida harus dapat meminimalkan dampak yang akan diterima lingkungan, hal tersebut dapat berlaku dengan cara pemilihan bahan kimia yang selektif, penggunaan sesuai dengan target yang butuh untuk dikendalikan serta akan lebih baik jika dilakukan rotasi jenis pestisida yang digunakan dilahan. Pestisida yang sesuai dalam penerapan PHT memiliki beberapa sifat penting seperti efektif dalam menurunkan populasi hama yang ada diatas ambang ekonomi, mengendalikan tepat sasaran dan tidak membunuh pada artropoda yang bersifat sebagai musuh alami seperti predator dan parasitoid.

# Bab 16

## Efek Pestisida Terhadap Lingkungan

### 16.1 Pendahuluan

Penggunaan pestisida biasanya diaplikasikan pada aspek-aspek budidaya, seperti pertanian, kehutanan, kesehatan masyarakat, dan industri. Namun, pertanian memiliki andil besar terhadap masuknya residu pestisida ke dalam lingkungan. Kebutuhan untuk mendapatkan hasil produksi tinggi, memicu petani menggunakan pestisida untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT).

Seperti telah diketahui bahwa pestisida membantu para petani mendapatkan hasil panen lebih tinggi dengan cara melindungi tanaman dari kerusakan akibat gulma dan vektor pembawa penyakit. Sayangnya, seringkali hasil panen yang tinggi ini harus mengorbankan kesehatan lingkungan sekitar area pertanian. Para petani hanya mau mendapatkan

hasil produksi terbaik, tanpa dibarengi dengan pengetahuan cara pakai pestisida dengan tepat.

Pestisida sebagai bahan kimia yang dirancang untuk membunuh atau mengendalikan persebaran OPT secara tidak langsung ikut membawa dampak terhadap lingkungan. Dibandingkan dampak baik terhadap lingkungan, secara umum yang paling banyak didiskusikan adalah dampak buruk yang diakibatkannya. Hal ini, dikarenakan kandungan senyawa kimia bersifat mematikan dan bila diaplikasikan secara tidak proporsional, hewan dan tumbuhan lain yang bukan OPT target juga ikut terbunuh. Selain itu, yang terburuk dari hal tersebut adalah dapat menjadi penyebab munculnya resistensi OPT terhadap pestisida itu sendiri.

Dalam kasus lainnya, residu dari pestisida berbahan kimia toksik juga dapat mencemari badan air ketika ikut terbawa aliran air hujan. Pencemaran air akibat limbah pestisida menjadi ancaman serius bagi ekosistem perairan dan sumber air minum. Berdasarkan laporan yang disampaikan oleh Environmental Protection Agency (EPA) pada tahun 1990, pencemaran air sungai dan aliran air akibat pelepasan dan pencampuran bahan kimia yang diaplikasikan pada sektor pertanian mencapai 50%.

Banyaknya pengaruh buruk akibat minimnya pengetahuan terhadap penggunaan pestisida yang berlebihan, maka penting untuk membahas lebih lanjut mengenai hal tersebut. Sehingga diharapkan, dapat mencegah atau mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh pestisida.

## 16.2 Sejarah Jenis-Jenis Pestisida

Risiko akibat penggunaan pestisida akan lebih tinggi jika pengguna tidak terampil dan tidak mengetahui strategi perlindungan yang tepat. Untuk itu, penting untuk mengetahui klasifikasi dan jenis-jenis pestisida yang digunakan dalam pengendalian OPT. Istilah pestisida mencakup berbagai senyawa yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan

meningkatkan hasil panen. Setiap jenis pestisida memiliki karakteristik, cara kerja, tingkat toksisitas, dan tujuan penggunaan yang berbeda-beda.

Pendekatan klasifikasi pestisida yang paling umum digunakan adalah berdasarkan sifat kimianya dan jenis target yang dituju. Contohnya adalah insektisida untuk mengendalikan serangga, fungisida mengendalikan jamur, herbisida mengendalikan gulma, moluskisida mengendalikan moluska, dan lain sebagainya (Tabel 16.1).

**Tabel 16.1:** Jenis-jenis pestisida berdasarkan target yang dituju

No.	Jenis Pestisida	Target tujuan
1.	Algisida	Membunuh alga di kolam, tangki air dan lokasi lainnya
2.	Antifoulan	Membunuh teritip
3.	Antimikroba	Mikroorganisme seperti bakteri dan virus
4.	Atraktan	Umpan pemikat hama
5.	Biopestisida	Pestisida alami
6.	Biocida	Membunuh mikroorganisme
7.	Defoliant	Merontokkan daun
8.	Desikan	Mengeringkan jaringan hidup
9.	Disinfektan	Membunuh mikroorganisme pembawa penyakit pada benda mati
10.	Fungisida	Membunuh jamur
11.	Fumigan	Gas atau uap pembasmi hama
12.	Herbisida	Membunuh gulma

13.	Pengatur pertumbuhan serangga	Mengganggu proses kehidupan serangga
14.	Insektisida	Membunuh serangga
15.	Mitisida	Membunuh tungau
16.	Pestisida mikroba	Mikroorganisme predator
17.	Moluskisida	Membunuh moluska seperti siput
18.	Nematoda	Membunuh nematoda
19.	Ovisida	Membunuh telur serangga atau tungau
20.	Feromon	Mengganggu perilaku kawin serangga
21.	Pengatur pertumbuhan tanaman	Mengubah laju pertumbuhan, pembungaan atau reproduksi tanaman
22.	Perlindungan tanaman terintegrasi	Zat untuk mengendalikan pertumbuhan tanaman
23.	Repelan	Pengusir hama
24.	Rodentisida	Mengendalikan tikus dan hewan pengerat

Pestisida memiliki struktur kimia dan komposisi yang cukup kompleks. Biasanya pestisida dengan struktur kimia serupa memiliki tipe dan cara kerja yang sama. Pembagiannya dapat dikategorikan ke dalam golongan organoklorin, piretrin, dan piretroid, organofosfat, dan karbamat. Dalam sejarahnya, awal mula pembuatan pestisida berawal dari ditemukannya senyawa piretrin pada tumbuhan bunga yang mampu membunuh serangga secara alami.

Lalu, para ilmuwan mulai mempelajari hal tersebut dan mulai mengembangkan pestisida. Pada akhir tahun 1800-an pestisida pertama ditemukan dalam bentuk senyawa organoklorida. Jenis pestisida pertama yang diproduksi adalah Benzena heksaklorida (BHC) oleh Michael Faraday

dan Diklorodifeniltrikloroetana (DDT) oleh Othamr Ziedler sejak tahun 1825.

Pada tahun 1933 dan 1939, karakteristik dari bahan kimia BHC dan DDT diketahui mampu membasmi serangga, gulma, hewan pengerat, jamur dan organisme lainnya yang dianggap mengganggu manusia. Namun, seiring berjalannya waktu, bahan kimia tersebut diketahui mulai menunjukkan dampak negatifnya terhadap ekosistem. Hal ini dikarenakan efektifitas dari residunya terakumulasi dalam rantai makanan dalam jangka waktu lama bahkan sampai saat ini masih berdampak terhadap kesehatan manusia.

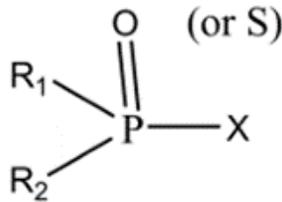
Lambat laun, DDT dianggap sebagai salah satu penyebab berbagai penyakit pada manusia. Antara lain adalah kanker, gangguan pada sistem saraf, endokrin dan kekebalan, kerusakan pada organ paru-paru dan reproduksi, serta bayi terlahir cacat. Oleh sebab itu, penggunaan DDT mulai dilarang produksi dan digunakan serta dianggap sebagai bahan pencemar oleh berbagai negara maju.

Seiring berjalannya waktu, para peneliti lain mulai mencari dan memodifikasi struktur dari piretrin alami dan menemukan senyawa piretroid pertama pada tahun 1949 oleh Schechter dan LaForge. Penemuan ini menginspirasi para peneliti lainnya diberbagai belahan dunia untuk memodifikasi komposisi alkohol dan asam dari piretroid.

Dengan kata lain, hasil penelitian mendapatkan turunan senyawa kimia yang lebih efektif dan murah dalam mengendalikan organisme pengganggu. Hal yang paling penting adalah bahwa senyawa tersebut lebih ramah lingkungan karena mudah terdegradasi oleh paparan sinar ultraviolet sehingga dapat mencegah akumulasi yang lama di lingkungan. Dengan demikian, kelas pestisida ini banyak digunakan dalam perlindungan tanaman pada sektor pertanian.

Saat ini, telah ditemukan lagi dua jenis pestisida lain yang banyak digunakan, yaitu organofosfat dan karbamat. Pestisida organofosfat secara umum merupakan senyawa sintesis amida, ester atau turunan tiol dari asam fosfat (asam fosfonat) (Gambar 16.1). Salah satu contoh dari organofosfat

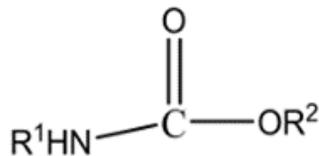
adalah klorpirifos (CPY), merupakan senyawa hidrofobik yang berikatan kuat dengan sedimen apabila masuk ke dalam areal perairan.



**Gambar 16.1:** Struktur umum organofosfat

Senyawa ini dapat berikatan dengan sedimen dalam waktu paruh selama 30 hari, sedangkan di dalam tanah berkisar 2 hingga 1.575 hari dalam kondisi laboratorium dan bergantung dengan sifat tanahnya. Faktanya, sedimen dan tanah dapat mengikat berbagai bahan kimia dengan kemampuan yang berbeda-beda. Bioavailibilitas (ketersediaan) bahan kimia di perairan permukaan, air tanah, udara dan semua makhluk hidup memiliki status-status yang berbeda-beda. Dengan kata lain, pengaruh dari bioavailibilitas bahan kimia tersebut juga akan berbeda-beda terhadap spesies yang berbeda pula [4].

Pestisida Karbamat memiliki mekanisme dan struktur yang mirip dengan pestisida organofosfat (Gambar 16.2).



**Gambar 16.2:** Struktur umum karbamat

R2 merupakan gugus aromatic atau alifatik. Tiga kelas utama pestisida karbamat yang sering digunakan adalah insektisida karbamat, R1 merupakan gugus metil; herbisida karbamat, R1 adalah gugus aromatik; dan fungisida karbamat, R1 adalah gugus benzimidazole.

Pemahaman mengenai sifat ionisasi asam-basa molekul organik adalah penting agar dapat dipahami transportasi dan transformasi dari senyawa tersebut terhadap lingkungan. Dengan kata lain, dapat dipelajari mengenai perkiraan potensi dampaknya pada lingkungan. Untuk jenis senyawa yang dapat terionisasi, kelarutan, fenomena pemisahana dan reaktivitas kimia sangat bergantung pada status ionisasi dalam tiap fase kondensasinya. Karbamat sendiri dianggap mutagenic dan karsinogenik karena dapat dikonversi menjadi senyawa N-nitroso.

Kedua pestisida organofosfat dan karbamat merupakan senyawa yang mudah menguap. Senyawa yang mudah menguap dapat memengaruhi keberadaannya di lingkungan. Terdapat dua cara kemudahan suatu senyawa dapat menguap, yaitu yang pertama dengan mengendalikan pembagian senyawa antara fase partikel dan fase uap; yang kedua adalah dengan mengendalikan pembagian senyawa antara fase terlarut dalam air dan fase uap di atmosfer. Oleh sebab itu, sampai saat ini, kedua jenis pestisida ini adalah jenis pestisida yang paling umum digunakan di seluruh dunia. Karena kehadirannya pada lingkungan tidak persisten.

## 16.3 Mekanisme Penggunaan Pestisida

### 16.3.1 Herbisida

Herbisida bekerja melalui berbagai cara tergantung pada jenis gulma yang ditargetkan. Salah satu mekanismenya adalah dengan menghambat sintesis asam amino, yaitu melalui penghambatan enzim tertentu yang berperan dalam produksi asam amino penting bagi pertumbuhan tanaman. Misalnya, terdapat herbisida yang menghambat kerja enzim acetolactate synthase (ALS), enzim yang bertanggung jawab dalam pembentukan asam amino rantai bercabang.

Herbisida jenis ini termasuk dalam kelompok sulfonilurea, yang dikenal memiliki tingkat selektivitas yang luas. Selain itu, terdapat jalur biosintesis

dalam tanaman yang menghasilkan asam amino aromatik seperti fenilalanin, triptofan, dan tirosin. Herbisida glifosat dikembangkan secara komersial untuk menghentikan jalur ini dengan cara menghambat enzim 5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase, sehingga proses pertumbuhan tanaman terhenti.

Enzim lain yang juga menjadi target herbisida adalah glutamin sintetase, yang berfungsi mengubah amonia dan glutamat menjadi glutamin. Karena enzim ini berperan penting dalam sintesis asam amino, maka penghambatannya dapat mengganggu pertumbuhan tanaman.

Beberapa herbisida juga bekerja dengan menyerang protein tubulin, yaitu protein pembentuk mikrotubulus yang penting dalam proses pembelahan sel tumbuhan. Dengan mengikat tubulin, herbisida ini menghambat proses pembelahan sel. Herbisida dengan mekanisme ini berasal dari berbagai golongan senyawa kimia seperti piridin, asam benzoat, dan dinitroanilin.

Herbisida lainnya bekerja dengan mengganggu proses fotosintesis, yang merupakan proses vital bagi kelangsungan hidup tanaman. Berbagai senyawa berbasis nitrogen seperti triazina, fenilurea, nitril, piridazin, dan fenil karbamat diketahui dapat menghambat proses fotosintesis. Selain itu, herbisida juga dapat bekerja dengan menghasilkan radikal bebas, merusak sistem transpor elektron, atau menghancurkan pigmen pelindung tanaman.

### 16.3.2 Insektisida

Sebagian besar insektisida bekerja dengan mengganggu sistem saraf serangga. Zat aktif dalam insektisida ini biasanya bersifat sangat toksik karena berfungsi menghambat sinyal saraf. Kelompok piretroid dan organoklorin merupakan contoh insektisida yang paling umum. Insektisida organoklorin seperti lindan dan endosulfan bekerja dengan menghambat saluran GABA (gamma-aminobutyric acid) dan mengganggu aliran ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dalam sistem saraf. GABA merupakan neurotransmitter penghambat yang berfungsi untuk menurunkan aktivitas neuron. Ketika GABA berikatan dengan reseptornya, saluran ion klorida terbuka, memungkinkan ion bermuatan negatif masuk ke dalam neuron. Proses ini

menyebabkan hiperpolarisasi pada neuron, yang membuatnya tidak aktif dan mengurangi transmisi sinyal saraf.

Selain itu, terdapat juga insektisida yang bekerja dengan menghambat enzim kolinesterase dan mengganggu sintesis kitin. Insektisida dari kelompok organofosfat menghambat enzim asetilkolinesterase (AChE) dengan cara menempel pada situs aktif enzim tersebut. AChE bertugas memecah asetilkolin, yaitu neurotransmitter yang berperan dalam penghantaran impuls saraf. Dengan terganggunya AChE, impuls saraf tidak dapat dihentikan, yang akhirnya menyebabkan gangguan sistem saraf pada serangga.

Insektisida karbamat memiliki mekanisme kerja yang serupa dengan organofosfat, yaitu juga menghambat enzim AChE. Keduanya dikenal sebagai penghambat kolinesterase. Kitin merupakan polisakarida penting yang terdapat pada kutikula serangga, namun tidak ditemukan pada tumbuhan atau mamalia. Insektisida benzoylurea menghambat proses sintesis kitin dengan mengganggu penyusunan unit N-asetilglukosamin dalam rantai kitin, sehingga proses pergantian kulit (molting) serangga terhambat.

### 16.3.3 Fungisida

Fungisida bekerja melalui berbagai mekanisme kerja, antara lain menghambat pembelahan sel, menghambat sintesis ergosterol, serta menyerang gugus sulfhidril (SH) pada enzim sel jamur. Gugus sulfhidril (SH) terdapat pada banyak enzim yang memiliki peran penting dalam aksi fungisida. Fungisida dari golongan ditiokarbamat menyerang enzim dan koenzim sel jamur yang mengandung gugus SH. Pestisida seperti captan dan folpet juga bekerja dengan menargetkan enzim yang memiliki gugus SH. Fungisida-fungisida ini mengubah struktur dan fungsi membran sel, serta menghambat sistem enzim dalam sel jamur.

Lebih lanjut, tubulin adalah protein penting dalam kerangka sel intraseluler. Fungisida dari kelompok benzimidazol menghambat pembentukan kerangka sel intraseluler dengan cara berinteraksi dengan

tubulin. Umumnya, pestisida jenis ini menghambat pembelahan sel dengan mencegah pembentukan mikrotubulus. Beberapa contoh fungisida yang bekerja dengan cara ini antara lain tiabendazol, karbendazim, dan benomil.

Fungisida penghambat sintesis ergosterol mampu membunuh berbagai jenis jamur. Fungisida ini juga menghambat pembentukan sterol dan giberelin pada tanaman tingkat tinggi. Karena sintesis sterol merupakan proses yang kompleks, fungisida bekerja dengan menghambat jalur pembentukan sterol.

Beberapa jenis fungisida yang berfungsi sebagai inhibitor demetilase mencakup piridin, morfolin, dan piperazin. Selain itu, terdapat juga fungisida yang menargetkan banyak lokasi dalam sel jamur, termasuk penghambatan enzim antioksidan yang menyebabkan terganggunya keseimbangan redoks dalam sel. Beberapa di antaranya juga menghambat jalur sinyal faktor transkripsi nuklir NF- $\kappa$ B, sehingga memengaruhi berbagai proses biokimia penting dalam jamur.

## 16.4 Dampak Terhadap Air dan Tanah

Penggunaan pestisida sintetis secara berlebihan menyebabkan tingginya konsentrasi logam berat (yang digunakan dalam produksi pestisida) di dalam tanah. Hal ini akan mengubah biokimia dan aktivitas mikroba di dalam tanah, serta berdampak negatif bagi tanaman. Memang, penggunaan pestisida pada pertanian dimaksudkan untuk mengendalikan keabadian OPT yang merugikan tanaman budidaya seperti gulma, serangga dan OPT lainnya.

Namun, secara tidak langsung, dapat merugikan kesehatan tanah dan air. Logam berat yang terdapat dalam pestisida dianggap sebagai polutan baru dan lebih dari 700 jenis logam berat serta metabolitnya telah ditemukan di lingkungan perairan khususnya di wilayah Eropa (Tabel 16.2).

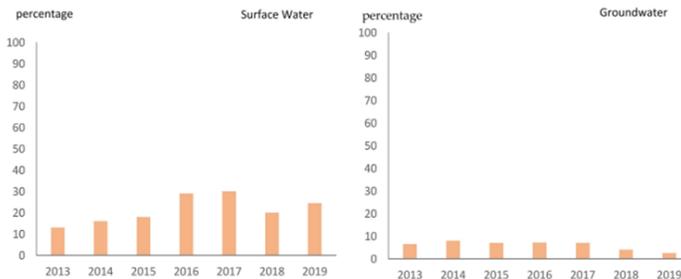
**Tabel 16.2:** Jenis Polutan Pestisida dalam air

No.	Kelompok	Kompisisi	Karakteristik	Dampak
1.	Organochlorine (DDT, aldrin, lindane, chlordane)	Atom non-polar dan lipofilik, klorin, dan hidrogen	Larut dalam lemak, beracun dan persistensi tinggi	Terakumulasi dalam jaringan lemak hewan dan menyebabkan biomagnifikasi melalui rantai makanan
2.	Organophosphate (Malathion, diazinon, parathion)	Senyawa alifatik, siklik, dan heterosiklik dengan atom fosfor	Larut dalam pelarut dan air. Persistensi rendah	Meresap ke dalam akuifer dan mencapai air tanah. Memengaruhi sistem saraf pusat.
3.	Pyrethroids (pyrethrins)	Alkaloid dari tanaman	Persistensi rendah sehingga aman bagi kebutuhan rumah tangga	Memengaruhi sistem saraf
4.	Karbamat (Carbaryl)	Struktur kimia dari alkaloid dari tanaman	Persistensi relatif rendah	Hanya membunuh serangga tertentu namun beracun bagi vertebrata
5.	Biologis (Bacillus thuringiensis)	Mikroorganisme, virus	Untuk hama hutan dan tanaman	Memengaruhi ulat dan sejenis serangga lain

Pencemaran air sebagian besar merupakan hasil dari limpasan pertanian dan perkotaan pada saat pemakaian pestisida masuk ke lingkungan. Proses ini terjadi awalnya melalui peresapan senyawa dalam pestisida ke dalam tanah kemudian mengalir masuk ke sumber perairan.

Mekanisme pencemaran tanah dan air oleh pestisida terjadi melalui difusi, dispersi, dan perembesan. Pada saat yang bersamaan, degradasi alami pestisida di dalam tanah dan air bergantung dengan persistensinya yang bergantung dengan waktu paruh dari senyawa pembawanya. Senyawa dengan persisten tinggi memiliki waktu paruh yang panjang dan menimbulkan ancaman dalam jangka waktu yang panjang.

Meskipun limbah dari kegiatan domestik dan industri terlibat dalam pencemaran badan air, namun sekitar 70% pencemaran tersebut berasal dari sektor pertanian. Berdasarkan hasil survey oleh U.S. Geological Survey (USGS) tahun 1990, 90% sampel air dan ikan Sungai yang berada dekat dengan areal pertanian dan perkotaan mengandung pestisida. Terdapat 21 jenis pestisida paling banyak ditemukan dengan konsentrasi melebihi standar yang diperbolehkan, diantaranya adalah Herbisida 2,4-D, diuron, dan prometon (Gambar 16.3).



**Gambar 16.3:** Konsentrasi pestisida yang ditemukan pada air permukaan dan air tanah.

Dari grafik (Gambar 16.3) dapat dilihat bahwa terdapat lebih dari satu jenis pestisida yang ada dalam air permukaan dan air tanah melebihi ambang batas yang diperbolehkan sejak tahun 2013-2019. Secara umum, pestisida terbawa dari daratan ke air tanah melalui curah hujan dan irigasi. Tanah dengan laju permeabilitas tinggi, rentan terhadap pencemaran ini. Pestisida dengan Tingkat persistensi tinggi cenderung akan mudah teradsorpsi pada tanah dan sedimen. Pestisida dengan konsentrasi tinggi paling banyak ditemukan di daerah perairan dangkal dibandingkan dengan areal dalam.

Hal ini dikarenakan sistem drainase pada wilayah pertanian dapat mengalihkan air tanah dangkal ke air permukaan.

Upaya penghilangan pestisida dari air memerlukan pengetahuan komprehensif mengenai sifat fisik dan kimia dari pestisida serta interaksinya dengan air. Misalnya, ionisasi dan kelarutan dari senyawa pembentuk pestisida. Salah satu Upaya yang dapat dilakukan secara kimia adalah dengan memanfaatkan metode adsorpsi atau penyerapan. Metode ini memanfaatkan adsorben yang sesuai untuk memisahkan antara pestisida dengan molekul air. Tersedia banyak jenis adsorben yang dapat dimanfaatkan berdasarkan sifat hidrofobisitas, struktur molekul, dan ukurannya. Sebagai contoh, penggunaan arang aktif, karbon aktif, lempung organik, bahan anorganik, dan bio-adsorben dapat dimanfaatkan untuk menyerap toksistas bahan berbahaya dari pestisida.

Dari hasil penelitian beberapa decade belakangan, proses oksidasi lanjutan (AOPs) telah banyak dikembangkan dan diteliti sebagai metode menguraikan pestisida dalam limbah. Proses ini mengubah senyawa pestisida dalam air limbah menjadi senyawa yang tidak beracun. Mekanisme dari proses ini adalah dengan membentuk radikal hidroksil (OH) yang merupakan oksidator sangat kuat, reaktif, dan tidak selektif. Radikal ini dihasilkan dalam larutan air dengan bantuan bahan kimia tertentu atau fotokatalis, seperti titania ( $\text{TiO}_2$ ), yang berfungsi menghancurkan senyawa organik.

Titania merupakan salah satu fotokatalis yang paling umum digunakan karena mampu menghasilkan pasangan lubang electron saat terkena sinar ultraviolet. Reaksi ini memicu terbentuknya gugus hidroksil. Namun karena titania memiliki band gap yang besar, maka dilakukan doping untuk memperkecil band gap tersebut agar titania bisa diaktifkan dengan cahaya tampak (bukan hanya sinar UV). Teknologi ini terbukti efektif dalam mendegradasi pestisida secara signifikan pada badan air.

Pencemaran tanah oleh pestisida sama berbahayanya dengan pencemaran pada air. Kontaminasi tanah pertanian dapat menyebabkan perubahan sifat kimia dan biologi tanah yang berdampak pada penurunan kualitas tanah

dan hasil panen. Kesuburan tanah tidak hanya ditentukan oleh tekstur tanah, tetapi juga oleh kemampuan biologis yang ada di dalamnya. Penggunaan pestisida dapat menyebabkan perubahan terhadap keanekaragaman mikroba, dan perubahan ini berpotensi memengaruhi kesuburan tanah. Oleh karena itu, mikroorganisme tanah memiliki peran penting dalam menjaga kesuburan tanah.

Pemakaian pestisida yang bertujuan untuk melindungi tanaman dapat memengaruhi aktivitas biologis tanah, baik secara langsung maupun tidak langsung. Namun, pengetahuan mengenai kemampuan mikroba tanah dalam mendegradasi pestisida, serta dampak pestisida terhadap keanekaragaman mikroorganisme tanah, masih tergolong terbatas.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan informasi bahwa pestisida dapat mengganggu keanekaragaman hayati mikroba tanah dan aktivitas enzimatis yang merupakan indikator penting terhadap toleransi tanah terhadap polutan, serta menyebabkan degradasi bahan organik tanah. Selain itu, pestisida dapat memengaruhi kehidupan invertebrata tanah dalam berbagai cara, mulai dari membunuh secara langsung hingga menurunkan kemampuan reproduksi pertumbuhan, fungsi seluler, dan keanekaragaman spesies secara keseluruhan.

Mempelajari pengaruh dari pestisida terhadap ekosistem tanah lebih lanjut dapat dilakukan dengan memahami respons terhadap aktivitas enzim dalam tanah. Respons yang diamati merupakan hasil dari berbagai faktor yang saling berinteraksi. Pestisida dapat berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung dengan enzim tanah.

Beberapa contoh interaksi langsung adalah:

1. Pestisida mengikat situs aktif enzim, sehingga mengganggu aktivitas katalitiknya.
2. Pestisida juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi oleh mikroorganisme, yang dapat menyebabkan perubahan pada keseimbangan komunitas mikroba dan bahkan memengaruhi produksi enzim melalui proses induksi atau represisi.

Selain interaksi langsung, terdapat pula dampak tidak langsung, yaitu perubahan struktur komunitas mikroba akibat paparan pestisida yang secara tidak langsung memengaruhi aktivitas enzim tanah. Dampak ini berkaitan erat dengan fungsi redundansi dari enzim target, serta karakteristik intrinsik tanah seperti pH, kandungan humus, liat, dan bahan organik yang menentukan tingkat ketersediaan pestisida.

Berdasarkan analisis data dari seluruh artikel yang dikaji dalam tinjauan ini, telah dihitung persentase respons enzimatis baik positif, netral, maupun negatif terhadap paparan pestisida, tanpa membedakan jenis pestisida yang digunakan (Tabel 16.3).

**Tabel 16.3:** Dampak keseluruhan pestisida terhadap aktivitas enzimatis

Enzymes	No. of experiments	Percentages of response		
		Positive	No effect	Negative
Dehydrogenase	49	23	16	61
Fluorescein di-acetate hydrolase	9	22	44	34
Acid phosphatase	16	28	22	50
Alkaline phosphatase	18	28	22	50
Phosphatase	17	18	23	59
$\beta$ -Glucosidase	15	6	47	47
Cellulase	16	56	25	19
Urease	16	25	31	44
Aryl-sulfatase	9	22	67	11

Dari hasil tersebut, mulai terlihat adanya pola tertentu dalam respons enzim. Secara umum, enzim-enzim hidrolase seperti asam fosfatase, alkali fosfatase, fosfatase, dan urease menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan aktivitas atau terhambat akibat paparan pestisida.

Sebagai penutup dari pembahasan ini, penting untuk disadari bahwa meskipun pestisida memiliki peran signifikan dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan mengendalikan organisme pengganggu,

dampaknya terhadap lingkungan tidak dapat diabaikan. Penggunaan pestisida yang tidak bijak dan berlebihan telah terbukti mencemari tanah, air, dan udara, serta mengancam kehidupan berbagai organisme non-target seperti serangga penyerbuk, hewan tanah, bahkan manusia.

Akumulasi residu kimia di dalam tanah dapat menurunkan kesuburan lahan, sementara aliran pestisida ke badan air menyebabkan kerusakan pada ekosistem perairan, membunuh invertebrata air, dan meracuni organisme lainnya secara perlahan.

Efek jangka panjang dari pestisida juga berkontribusi pada penurunan keanekaragaman hayati, yang pada akhirnya akan memengaruhi kestabilan ekosistem secara keseluruhan. Keberadaan zat aktif pestisida dalam jangka panjang juga dapat membentuk ketahanan pada hama, yang justru mendorong penggunaan pestisida dalam dosis lebih tinggi dan memperburuk dampaknya terhadap lingkungan. Fenomena ini menciptakan lingkaran yang sulit diputus apabila tidak dibarengi dengan kesadaran, edukasi, dan pengawasan yang ketat.

Oleh karena itu, penting bagi kita untuk mulai mempertimbangkan alternatif penggunaan pestisida yang lebih aman dan ramah lingkungan, seperti biopestisida atau pendekatan pengendalian hama terpadu (PHT). Upaya ini perlu didukung oleh kebijakan pemerintah yang tegas, pendampingan kepada petani, serta peningkatan kesadaran masyarakat luas tentang bahaya jangka panjang pestisida terhadap ekosistem. Melindungi lingkungan bukan hanya tentang mengurangi kerusakan yang telah terjadi, tetapi juga memastikan bahwa sumber daya alam tetap tersedia dan berkelanjutan bagi generasi mendatang.

# Daftar Pustaka

- Adam, N., Iswati, R., Solihin, A. P., & Pulogu, S. (2023). Efektivitas Waktu Aplikasi Isolat *Trichoderma* Sp. yang Berbeda untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Pelepah (*Rhizoctonia solani*) pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Varietas Lamuru. *Jurnal Agroteknotropika*, 12(2), 44-50.
- Adnan, A.M. (2008). *Nematologi Tumbuhan : Biologi, Ekologi, dan Pengendalian*. Bogor: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Afifah, L., Ma'wa, M., & Surjana, T., Darmadi, D. (2023). Mortalitas Spodoptera Frugiperda JE Smith Akibat Racun Kontak Dari Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta indica*) dan *Beauveria bassiana*. *AGRICA*, 15(2), pp. 112-120. Available at: <https://e-journal.uniflor.ac.id/index.php/Agr/article/view/2943> (Accessed: 20 March 2025).
- Agrios, G. (2004) *Plant pathology: Fifth edition*, *Plant Pathology: Fifth Edition*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>.
- Agrios, G. (2004) *Plant pathology: Fifth edition*, *Plant Pathology: Fifth Edition*. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>.
- Agrios, G. N. (2005) *Plant Pathology*. 5th edn. Elsevier Academic Press.
- Agrios, G. N. (2008). *Plant pathology* (5th ed., [3rd print]). Elsevier Academic Press.

- Agrios, G.N. (1997) *Plant Pathology*. 4th ed. San Diego, California: Academic Press.
- Agustini, D., & Widyasari. (2017). Upaya Menekan Pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *Cubense* pada Tanaman Pisang dengan Aplikasi Biopestisida Nabati Daun Sereh Wangi (*Cymbopogon Nardus* L. Randel). *Journal Agroscience*. 7(1): 203-213. DOI: <https://doi.org/10.35194/agsci.v7i1.53>
- Akram, S. et al. (2023) 'Uniting the Role of Endophytic Fungi against Plant Pathogens and Their Interaction', *Journal of Fungi MDPI*, 9(72), pp. 1–23. doi: <https://doi.org/10.3390/jof9010072>.
- Allison, D. (2002) *Seed treatments: trends and opportunities*. PJB Publications, Richmond.
- Alvord, D. V (2023) *Pests of Fruit Crops a Colour Handbook*, *Pests of Fruit Crops*. London: Manson Publishing. Tersedia pada: <https://doi.org/10.59317/9789394490581>.
- Amat, I. et al. (2018) 'Insect personality: what can we learn from metamorphosis?', *Current Opinion in Insect Science*, 27, pp. 46–51. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.014>.
- Amtmann, A., Troufflard, S., & Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 682-691
- Aponte, C., Marañón, T., & García, L. V. (2010). Microbial C, N and P in soils of Mediterranean oak forests: Influence of season, canopy cover and soil depth. *Biogeochemistry*, 101(1), 77–92. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9440-6>
- Arisanti, N., Pudji, E., Sasongko, S., Pandia, V., & Hilmanto, D. (2019). Implementation of palliative care for patients with terminal diseases from the viewpoint of healthcare personnel. *BMC Research Notes*, 12, 3–7. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4260-x>

- Aryana, I.G.P.M., & Sudika, I.W. (2024). Desiminasi Teknologi Budidaya Padi Fungsional Beras Merah Dan Hitam Pada Kelompok Tani Kelapa Gading Desa Kebun Ayu. *Jurnal Abdi Insani*, Universitas Mataram. Available at: <https://abdiinsani.unram.ac.id/index.php/jurnal/article/view/2312> (Accessed: 15 March 2025).
- Awurum, A.N. and Enyiukwu, D.N. (2013) 'Evaluation of the seed-dressing potentials of phytochemicals from *Carica papaya* and *Piper guineense* on the germination of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds and incidence of the seed-borne fungi', *Continental Journal of Agricultural Science*, 7(1), pp. 29–35.
- Ayesha, M.S. et al. (2021) 'Seed Treatment With Systemic Fungicides: Time for Review', *Frontiers in Plant Science*, 12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654512>.
- Bahri, S., Pribadi, E.T., & Manan, A. & Sari, N.D.D. (2024). Pengendalian Hama Bemisia Tabaci Pada Tanaman Melon Varietas Golden Langkawi Melalui Modifikasi Warna Dan Ketinggian Perangkap. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Lingkungan*, 12(1), pp. 45-57. Available at: <https://www.nusanipa.ac.id/spizaetus/index.php/spizaetus/article/view/379> (Accessed: 15 March 2025).
- Balamurugan R. & Kandasamy P. (2021). Effectiveness of portable solar-powered light-emitting diode insect trap: Experimental investigation in a groundnut field. *Journal of Asia-Pacific Entomology* Volume 24, Issue 4, (pp 1024 – 1032). <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.09.013>.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K. & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16.

- Bale, J.S., Hyaward, S.A.L. (2010). Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology* 213, 980-994. doi:10.1242/jeb.037911
- Batzer, J.C. and Mueller, D.S. (2020) 'Soybean Fungal Endophytes *Alternaria* and *Diaporthe* spp. are Differentially Impacted by Fungicide Application', *Plant Disease*, 104(1), pp. 52–59. Available at: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-19-1001-RE>.
- Bebber, D.P. (2015). Range-expanding pests and pathogens in a warming world. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 335–356.
- Bejarano, A. C., Widenfalk, A., Decho, A. W., & Chandler, G. T. (2003). Bioavailability of the organophosphorous insecticide chlorpyrifos to the suspension-feeding bivalve, *Mercenaria mercenaria*, following exposure to dissolved and particulate matter. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(9), 2100–2105. <https://doi.org/10.1897/02-476>
- Bell, S., Guggenim, R. C. (2019). *Plant Disease. Chapter 13. Idaho Master Gardener Handbook*. <https://www.uidaho.edu/-/media/UIDaho-Responsive/Files/Extension/topic/master-gardener/idaho-master-gardener-handbook-chapter-13.pdf?la=en&hash=B74AE2B7D6A5F310A82E37C67B2136E2EF0C3793>
- Berendsen, R.L., Pieterse, C.M., & Bakker, P.A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478-486.
- Bian, J.-Y. et al. (2021) 'The Fungal Endophyte *Epicoccum dendrobii* as a Potential Biocontrol Agent Against *Colletotrichum gloeosporioides*', *Phytopathology*®, 111(2), pp. 293–303. Available at: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-20-0170-R>.
- Bindra, A., Rath, G. P., Bharti, S. J., Goyal, K., & Kumar, S. (2011). Neurogenic pulmonary edema after rupture of intracranial aneurysm during endovascular coiling. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 5(3), 323–325. <https://doi.org/10.4103/1658-354X.82511>

- Bjorkman, C., & Bylund, H. (2018). Responses of Insect Herbivores and Their Food Plants to Wind Exposure and the Importance of Predation Risk. *Journal of Animal Ecology*, 87(3):650-660
- Bonke, V. (2020) 'Understanding German farmer's intention to adopt mixed cropping using the theory of planned behavior', *Agronomy for Sustainable Development*, 40(48), pp. 1-14. doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00653-0>.
- Bragard, C. et al. (2019) 'Pest categorisation of *Spodoptera litura*', *EFSA Journal*, 17(7). Available at: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5765>.
- Bragard, C. et al. (2023) 'Pest categorisation of *Nilaparvata lugens*', *EFSA Journal*, 21(5). Available at: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7999>.
- Bramasta, M. W., Winarto, W., & Khairul, U. (2023). Diversity and population density of parasitic nematode genera in the rhizosphere of potato plants in Solok District, West Sumatra. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia (Vol. 9, No. 1, pp. 67-74)*.
- Calegario, P.R. (2003) 'Control of the main fungal diseases on cotton, bean and soybean crops with Stratego® in Brazil.', *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 56(2), pp. 354-372. Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20033200423> (Accessed: 18 April 2025).
- Campos, M.R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R.N.C. & Desneux, N. (2017) From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* 10 years after invading Europe. *Journal of Pest Science* 90: 787-796
- Capinera, J.L. (2001) *Handbook of Vegetable Pest*. Academic Press.
- Chaloner, T. M., Gurr, S. J., & Bebber, D.P. (2021). Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *Nature Climate Change*, 11(8), 710-715
- Chellappan, M. (2021) "Polyoaginous Pest of Crops," in *Rhodents*. Springer, hal. 532. Tersedia pada: [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8\\_1](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8_1).

- Chellappan, M. (2021) "Polyoaginous Pest of Crops," in Rhodents. Springer, hal. 532. Tersedia pada: [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8\\_1](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-8075-8_1).
- Collinge, David & Jensen, Dan & Rabiey, Mojgan & Sarrocco, Sabrina & Shaw, Michael & Shaw, Richard. (2022). Biological control of plant diseases – What has been achieved and what is the direction?. *Plant Pathology*. 10.1111/ppa.13555.
- Corniani, N., Velini, E. D., Silva, F. M. L., Nanayakkara, N. P. D., Witschel, M., & Dayan, F. E. (2014). Novel bioassay for the discovery of inhibitors of the 2-C-methyl-D- erythritol 4-phosphate (MEP) and terpenoid pathways leading to carotenoid biosynthesis. *PLoS One*, 9(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101161>
- Crous, P. W. et al. (2021) 'Pseudocercospora and allied genera associated with leaf spots of banana (*Musa* spp.)', *Fungal Systematics and Evolution*, 7(June), pp. 1–19. doi: 10.3114/fuse.2021.07.01.
- Crowdy, S.H. (1977) *Systemic Fungicides*. 2nd edn. Edited by Longman. London and New York.
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Damayanti, E., Mudjiono, G. dan Karindah, S. (2015) "Perkembangan Populasi Larva Penggerek Batang dan Musuh Alaminya Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L) PHT," *HPT*, 3(2), hal. 6.
- de Loof, A. and Schoofs, L. (2020) 'Calcitox-Metamorphosis in Insects: The Calcium (Ca<sup>2+</sup>)-Homeostasis System as the Integrated Primordial Receptor System for both Juvenile Hormone and Ecdysteroids', *Life: The Excitement of Biology*, 7(2), pp. 41–81. Available at: [https://doi.org/10.9784/LEB7\(2\)DeLoof.01](https://doi.org/10.9784/LEB7(2)DeLoof.01).

- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916-919
- Devi, L., Rowanjaya, Y.P., Saryanah, N.A., Suhendra, A., & Putri, A.L. (2020). Formulasi Biopestisida *Trichoderma asperellum* Samuels, Liecfc & Ninenberg. *Agroscript*. 2(2): 91-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.36423/agroscript.v2i2.569>
- Djamaluddin, N., Ruspaman, I. D. M., et al. (2022). *Keperawatan paliatif dan menjelang ajal*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia.
- Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: A once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 63(11), 1100–1106. <https://doi.org/10.1002/ps.1650>
- Dutzmann, S. and Suty-Heinze, A. (2004) 'Prothioconazole: a broad spectrum demethylation-inhibitor (DMI) for arable crops.', *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 57, pp. 249–264.
- Dwisatria, N., Ginting, M.S., Solihin, A.P., Septariani, D.N., Pulogu, S.I., Iswati, R., Mooy, H., Afiyanti, M., Tricahyati, D.P.T., Lihawa, M. (2024). Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman. (pp 153-164). *Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan M.S., Penyakit Tanaman*. Penerbit Yayasan Kita Menulis. [press@kitamenulkis.id](mailto:press@kitamenulkis.id)[www.kitamenulis.id](http://www.kitamenulis.id). (220 p).
- Dwisatria, N., Ginting, M.S., Solihin, A.P., Septariani, D.N., Pulogu, S.I., Iswati, R., Mooy, H., Afiyanti, M., Putri, D. Tricahyati, T., & Lihawa, M. (2025). *Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman*. Yayasan Kita Menulis. DOI:10.1007/3-540-33526-9\_2
- Eigenbrode, S.D., Bosque-Pérez, N.A., & Davis, T.S. (2018). Insect-borne plant pathogens and their vectors: Ecology, evolution, and complex interactions. *Annual Review of Entomology*, 63(1), 169-191. doi:10.1126/science.aas9185

- Elangovan, M.M., Nigam, R., Srivastava, G. (2024). *Plant Diseases: Diagnosis, Management, and Control*. AGPHBooks. (ISBN : 978-81-979803-8-1).
- Elbert, A., Nauen, R., & Salmon, E. (2008). Resistance management guidelines for the new ketoenol insecticide Movento. *Bayer Crop Science Journal*, 61(October), 403–416.
- Environmental Protection Agency. (2024, May 13). Types of pesticide ingredients. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/types-pesticide-ingredients>
- Enyiukwu, D.N. and Awurum, A.N. (2013) 'Fungitoxic principles and antifungal activity of extracts from *Carica papaya* and *Piper guineense* on *Colletotrichum destructivum*.', *Continental Journal of Biological Sciences*, 6(1), pp. 29–36.
- Enyiukwu, D.N. et al. (2016) 'Modes of action of potential phyto-pesticides from tropical plants in plant health management', *IOSR Journal of Pharmacy*, 6(7), pp. 1–17.
- European Environment Agency. (2024, December 10). Pesticides in rivers, lakes, and groundwater in Europe. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/pesticides-in-rivers-lakes-and>
- Fakhari, H., Karimzadeh J., Moharramipour S., Ahadiyat, A., & Doranian D. (2020). Phototactic behavior of *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) under visible wavelengths. *Journal of Asia-Pacific Entomology* Volume 23, Issue 4, (pp 1181-1187). <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.09.014>.
- FAO. (2021). *Plant health and protection*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2022). *The impact of climate change on plant pests: A global overview and future directions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations

- Fiddin, A., Sutrawati, M., Bustamam, H., Ganefianti, D. W., & Sipriyadi, S. (2021). Penyakit tungro pada tanaman padi (*oryza sativa*) di kecamatan taba penanjung: Insidensi penyakit dan deteksi virus secara molekuler. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(1), 37-45. DOI: <https://doi.org/10.31186/jipi.23.1.37-45>
- Fry, W. E. (2008). *Phytophthora infestans: The plant destroyer*. *Molecular Plant Pathology*, 9(3), 385-401.
- Fry, W.E. (2012). *Principles of Plant Disease Management*. Academic Press, Inc.
- Fu, C. et al. (2025) 'Influence of Temperature , Humidity , and Photophase on the Developmental Stages of *Spodoptera litura* ( Lepidoptera : Noctuidae ) and Prediction of Its Population Dynamics', pp. 1–16.
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S. C., & Park, D. S. (2017). A Robust Deep-Learning-Based Detector for Real-Time Tomato Plant Diseases and Pests Recognition. *Sensors*, 17(9), 2022. <https://doi.org/10.3390/s17092022>
- Garrett, K.A., Dendy, S.P., Frank, E.E., Rouse, M.N., & Travers, S.E. (2006). Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 489-509.
- General Directorate of Agriculture (GDA). (2014). Rice Grassy Stunt Virus. <https://plantwisepusknowledgebank.org/doi/epdf/10.1079/pwkb.20157800083>
- Gianfreda, L., & Rao, M. A. (2008). Interactions between xenobiotics and microbial and enzymatic soil activity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38, 269–310. <https://doi.org/10.1080/10643380701805099>
- Gilligan, Christopher. (2002). An epidemiological framework for disease management. *Advances in Botanical Research*. 38. 1-64. [10.1016/S0065-2296\(02\)38027-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(02)38027-3).

- Gogna, R., Shee, K. and Moreno, E. (2015) 'Cell Competition During Growth and Regeneration', *Annual Review of Genetics*, 49(1), pp. 697–718. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-112414-055214>.
- Gonzalez, M., Pujol, M., Metraux, J., Gonzalez-Garcia, V., Bolton, M. D., & Borrás-Hidalgo, O. (2011). Tobacco leaf spot and root rot caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. *Molecular Plant Pathology*, 12(3), 209–216. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00664.x>
- Gougherty Andrew V. and Davies T. Jonathan 2021 Towards a phylogenetic ecology of plant pests and pathogens *Phil. Trans. R. Soc. B376*20200359 <http://doi.org/10.1098/rstb.2020.0359>.
- Gusnadi, B., Advinda, L., Anhar, A., Putri, I.L.E., & Chatri, M. (2023). *Pseudomonad Fluorescens* sebagai Agen Biokontrol Pengendali Berbagai Penyakit Tanaman. *Serambi Biologi*. 8(1): 123-128 <https://doi.org/10.24036/srmb.v8i2.190>
- Hallman & Berg, G. (2006). Spectrum and Population Dynamics of Bacterial Root Endophytes. In: *Microbial Root Endophytes*. Pp.15-31. Institute of Environmental Biotechnology: Springer. DOI:10.1007/3-540-33526-9\_2
- Halstead, A., Henricot, B. (2010). *Pest and Disease*. First American Edition, New York (US): DK Publishing.
- Handayani, B., Wiyono, H., & Subagya, S. (2013). Peran waktu inokulasi *Meloidogyne* dalam meningkatkan infeksi patogen busuk pangkal pada bawang putih. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 15(2), 27-31. DOI: <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v15i2.18992>
- Hanudin & Marwoto, B. (2012). Prospek Penggunaan Mikroba Antagonis sebagai Agens Pengendali Hayati Penyakit Utama pada Tanaman Hias dan Sayuran. *Jurnal Litbang Pertanian*. 3(1): 8-13. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/1145>
- Hanudin, Sanjaya, L. and Marwoto, B. (2020) 'Penyakit Hawar Daun Bakteri (*Pseudomonas cichorii* (Swingle 1925) (STAPP 1928) pada Tanaman

- Krisan (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) dan Upaya Pengendaliannya di Indonesia', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 39(2), pp. 105–116.
- Hanudin., Nuryani, W., & Marwoto, B., (2016). Induksi Resistensi Tanaman Krisan terhadap *Puccinia horiana* P. Henn dengan Menggunakan Ekstrak tanaman Elisitor. *J. Hort.* 26(2): 246-256. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/1009>
- Harini, N.V.A., Kumbara, A.M., & Ilmiasari, Y. (2024). Efektivitas Pestisida Imidakloroprid Spirotetramat Terhadap Populasi Hama Pada Tanaman Semangka. *Journal of Agriculture, Universitas Muhammadiyah Kotabumi*. Available at: <https://jurnal.umko.ac.id/index.php/agrimals/article/view/1404> (Accessed: 16 March 2025)
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56.
- Harrington, R., Fleming, R.A., & Woiwod, I.P. (2007). Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 9(4), 317-326
- Hartono, R. (2014) “Penetapan Ambang Kendali Hama *Spodoptera exigua* (Lepidoptera:Noctuidae) pada Bawang Merah Dataran Tinggi,” *Jurnal Teknologi*, 2, hal. 56–67.
- Hartono, R., Tasrif, A., Sulistiowaty, D., & Satria, R. (2024). Disease Incidence of Late Blight (*Phytophthora infestans*) of Potato in the Response of Climatic Condition. *Proc. 12nd Int. Conf. on Plant Protection in the Tropic*. 25-27 September 2024. Penang-Malaysia, 5p.
- He, D.-C., He, M.-H., Amalin, D. M., Liu, W., Alwindia, D. G., & Zhan, J. (2021). Biological Control of Plant Diseases: An Evolutionary and Eco-Economic Consideration. *Pathogens*, 10(10), 1311. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101311>

- Hersanti, F., Ling and Zulkarnaen (2001) 'Pengujian Kemampuan Campuran Senyawa Benzotiadiazole 1% Mankozeb 48% dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Cabai Merah terhadap Penyakit Antraknos', in.
- Hijwegen, T. (1992). Influence of relative humidity on sporulation of *Botrytis cinerea*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 98(4), 173-175.
- Hirooka, T. and Ishii, H. (2013) 'Chemical control of plant diseases', *Journal of General Plant Pathology*, pp. 390-401. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0470-6>.
- Hiruma, K., Gerlach, N., Sacristán, S., Nakano, R.T., Hacquard, S., Kracher, B., & O'Connell, R.J. (2016). Root endophyte *Colletotrichum tofieldiae* confers plant fitness benefits that are phosphate status dependent. *Cell*, 165(2), 464-474.
- Hoffmann, M. P., Funderburk, J. E., & Smith, H. A. (2021). Climate change and integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 66, 279-299  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00040-0>
- Huang, L. C., Tung, H. J., & Lin, P. C. (2019). Associations among knowledge, attitudes, and practices toward palliative care consultation service in healthcare staffs: A cross-sectional study. *PLoS ONE*, 14(10), 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223754>
- Huang, W., Ji, L., & Wu, Y. (2019). Soil pH and clubroot disease: A review. *Plant Disease*, 103(4), 529-538.
- Huber, D. M., & Wilhelm, N. S. (1988). "The role of manganese in resistance to plant diseases." *Plant Disease*, 72(5), 508-515
- Huber, D.M., & Haneklaus, S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. *Landbauforschung Völkenrode*, 57(4), 313-322.
- Hudayya, A., & Jayanti, H. (2013). *Pengelompokan Pestisida Berdasarkan Cara Kerja (Mode of Action)*. Balai Penelitian Tanaman Sayuran

- Hulupi, R. (2006). Identification of Physiological Race Nematode, *Radopholus Similis* Cobb. That Attack Coffee Trees. *Pelita Perkebunan*, 22(3), 155522.
- Hussein, M.A.M., Hassan, M.H.A., Allam, A.D.A., & Abo-Elyousr K.A.M. (2007). Management of Stemphylium Blight of Onion by using Biological Agents and Resistance Inducers. *Egypt Journal of Phytopathology*. 35(1):49–60. [https://www.researchgate.net/publication/384884267\\_Management\\_of\\_Stemphylium\\_Blight\\_of\\_Onion\\_by\\_using\\_Biological\\_Agents\\_and\\_Resistance\\_Inducers](https://www.researchgate.net/publication/384884267_Management_of_Stemphylium_Blight_of_Onion_by_using_Biological_Agents_and_Resistance_Inducers)
- Iamba, K. and Dono, D. (2021) 'A Review on Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål), a Major Pest of Rice in Asia and Pacific', *Asian Journal of Research in Crop Science*, 6(4), pp. 7–19. Available at: <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2021/v6i430122>.
- Ibrahim. I., & Sillehu, S. (2022). Identifikasi Aktivitas Penggunaan Pestisida Kimia yang Berisiko pada Kesehatan Petani Hortikultura. *JUMANTIK (Jurnal Ilmiah Penelitian Kesehatan)*.7(1):7. <http://dx.doi.org/10.30829/jumantik.v7i1.10332>
- Indiati s., W., & Marwoto (2017). Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) pada Tanaman Kedelai. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Jalan Raya Kendalpayak Km. 8 Malang Kotak Pos 66 Malang 65101 Email: [swindiati@yahoo.com](mailto:swindiati@yahoo.com). *BULETIN PALAWIJA*, 15 (2), 87–100. DOI: 10.21082/bulpalawija.v15n2.2017.p87-100.
- Indiati, S. W. and Marwoto, M. (2017) 'Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (Pht) Pada Tanaman Kedelai', *Buletin Palawija*, 15(2), p. 87. doi: 10.21082/bulpa.v15n2.2017.p87-100.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change
- Ireland, Kylie & Van Klinken, Rieks & Cook, David & Logan, David & Jamieson, Lisa & Tyson, Joy & Hulme, Philip & Worner, Susan &

- Brockerhoff, Eckehard & Fletcher, John & Rodoni, Brendan & Christopher, Mandy & Ludowici, Victoria & Bulman, L. & Teulon, David & Crampton, Kylie & Hodda, Mike & Paini, Dean. (2020). Plant Pest Impact Metric System (PPIMS): Framework and guidelines for a common set of metrics to classify and prioritise plant pests. *Crop Protection*. 128. 105003. 10.1016/j.cropro.2019.105003.
- Ishita, A., Jens, R. and B, A. M. (2009) 'Defence mechanisms of Brassicaceae : implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management . A review Review article Defence mechanisms of Brassicaceae : implications for plant-insect interactions and potential for integr', *Agronomy for Sustainable Development*, 30(May 2014), pp. 311–348. doi: DOI: 10.1051/agro/2009025.
- Jablonkai, I. (2011). Molecular mechanism of action of herbicides. In M. N. A. E. G. Hasaneen (Ed.), *Herbicides* (pp. 3–24). InTech. [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=4-GdDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&ots=qmN8DuqZ8N&sig=7TDkravO426NjViasMdbZK5GVII&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=4-GdDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&ots=qmN8DuqZ8N&sig=7TDkravO426NjViasMdbZK5GVII&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Jactel, H., Moreira, X. & Castagneyrol, B. (2019). "Tree diversity drives forest stand resistance to insect pests." *Current Forestry Reports*, 5(2), 12-25. <http://doi.org/10.1146/annurev-ento-041720-075234>
- Jang, Y.H., Park, J.R. and Kim, K.M. (2020) 'Antimicrobial activity of chrysoeriol 7 and chochlioquinone 9, white-backed planthopper-resistant compounds, against rice pathogenic strains', *Biology*, 9(11), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.3390/biology9110382>.
- Jardine, D.J. and Stephens, C.T. (1987) 'Influence of timing of application and chemical on control of bacterial speck of tomato.'
- Jasrotia, P. et al. (2023) 'Conservation agriculture based crop management practices impact diversity and population dynamics of the insect-pests and their natural enemies in agroecosystems', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7(June), pp. 1–16. doi: 10.3389/fsufs.2023.1173048.

- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, 9(3–4), 90–100. <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0011>
- Kagimbo, F., Hussein, S. dan Sibiya, J. (2018) “Sweet Potato Weevil Damage, Production Constraints, and Variety Preferences in Western Tanzania : Farmers Perception,” *Journal of Crop Improvement*, 32(1), hal. 107–123. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1400485>.
- Kakoki, S., Takeshi Kamimuro, Katsuo Tsuda, & Yositaka Sakamaki, (2019). Effect of partial pesticide spraying on the number of major pests and damage to new shoots of tea plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*
- Kalbande, Bipinchandra & Yadav, Aparna & Kahate, Pankaj. (2024). *Plant Pathology and Disease Management* (ISBN: 978-93-95847-89-6).
- Kang, K. et al. (2022) ‘Effects of Different Nutritional Conditions on the Growth and Reproduction of *Nilaparvata lugens* (Stål)’, *Frontiers in Physiology*, 12(January). Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.794721>.
- Kardinan, A., Rizal, M., & Maris, P. (2020). Pengaruh Insektisida Nabati Kamandrah Dan Akar Tuba Terhadap Wereng Batang Coklat. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7(1), pp. 88-96. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/347375170> (Accessed: 16 March 2025).
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2015). *Pedoman nasional program paliatif kanker*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Khaeruni, A., Taufik, M., Wijayanto, T., & Johan, E. A. (2014). Perkembangan penyakit hawar daun bakteri pada tiga varietas padi sawah yang diinokulasi pada beberapa fase pertumbuhan. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 10(4), 119-119. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.10.4.119>

- Khakimov, Albert & Salakhutdinov, Ilkhom & Omonlikov, Alisher & Utaganov, Samad. (2022). Traditional and current-prospective methods of agricultural plant diseases detection: A review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 951. 012002. 10.1088/1755-1315/951/1/012002.
- Khan, M. A. (2020). Epidemiology of plant diseases. Chapter 14. [https://www.researchgate.net/publication/343344188\\_EPIDEMIOLOGY\\_OF\\_PLANT\\_DISEASES](https://www.researchgate.net/publication/343344188_EPIDEMIOLOGY_OF_PLANT_DISEASES)
- Kim, Y. C., Leveau, J., McSpadden Gardener, B. B., Pierson, E. A., Pierson III, L. S., & Ryu, C. M. (2011). The Multifactorial Basis for Plant Health Promotion by Plant-Associated Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1548–1555. <https://doi.org/10.1128/AEM.01867-10>
- Kloepper, J.W. et al. (2013) 'Symptoms of Fern Distortion Syndrome Resulting from Inoculation with Opportunistic Endophytic Fluorescent *Pseudomonas* spp.', *PLoS ONE*, 8(3), p. e58531. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058531>.
- Konopová, B. (2025) 'Evolution of insect metamorphosis — an update', *Current Opinion in Insect Science*, 67, p. 101289. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101289>.
- Kumar, S. et al. (2022) 'Brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Insecta: Delphacidae) a major insect of rice in India: A review', *Journal of Entomological Research*, 46(2), pp. 333–338. Available at: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00061.5>.
- Kumari, P. et al. (2022) 'Biotechnological Approaches for Host Plant Resistance to Insect Pests', *Frontiers in Genetics*, 13(June), pp. 1–20. doi: 10.3389/fgene.2022.914029.
- Ladja, F. (2013). Gulma inang virus tungro dan kemampuan penularannya ke tanaman padi. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 32(3), 139296. DOI: 10.21082/jpptp.v32n3.2013.p187-191

- Lamichhane, J.R. et al. (2020) 'Revisiting Sustainability of Fungicide Seed Treatments for Field Crops', *Plant Disease*, 104(3), pp. 610–623. Available at: <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1157-FE>.
- Leiwakabessy, C., Giyanto, Muttaqin, K.M., Trikoesoemaningtyas., & Talahaturuson, A. (2024). *Agricultural Journal*. 7(1): 155-166. <https://doi.org/10.37637/ab.v7i1.1559>
- Leroy, N. et al. (2019) 'Silicon and Plant Natural Defenses against Insect Pests: Impact on Plant Volatile Organic Compounds and Cascade Effects on Multitrophic Interactions', *Plants MDPI*, 8(444), pp. 1–11. doi: [doi:10.3390/plants8110444](https://doi.org/10.3390/plants8110444).
- Lisboa, D. O., Evans, H. C., Araújo, J. P. M., Elias, S. G., & Barreto, R. W. (2020). *Moniliophthora perniciosa*, the mushroom causing witches' broom disease of cacao: Insights into its taxonomy, ecology and host range in Brazil. *Fungal Biology.*, 124, 983–1003. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.09.001>
- Liu, J., Wang, X. (2021). Plant diseases and pests detection based on deep learning: a review. *Plant Methods* 17, 22 . <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00722-9>
- Lucas, G. B., Campbell, C. L., Lucas, L. T. (1992). *Introduction to Plant Disease* pp 9-14. Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-7294-7\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-7294-7_2)
- Madden, L. V., Hughes, G., & Van den Bosch, F. (2007). *The Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press. <http://doi.org/10.90294/9780890545058>
- Manthey, C. et al. (2023) 'Complete metamorphosis and microbiota turnover in insects', *Molecular Ecology*, 32(23), pp. 6543–6551. Available at: <https://doi.org/10.1111/mec.16673>.
- Marican, A., & Durán-Lara, E. F. (2018). A review on pesticide removal through different processes. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(3), 2051–2064. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0739-2>

- Marschner, P., Grieron, P.F., & Rengel, Z. (2018). Soil microbial biomass and activity in different soil types. Springer.
- Marwan, H., Nusifera, S., Mulyati, S. (2021). Potensi Bakteri Endofit sebagai Agens Hayati untuk Mengendalikan Penyakit Blast pada Tanaman Padi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26(3). 328-333. DOI: 10.18343/jipi.26.3.328
- Mauruh, C. F., Malik, M. Z., et al. (2022). Palliative nursing. Yogyakarta: Rizmedia Pustaka Indonesia.
- Mazzola, M. (2004) Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 35-59. doi:10.1146/annurev.phyto.42.040803.140408
- McGrath, M.T. (2004) 'What are Fungicides?', *The Plant Health Instructor* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2004-0825-01>.
- Meetei, Ng. T., Singh, A. K., Singh, B. K., & Mandal, N. (2020). Disease incidence and molecular indexing of viruses infecting King chilli (*Capsicum chinense* Jacq) in North East India. *Indian Phytopathology*, 73(1), 117–124. <https://doi.org/10.1007/s42360-019-00169-y>
- Mehrotra, R. S., & Aggarwal, A. (2003). *Plant pathology* (2nd ed). Tata McGraw-Hill.
- Mendes, L.F. & Stevani, C.V. (2010) Evaluation of metal toxicity by a modified method based on the fungus *Gerronema viridilucens* bioluminescence in agar medium. *Environ Toxicol Chem* 29:320–326
- Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 634-663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Mendgen, K., & Hahn, M. (2002). Plant infection and the establishment of fungal biotrophy. *Trends in Plant Science*, 7(8), 352-356.

- Mikle<sup>ˇ</sup>, I. and Cirjak, D. (2022) 'Automatic Pest Monitoring Systems in Apple Production under Changing Climatic Conditions', *Horticulturae*: MDPI, 8(520), pp. 1–20. doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060520>.
- Mitsuhashi, I., Iwai, T., Seo, Y., Yanawaga, Y., Kawahigasi, H., Hirose, S., Ohkawa, Y., & Ohashi, Y. (2008). Characteristic Expression of Twelve Rice PR1 Family Genes in Response to Pathogen Infection, Wounding, and Defense- Related Signal Compounds (121/180). *Molecular Genetics and Genomics*. 279(4). <https://doi.org/10.1007/s00438-008-0322-9>
- Moekasan, T.K., Prabaningrum, L., & Adiyoga. W. (2014). Cara Kerja Dan Daftar Pestisida Serta Strategi Penggilirannya Pada Budidaya Tanaman Sayuran Dan Palawija. Balai Penelitian Tanaman dan Sayuran.
- Mohandoss, J. and Suryanarayanan, T.S. (2009) 'Effect of fungicide treatment on foliar fungal endophyte diversity in mango', *Sydowia*, 6, pp. 11–24.
- Momesso, L. et al. (2022) 'Soil & Tillage Research Toward more sustainable tropical agriculture with cover crops: Soil microbiome responses to nitrogen management', *Soil & Tillage Research*, 224(July), p. 105507. doi: 10.1016/j.still.2022.105507.
- Momol, T., Ji, P., Pernezny, K., McGovern, R., & Olson, S. (1969). Three Soilborne Tomato Diseases Caused by *Ralstonia* and *Fusarium* Species and their Field Diagnostics. *EDIS*, 2005(2). <https://doi.org/10.32473/edis-pp127-2005>
- Mubarok, U.H., & Nasiruddin, M. (2024). Uji Efektivitas Bahan Jebakan Papan Terhadap Keanekaragaman Serangga Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.), *Jurnal Pendidikan Sosial dan Lingkungan*. Available at: <https://publisherqu.com/index.php/pediaqu/article/view/1216> (Accessed: 17 March 2025).
- Mulyadi, E. (2019). Kelompok Tumbuhan Bahan Pestisida Nabati: Pengendalian OPT Ramah Lingkungan dan Cara Pembuatannya.

- Direktorat Perlindungan Hortikura. Jakarta: Direktorat Jenderal Hortikultura.
- Narayanasamy, P. (2011a). *Microbial Plant Pathogens-Detection and Disease Diagnosis*: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9769-9>
- Narayanasamy, P. (2011b). *Microbial Plant Pathogens-Detection and Disease Diagnosis: Viral and Viroid Pathogens, Vol.3*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9754-5>
- Nasrun, N., Christanti, C., Arwiyanto, T., & Mariska, I. (2007). Karakteristik fisiologis *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu bakteri nilam. *Industrial Crops Research Journal*, 13(2), 43-48.
- National Institute of Nursing Research. (n.d.). What is palliative care? <https://www.ninr.nih.gov/news-and-information/what-is-palliativecare#.VjJ0rberRph> (Accessed November 22, 2022)
- Niño-Liu, D. O., Ronald, P. C., & Bogdanove, A. J. (2006). *Xanthomonas oryzae* pathovars: Model pathogens of a model crop. *Molecular Plant Pathology*, 7(5), 303-324. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2006.00344.x>
- Noviyanti, R.I., Suryaminarsih, P & Purwanti, A. (2022). Potensi Jamur Endofit sebagai Agensia Hayati Jamur *Coletrothichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa pada Tanaman Cabai Rawit. *Jurnal Agrohita*. 7(2): 249.257. DOI: 10.31604/jap.v7i2.6021
- Nuraini, I.V., Prakoso, B. dan Suroto, A. (2022) “Survei dan Identifikasi Hama Gudang pada Komoditas Padi, Jagung, dan Kedelai di Kecamatan Batuwarno, Wonogiri,” *Biofarm : Jurnal Ilmiah Pertanian*, 18(2), hal. 87. Tersedia pada: <https://doi.org/10.31941/biofarm.v18i2.1711>.
- Nurfadza, A.R., Dono, D. dan Yulia, E. (2024) “Pengendalian Riptortus linearis Pada Tanaman Kedelai Menggunakan Insektisida Campuran *Azadirachta indica* dan *Ricinus communis*,” *Agrikultura Masyarakat*

- Tani, 1(3), hal. 104–110. Tersedia pada: <https://doi.org/10.24198/agrimasta.v1i3.55626>.
- Nurhayati. (2011). *Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*. Universitas Sriwijaya. Hal.112
- Nurhayati. (2011). *Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam Pengendalian Penyakit Tanaman Secara Hayati yang Ramah Lingkungan*. Prosiding Semirata. ISBN: 978-979-8389-18-4.
- Nuryani, W. & Djatnika, I. (1999). *Pengendalian Bercak Bunga Sedap Malam dengan BioGL dan Bio-Tri*. hlm. 335–339. Dalam Soedarmono (Ed.). *Prosiding Kongres Nasional XV dan Seminar Ilmiah PFI, Purwokerto*.
- Nuryanto, B. (2018) 'Pengendalian Penyakit Tanaman Padi Berwawasan Lingkungan Melalui Pengelolaan Komponen Epidemik', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 37(1), p. 1. doi: 10.21082/jp3.v37n1.2018.p1-8.
- Nuryanto, B., Priyatmojo, A., Hadisutrisno, B., & Sunarminto, B. H. (2010). Hubungan antara inokulum awal patogen dengan perkembangan penyakit hawar upih pada padi varietas Ciherang. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 16(2), 55-61.
- Obrycki, J. J., & Kring, T. J. (1998). *Predaceous Coccinellidae in biological control*. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 295-321.
- Oreskes, N. and Conway, E.M. (2010) 'Denial rides again; the revisionist attack on Rachel Carson', In: *Merchants of doubt*. NY, Bloomsbury.
- Otuka, A. (2013). Migration of rice planthoppers and their vectored re-emerging and novel rice viruses in East Asia. *Frontiers in Microbiology*, 4, 309.
- Padda, P. M., Taufik, M., Asniah, Botek, M., Rahman, A., Gusnawati, H.S., & Mariadi. (2022). Efektivitas Minyak Gengkeh terhadap Patogen yang Berasosiasi dengan Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculenta* Mill.). *Jurnal Agroteknos*. 22(1): 21-27DOI: <http://dx.doi.org/10.56189/ja.v12i1.24614>

- Paini, D.R., Sheppard, A.W., Cook, D.C., De Barro, P.J., Worner, S.P., & Thomas, M.B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(27), 7575-7579.
- Pandey, Abhay & Sain, S. K. & Singh, Pooja. (2016). A Perspective on Integrated Disease Management in Agriculture. *Bio Bulletin*. 2. 13-29.
- Paramita, N.R., Sumardiyono, C. and Sudarmadi (2014) 'Pengendalian Kimia dan Ketahanan *Colletotrichum* spp. terhadap Fungisida Simoksamil pada cabai Merah', *Perlindungan Tanaman Indonesia*, 18(1), pp. 41–46. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/15cb/22afa20df3104f845849dd5a5ce129a55105.pdf> (Accessed: 19 April 2025).
- Park, J. M., Koo, J., Kang, S. W., Jo, S. H., & Park, J. M. (2021). Detection of *Rhodococcus fascians*, the Causative Agent of Lily Fasciation in South Korea. *Pathogens*, 10(241). <https://doi.org/10.3390/pathogens10020241>
- Parthasarathy, S. (2024). *Fundamentals of plant pathology*. CRC Press.
- Parthasarathy, S., Lakshmidivi, P., Satya, V. K., & Gopalakrishnan, C. (2024). *Plant pathology and disease management: Principles and practices*. CRC Press.
- Pérez, M. E., Soto, E., & Vega, R. (1991). Streptomycin blocks the postsynaptic effects of excitatory amino acids on the vestibular system primary afferents. *Brain Research*, 563(1–2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(91\)91692-B](https://doi.org/10.1016/0006-8993(91)91692-B)
- Perrenoud, S. (1990). Potassium and plant health. IPI Research Topics No. 3, International Potash Institute.
- Pimentel, D. (2005) 'Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States', *Environment, Development and Sustainability*, 7(2), pp. 229–252. doi: 10.1007/s10668-005-7314-2.

- Pirgozliev, S.R. et al. (2003) 'Strategies for the control of Fusarium head blight in cereals.', *Euro J Plant Pathol*, 109, pp. 731–742.
- Plantegenest, M., Le May, C., & Fabre, F. (2007). Landscape Epidemiology of Plant Diseases. (2008). *Journal of The Royal Society Interface*, 5(22), 835–848. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1114>
- Pokhrel, Alina. (2021). Role of Individual Components of Disease Triangle in Disease Development: A Review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. 12. 573. 10.35248/2157-7471.21.12.573.
- Prasad, P.V., Bheemanahalli, R., & Jagadish, S.K. (2019). Field crops and the fear of heat stress opportunities, challenges and future directions. *Field Crops Research*, 230, 1-3.
- Prasetyo, G., Ratih, S., Ivayani, I., & Akin, H. M. (2017). Efektivitas *Pseudomonas fluorescens* dan *Paenibacillus polymyxa* terhadap keparahan penyakit karat dan hawar daun serta pertumbuhan tanaman jagung manis (*Zea mays* var. *Saccharata*). *Jurnal Agrotek Tropika*. 5(2): 102-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v5i2.1834>
- Pratamasari, I., Winata, H.S., & Rusba, K. (2024). Analisis Keselamatan Penggunaan Pestisida Pada Petani di Kelurahan Teritip Kota Balikpapan. *Jurnal Identifikasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, 10(1), pp. 23-35. Available at: <https://jurnal.d4k3.uniba-bpn.ac.id/index.php/identifikasi/article/download/369/251> (Accessed: 17 March 2025).
- Priwiratama, H., & Hidayat, S. H. (2012). Pengaruh Empat Galur Bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman dan Waktu Inokulasi Virus terhadap Keparahen Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 8(1), 1-1. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.8.1.1>
- Probowati, W., & Firyalunfah, P.R. (2020). Formulasi Pupuk Cair *Pseudomonas fluorescens* sebagai Pengendali Hayati Penyakit Mosaik Tanaman Kakao. (2020). *Jurnal Ilmu Pertanian Tropika & Suptropik*. 5(2). 56-60. DOI:10.31002/vigor.v5i2.3072

- Pronk, M.E.J. and Schefferlie, G.J. (2015) Toxicological evaluation certain verinary drug residues in food Tiabendzole (Thiabendazole). WHO food Additive Series 49.
- Purwantisari, S., Parman. S., & Karnoto, K. (2019). Ketahanan Sistemik Tanaman Kentang oleh Aplikasi PGPR. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*. 21(2): 126–131. DOI: <https://doi.org/10.14710/bioma.21.2.126-131>.
- Putra, H.J.B., Himawan, T., & Choliq, F.A. (2024). Uji Efektivitas Campuran Ekstrak Daun Pepaya dan Daun Mengkudu dalam Pengendalian *Plutella xylostella* Linnaeus (Lepidoptera)', *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan (HPT)*. Available at: <https://jurnalhpt.ub.ac.id/index.php/jhpt/article/view/422> (Accessed: 17 March 2025)
- Putra, I. G. N. B. P., Puspawati, N. M., Nyana, I. D. N., Siadi, I. K., & Suastika, G. E. D. E. (2015). Identifikasi virus yang berasosiasi dengan penyakit mosaik, kuning, dan klorosis pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 4, 251.
- Ragsdale, N.N. (1994) ' Fungicides USDA-National Agricultural pesticide Impact Assessment Programme', In: *Encyclopedia of Agric. Sci*.
- Raiyan, N., Rohyadi, A. dan Tarmizi (2017) "Hubungan Kehilangan Daun Dengan Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Cabai Rawit the," *Edu-Sains*, 6(1), hal. 89–92.
- Rajashekar, Y., Tonsing, N., Shantibala, T., & Manjunath, J. R. (2016). 2, 3-Dimethylmaleic anhydride (3, 4-Dimethyl-2, 5-furandione): A plant derived insecticidal molecule from *Colocasia esculenta* var. *esculenta* (L.) Schott. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep30370>
- Rashmi, S.H. et al. (2024) 'Insect Pest Biology and Life cycle', in D.R.P. Singh et al. (eds) *Plant Protection Insights: Diverse Perspective on Plant Pathology and Entomology*. 1st Editio. Kurukshetra (India): Stella International Publication, pp. 334–348.

- Ravichandra, N.G. (2013). *Fundamentals of Plant Pathology*. (ISBN : 978-81-203-4703-8)
- Ren, Z. et al. (2022) 'Dynamics of Microbial Communities across the Life Stages of *Nilaparvata lugens* (Stål)', *Microbial Ecology*, 83(4), pp. 1049–1058. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01820-w>.
- Reynolds, A.M., Reynolds, D.R., Sane, S.P., Hu, G., & Chapman, J.W. 2016. Orientation in high-flying migrant insects in relation to flows: mechanisms and strategies. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150392. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0392>
- Rhofita, E. I. R. (2022) 'Optimalisasi Sumber Daya Pertanian Indonesia untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan dan Energi Nasional', *Jurnal Ketahanan Nasional*, 28(1), p. 82. doi: 10.22146/jkn.71642.
- Riah, W., Laval, K., Laroche-Ajzenberg, E., Mougin, C., Latour, X., & Trinsoutrot-Gattin, I. (2014). Effects of pesticides on soil enzymes: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 257–273. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0487-1>
- Rolff, J., Johnston, P.R. and Reynolds, S. (2019) 'Complete metamorphosis of insects', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1783). Available at: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0063>.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., & Asseng, S. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273.
- Rostaman, R. (2023). Evaluation of Two Synthetic Insecticides In Controlling *Bradysia occellaris*, An Insect Pest On Oyster Mushroom. *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian*. Available at: <https://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/AGRITECH/article/view/17201> (Accessed: 20 March 2025).

- Rotem, J. (1994). *The Genus Alternaria: Biology, Epidemiology, and Pathogenicity*. APS Press.
- Rufina, H., Rudy, D., et al. (2024). *Buku ajar keperawatan paliatif*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Sanuriza, I. I., Suprpta, D. N., Kawuri, R., Suriani, N. L., Sudantha, I. M., Jayadi, I., & Ihwan, K. (2024). First report of *Pyricularia oryzae* the cause of blast disease in upland rice, in Lombok, West Nusa Tenggara. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(2). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250227>
- Saraswathi, S. et al. (2023) 'Overview of pest status, control strategies for *Spodoptera litura* (Fab.): a review', *Journal of Biopesticides*, 16(2), pp. 159–178. Available at: <https://doi.org/10.57182/jbiopestic.16.2.159-178>.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J. et al. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat Ecol Evol* 3, 430–439 . <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Senewe, R.E. et al. (2019) "Gejala dan Intensitas Serangan Serangga Fitofagous pada Sagu [The Symptoms and Intensity Attacks of Phytophagous Insects on Sago]," *Buletin Palma*, 20(1), hal. 57. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21082/bp.v20n1.2019.57-68>.
- Senthil Kumar, P., Femina Carolin, C., & Varjani, S. J. (2018). Pesticides bioremediation. In *Energy, Environment, and Sustainability* (pp. 197–222).
- Setiawati, W., Udiarto, B.K., & Riskiawan, H.Y. (2022). *Pengenalan dan Pengendalian Hama-Hama Penting pada Tanaman Cabai Merah*, *Panduan Teknis PTT Cabai Merah*, Kementerian Pertanian Indonesia. Available at: [https://kikp-pertanian.id/bpsipgorontalo/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/YzdjOWJmZTdlOTI4MTk4NDkyOTQ2OGU1ZjU0MTg1ZDkzNTdmODRhZQ==.pdf](https://kikp-pertanian.id/bpsipgorontalo/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/YzdjOWJmZTdlOTI4MTk4NDkyOTQ2OGU1ZjU0MTg1ZDkzNTdmODRhZQ==.pdf) (Accessed: 20 March 2025).

- Silberman, J., & Taylor, A. (2025). Carbamate toxicity. In Treasure Island (FL).
- Sinaga, M.S. (2003). Dasar – Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sinambela, B.R. (2024). Dampak Penggunaan Pestisida Dalam Kegiatan Pertanian Terhadap Lingkungan Hidup Dan Kesehatan. 8(2):178-187. AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian. <http://dx.doi.org/10.33096/agrotek.v8i2.625>
- Singh, A., Sarma, B.K., Sing, H.B., & Upadhyay, R.S. (2014). Trichoderma: a Sillent Worker of Plant Rhizosphere. Elsevier.
- Singh, S., Parmar, N. (2023). Advancements in plant disease detection techniques: A comprehensive review and potential model. International Journal of Novel Research and Development 8(5): 1-7. ISSN: 2456-4184.
- Skelsey, P., Cooke, D.E.L., Lynott, J.S., & Lees, A.K. (2010). Climate change and *Phytophthora infestans*: implications for late blight risk in Great Britain. *Global Change Biology*, 16(3), 1154-1165
- Skelsey, P., Sparks, A.H., & Magarey, R.D. (2019). Predicting climate change impacts on plant pathogen dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268(4), 210-221.
- Soenartiningih, M. A., & Andayani, N. N. (2015). Cendawan tular tanah (*Rhizoctonia solani*) penyebab penyakit busuk pelepah pada tanaman jagung dan sorgum dengan komponen pengendaliannya. *Iptek tanaman pangan*, 10(2), 85-91.
- Soesanto, L. et al. (2012) 'Diagnosis Lima Penyakit Utama Karena Jamur Pada 100 Kultivar Bibit Pisang', *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 12(1), pp. 36–45. doi: 10.23960/j.hptt.11236-45.
- Solahuddin et al. (2023) "Populasi dan Intensitas Kerusakan Walang Sangit pada Padi Varietas Mentik Wangi dengan Sistem Tanam Jajar Legowo," *Jurnal Nasional UNS*, 7(1), hal. 1175–1184.

- Solihin, A.P., Lihawa, M., & Saputra, I.W.D. (2020). IDENTIFIKASI DAN PREFERENSI LALAT BUAH (*Bactrocera* spp.) TERHADAP EKSTRAK SERAI (*Andropogon nardus*) DAN WARNA PERANGKAP PADA TANAMAN CABAI (*Capsicum annum*). FAKULTAS PERTANIAN - UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO. JURNAL AGERCOLERE. 2(2) : 51-56. DOI : <https://doi.org/10.37195/jac>.
- Songa, E. A., & Okonkwo, J. O. (2016). Recent approaches to improving selectivity and sensitivity of enzyme-based biosensors for organophosphorus pesticides: A review. *Talanta*, 155, 289–304. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.046>
- Sopialena, Suyadi, Sofyan, Tantiani, D., & Fauzi A.N. (2020). Efektivitas Cendawan Endofit sebagai Pengendali Penyakit Blast pada Tanaman Padi. *Jurnal Agrifor*. 12(2): 355-366 DOI: <https://doi.org/10.31293/af.v19i2.4813>
- Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Speight, M.R., Mark D. H., & Allan D. W. (2008). *Ecology of Insects. CONCEPTS AND APPLICATIONS*. This edition first published. Blackwell Publishing was acquired by John Wiley & Sons in February 2007. Blackwell's publishing program has been merged with Wiley's global Scientific, Technical and Medical business to form Wiley-Blackwell. (641 p).
- Srinivasan, R. & Chun-Chu Huang, (2009). The effect of simulated borer infested shoot pruning on yield parameters of eggplant. *Journal of Asia-Pacific Entomology* Volume 12, Issue 1, March 2009, Pages 41-43. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2008.10.001>.
- Stenersen, J. (2004). *Chemical pesticides: mode of action and toxicology*. CRC PRESS Boca Raton London New York Washington, D.C.

- Includes bibliographical references and index. ISBN 0-7484-0910-6. (274 p).
- Strange, R. N. (2003). *Introduction to Plant Pathology*. Wiley.
- Sudiarsa, I. W. (2019). *Perawatan komprehensif paliatif*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Sudir, B. N., & Kadir, T. S. (2012). Epidemiologi, patotipe, dan strategi pengendalian penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi. *Iptek Tanaman Pangan*, 7(2), 79-87.
- Suganda, T. et al. (2016) 'Intensitas Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae* Cav.) pada Padi Varietas Ciherang di Lokasi Endemik dan Pengaruhnya terhadap Kehilangan Hasil', *Agrikultura*, 27(3), pp. 154–159. doi: 10.24198/agrikultura.v27i3.10878.
- Sugimoto, A. dan Nugaliyadde, L. (1995) "Damage of rice grains caused by the rice bug, *Leptocorisa oratorius* Fabricius (Heteroptera: Alydidae)," *JIRCAS Journal*, 17(2), hal. 13–17.
- Sumartini. (2011). Potensi Bahan Nabati Cengkeh, Lengkuas dan Mimba untuk Pengendalian Penyakit pada Kedelai dan Kacang Hijau. Di dalam *Prosiding Seminar nasional Pestisida Nabati*, 2011 Okt 15; Jakarta (ID): Semnas Pestisida Nabati IV. hlm 29–40.
- Sumartini. (2014). Efficacy of Onion (*Allium cepa*) Extract as a Biofungicide Control Scab Disease (*Sphaceloma batatas*) of Sweet Potato. *Journal of Biology and Agriculture Science*. 2(4):397-402. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143319119>
- Sumartini. 2012. Efektivitas ekstrak lengkuas untuk pengendalian penyakit bercak daun (*Cercospora canescens*) pada kacang hijau. *Prosiding seminar nasional peran pertanian dalam menunjang ketahanan pangan dan energi untuk memperkuat ekonomi nasional berbasis sumber daya lokal*. p.161-171. Fakultas Pertanian, Univ. Jenderal Sudirman. Purwokerto.

- Surbakti, N.M., Dewi, S. & Ramadhani, F. (2024). Penerapan Sistem Kontrol Hama Padi dan Monitoring Sawah Berbasis Internet of Things (IoT) di Sumatera Utara. *JMM (Jurnal Multi Manajemen)*, 2024. Available at: <https://journal.ummat.ac.id/index.php/jmm/article/view/25241> (Accessed: 20 March 2025).
- Suriani, Djaenuddin, N. and Muis, A. (2018) 'Efikasi Formulasi *Bacillus subtilis* terhadap Pengendalian Penyakit Busuk Batang *Fusarium* pada Tanaman Jagung Efficacy of the *Bacillus subtilis* Formulation to Control *Fusarium* Stalk Rot Disease in Corn', *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 2(3), pp. 191–197.
- Suryanarayanan, T.S. (2020) 'The need to study the holobiome for gainful uses of endophytes', *Fungal Biology Reviews*, 34(3), pp. 144–150. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2020.07.004>.
- Susanti, E., Surmaini, E. and Estiningtyas, W. (2020) 'Parameter Iklim sebagai Indikator Peringatan Dini Serangan Hama Penyakit Tanaman', *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), p. 59. doi: 10.21082/jsdl.v12n1.2018.59-70.
- Sutraman, Prihatingrum, A. and Agus (2020) *Pengelolaan Penyakit*.
- Suty-Heinze, A., Hauser-Hahn, I. and Kemper, K. (2004) 'Prothioconazole and fluoxastrobin: two new molecules for the use as seed treatment in cereals.', *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 57, pp. 451–472.
- Suyono, Y., & Salahudin, F. (2011). Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri *Pseudomonas* pada Tanah yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. *Jurnal Biopropal Industri*. 02(01): 8-13. DOI: 10.36974/jbi.v2i2.728
- Syahrawati, M., Arneti, A., Resti, Z., & Sari, N. (2019). Aplikasi Insektisida Berbahan Aktif Buprofezin Terhadap Wereng Batang Coklat di Keltan Rambutan dan Keltan Sakato Kota Padang. *Jurnal Hilirisasi Pertanian*, 5(2), pp. 45-53. Available at: <https://hilirisasi.lppm.unand.ac.id/index.php/hilirisasi/article/download/326/104> (Accessed: 20 March 2025).

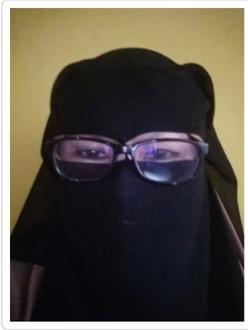
- Syamsia. (2023). Potensi Cendawan Endofit sebagai Pengendali Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi. 12(1): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.31850/jgt.v12i1.1100>
- Tarazona, J. V., Court-Marques, D., Tiramani, M., Reich, H., Pfeil, R., Istace, F., et al. (2017). Glyphosate toxicity and carcinogenicity: A review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC. *Archives of Toxicology*, 91(8), 2723–2743. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1926-4>
- Thrall, P. H., Oakeshott, J. G., Fitt, G., Southerton, S., Burdon, J. J., Sheppard, A., et al. (2011). Evolution in agriculture: The application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary Applications*, 4(2), 200–215. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00173.x>
- Timmerman, A. D., Korus, K. A. (2014). *Introduction to Plant Diseases*. University of Nebraska-Lincoln Extension. <https://extensionpubs.unl.edu/publication/ec1273/2014/pdf/view/ec1273-2014.pdf>
- Tridesianti, S., Akhdiya, A., & Wahyudi, A.T. (2016). Formulasi Bakteri Filosfer Padi dan Aplikasinya untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Daun Bakteri. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 12(6): 191-198. DOI: 10.14692/jfi.12.6.191
- Trigiano, R. N., Windham, M. T., & Windham, A. S. (Eds.). (2004). *Plant pathology: Concepts and laboratory exercises*. CRC Press.
- Trippa, Daniela & Scalenghe, Riccardo & Basso, Marcos Fernando & Panno, Stefano & Davino, Salvatore & Morone, Chiara & Giovino, Antonio & Oufensou, Safa & Luchi, Nicola & Yousefi, Sanaz & Martinelli, Federico. (2023). Next-generation methods for early disease detection in crops. A review. *Pest management science*. 80. 10.1002/ps.7733.
- Truman, J.W. (2019) 'The Evolution of Insect Metamorphosis', *Current Biology*, 29(23), pp. R1252–R1268. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.10.009>.

- Tylova, V.N. (2023). Potensi Bakteri Endofit sebagai Pengendali Biologis Cendawan *Pestalotiopsis* sp. Penyebab Penyakit Gugur Daun pada Tanaman Karet. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 25(1): 51-58. DOI: <https://doi.org/10.31186/jipi.25.1.51-58>
- Van Lenteren, J. C. (2012). "The state of commercial augmentative biological control." *BioControl*, 57(1), 1-20. DOI 10.1007/s10526-011-9395-1
- VanLoon, L. C., Fraser, R.S.S., & Slusarenko, A.J. (2000). *Mechanisms of Resistance to Plant Diseases*. Netherland: Kluwr Academic Publisher. 521-574. DOI:10.1007/978-94-011-3937-3
- Vijayreddy, D. (2024). *Text Book on Practices for Agricultural Sustainability*. Hal. 171-183 ISBN: 978-81-19906-68-0. Uttar Pradesh (India): Golden Leaf Publishers.
- Walker, J. C. (1986). *Plant Pathology 3rd Edition*. New York (US): McGraw-Hill Co., Inc.
- Wang, S. et al. (2023) 'Diversified crop rotations reduce groundwater use and enhance system resilience', *Agricultural Water Management*, 276(November 2022), p. 108067. doi: 10.1016/j.agwat.2022.108067.
- Wang, X., Heng Su, Juan Wang, & Jinyong Zhang, (2024). Effects of interspecific sex pheromones on the trapping efficiency of five pest species in an apple orchard. *Journal of Asia-Pacific Entomology* Volume 27, Issue 4, December 2024, 102344. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S122686152401493>.
- Wasternack, C., & Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of Botany*, 111(6), 1021–1058. <https://doi.org/10.1093/aob/mct067>
- Wei, K. et al. (2024) 'Mixed cropping of *Medicago ruthenica* - *Bromus inermis* exhibits higher yield and quality advantages in the Longxi

- loess plateau region of Northwest', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8(September), pp. 1–17. doi: 10.3389/fsufs.2024.1411687.
- Wenas, M., Manengkey, G. S., & Makal, H. V. (2016, May). Insidensi Penyakit Layu Bakteri Pada Tanaman Kentang (*Solanum Tuberosum* L) Di Kecamatan Modinding. In *Cocos*, 7(3)
- West, J. S. (2014). Plant Pathogen Dispersal. In *Epidemiology of Plant Disease*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/230228225>
- Westcott, C., Horst, R. K., & Horst, R. K. (2008). *Westcott's plant disease handbook* (7th ed). Springer.
- White, P. M., Potter, T. L., & Culbreath, A. K. (2010). Fungicide dissipation and impact on metolachlor aerobic soil degradation and soil microbial dynamics. *Science of the Total Environment*, 408(6), 1393–1402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.012>
- World Health Organization. (1986). *Environmental health criteria 64: Carbamate pesticides*. ISBN 92 4 154264 0.
- World Health Organization. (n.d.). Palliative care. <https://www.who.int/health-topics/palliative-care>
- Yang, L. et al. (2021) 'Effects of Temperature on Growth and Development of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae)', *Environmental Entomology*, 50(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa144>.
- Yanti, Y., Habazar, & T., Resti, Z., (2017). Formulasi Padat Rhizobacteria Indigenus *Bacillus Thuringiensis* TS2 dan Waktu Penyimpanan Untuk Mengendalikan Penyakit Pustul Bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *Glycines*. *J. HPT. Tropika*. 1(19): 9-18. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.1179-18>
- Yodang. (2018). *Buku ajar keperawatan paliatif berdasarkan kurikulum AIPNI 2015*. Jakarta: Trans Info Media.

- Yulia, A., Grace, C. S., et al. (2020). Keperawatan paliatif: Konsep dan aplikasi. Bandung: CV. Media Sains Indonesia.
- Yuliani & Anggraeni, A. R. (2019). PENGGUNAAN BEBERAPA PERANGKAP UNTUK MENGENDALIKAN HAMA PENGGEREK BATANG PADI PANDANWANGI (*Oryza sativa* var. Aromatic). *Jurnal Pro-Stek*. 1 (1), 10-19. e-ISSN : 2720-9679 (online) dan p-ISSN : 2746-0320 (cetak).
- Yuniti, I. G. A. D. (2016). Bakteri *Liberobacter Asiaticum* Menyebar Pada Tanaman Jeruk Dengan Berbagai Gejala Serangan Penyakit Cvpd. *Jurnal Teknik Gradien*, 8(2), 149-165.
- Zhu, L., Huang, J. and Lu, X. (2022) 'Development of plant systemic resistance by beneficial rhizobacteria: Recognition , initiation , elicitation and regulation', *Frontiers in Plant Science*, 13(August), pp. 1–16. doi: 10.3389/fpls.2022.952397.
- Ziska, L.H., Blumenthal, D.M., Runion, G.B., Hunt, E.R., & Diaz-Soltero, H. (2016). Invasive species and climate change: An agronomic perspective. *Climatic Change*, 134(3), 385-400.
- Zulaika, Z., Soekarno, B. P., & Nurmansyah, A. (2018). Pemodelan keparahan penyakit blas pada tanaman padi di Kabupaten Subang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(2), 47-47. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.14.2.47>

# Biodata Penulis



**Rainiyati.** Profesor pada Program Studi Agroekoteknologi Universitas Jambi dengan bidang keahlian Fisiologi Cekaman. Menempuh Pendidikan S1 di Universitas Jambi dan menyelesaikan Pendidikan Pendidikan S2 dan S3 di Institut Pertanian Bogor.

Isteri dari Hendri Toetin seorang pensiunan ASN, memiliki 5 orang anak (Afifah Nur Ufairah, Sarah Fiebrina Heraningsih, Bunga Andari Mukhtasida, Muhammad Dzul Fadli Rizqullah, Muhammad Dzul

Azmi Rizqullah) dan 4 orang cucu (Muhammad Al Fatih, Aisyah Medina Arief, Shafiyya Medina Arief dan Aliy Muhammad Havidz)

Mengampu mata kuliah Fisiologi Tanaman, Dasar-Dasar Agronomi, Biokimia Tanaman, Kultur Jaringan, Agroklimatologi dan Kerja Praktek. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa Skripsi S1, Thesis S2 dan Disertasi S3 di Prodi Pasca Sarjana Universitas Jambi.

Penulis mendapatkan penghargaan (sertifikat Kompetensi) sebagai Inspektur Bidang Pertanian Organik Tanaman (dari BNSP-LSP Pertanian Organik Tahun 2023).

Dalam tiga tahun terakhir, penulis mempublikasi sebanyak 5 artikel ilmiah hasil penelitian pada Jurnal Internasional Bereputasi.

E-mail: [rainiyati@unj.ac.id](mailto:rainiyati@unj.ac.id)



Penulis lahir di Rembang, Jawa Tengah pada tanggal 14 Januari 1997. Penulis merupakan anak pertama dari dua saudara dari pasangan Bapak Sumiran dan Ibu Mursi. Penulis sekarang berprofesi sebagai dosen tetap di Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muria Kudus. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2015-2020. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan Magister di Program Studi Fitopatologi, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Penulis juga aktif menjadi asisten praktikum mata kuliah Hama Penyakit Benih di Sekolah Vokasi IPB tahun ajaran 2021/2022, Biologi Patogen Tumbuhan di Departemen Proteksi Tanaman tahun ajaran 2022/2023, dan Hama Penyakit Benih di Sekolah Vokasi IPB tahun ajaran 2022/2023. Selain itu penulis juga bekerja sebagai pengajar privat bimbingan belajar Spektrum Edukasi tahun 2021-2023. Buku yang pernah ditulis yaitu Mikrobiologi Pertanian.



**Dwiwiyati Nurul Septariani** lahir di Tangerang, pada 23 September 1988. Penulis tercatat sebagai lulusan S1 Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman dan S2 Fitopatologi, Institut Pertanian Bogor. Fokus pada bidang Bakteriologi di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman, penulis bekerja sebagai dosen Program Studi Proteksi Tanaman, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Selama ini terlibat aktif dalam asosiasi Perkumpulan Agroteknologi/ Agroekoteknologi Indonesia (PAGI) dan Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI). Telah menulis beberapa buku referensi yakni Pengantar Perlindungan Tanaman, Hama dan Penyakit Tanaman, Pengantar Bioteknologi, Penyakit Tanaman dan Pengendaliannya, Sistem Pertanian Terpadu, serta Virologi Tumbuhan.

E-mail: [nurulseptariani@gmail.com](mailto:nurulseptariani@gmail.com)



**Rudi Hartono**, dilahirkan di Majalengka, Jawa Barat pada tanggal 07 Maret 1982. Pada tahun 2006 Penulis menyelesaikan pendidikan program Diploma IV Penyuluhan Pertanian di Sekolah Tinggi penyuluhan Pertanian (STPP) Bogor. Di tahun 2010 penulis mendapatkan kesempatan mengikuti pendidikan sebagai peserta tugas belajar Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumberdaya Manusia Pertanian (BPPSDMP) Kementerian Pertanian. Penulis diterima sebagai Mahasiswa Program Studi Hama dan Penyakit Tumbuhan Pascasarjana Universitas Andalas Padang. Pada Tahun 2014 dipromosikan menjadi Dosen di Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Bogor, yang kemudian pada tahun 2018 STPP bertransformasi menjadi Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Bogor. Penulis merupakan Dosen Tetap Program Studi Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan (PPB) yang menekuni bidang proteksi tanaman, pertanian organik, dan budidaya tanaman pangan dan hortikultura.



**Ilmi Hamidi**. Telah Menyelesaikan Studi Program Magister Fitopatologi, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor, setelah sebelumnya meraih gelar sarjana dari IPB pada program studi Proteksi Tanaman. Saatini, ia merupakan dosen tetap di Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Ia mengampu mata kuliah Nematologi Tumbuhan dan Mikrobiologi.

E-mail: [ihamidi@unib.ac.id](mailto:ihamidi@unib.ac.id)



**Dr. Rury Eryna Putri, M.Si** merupakan dosen pada Program Studi Magister Ilmu Forensik, Sekolah Pascasarjana Universitas Airlangga. Penulis mendapatkan beasiswa PMDSU pada tahun 2018 dan merupakan lulusan S3 Mikrobiologi IPB University tahun 2023. Penulis saat ini sedang fokus menjadi dosen di S2 Ilmu Forensik dan meneliti mengenai mikrobiologi forensik. Penulis juga telah memiliki terbitan buku sebelumnya berjudul ‘Mikroorganisme dan Bakteriologi’, ‘Toksikologi Tanaman’, ‘Pengendalian Biologis Hama’, dan ‘Degradasi dan Bioremediasi Pertanian’ di tahun 2024.

E-mail: [eryna.putri@pasca.unair.ac.id](mailto:eryna.putri@pasca.unair.ac.id)



**Siska Irhamnawati Pulogu**, Lahir di Kapuas, 28 Juli 1989. Jenjang pendidikan S1 Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo lulus tahun 2013. Kemudian melanjutkan pendidikan S2 di Institut Pertanian Bogor atau IPB University Departemen Proteksi Tanaman, prodi Fitopatologi dan lulus pada tahun 2017.

Penulis saat ini aktif sebagai dosen di Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo sejak tahun 2018.

Mengampu mata kuliah Mikrobiologi Pertanian, Mikologi, dan Patogen Tular Tanah, Epidemiologi Hama dan Penyakit Tanaman, Pengendalian Hayati, Ketahanan Tanaman Terhadap Hama dan Penyakit Tanaman serta Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman.

E-mail: [siska\\_pulogu@ung.ac.id](mailto:siska_pulogu@ung.ac.id)



**Arifjn Tasrif**, dilahirkan di Makassar. Sarjana Pertanian diraih dari Jurusan Hama dan Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian UNHAS Tahun 1986. Tahun 1988, memperoleh kesempatan mengikuti Post Graduate Diploma in Plant Quarantine di Institut ASEAN PLANTI, Malaysia. Selanjutnya pada tahun 1989 berhasil diterima di Fakultas Biologi, Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM) dan meraih Master Degree di bidang Ilmu Gulma Pertanian tahun 1991. Pada Tahun 1995 kembali terpilih untuk mengikuti Long Course Program on IPM under Colombo Plan, di Fakultas Pertanian, Kobe University, Jepang, dan international course on ISPM di Colorado University, Amerika Serikat. Pada Tahun 2000 melanjutkan pendidikan di Fakultas Pertanian, Universiti Putra Malaysia, dan berhasil menyelesaikan Pendidikan Doktor di bidang Ilmu Gulma Pertanian Tahun 2004. Setibanya kembali di Indonesia, masih sempat melanjutkan pendidikan di bidang Pengembangan SDM pada Tahun 2006 dan berhasil lulus tahun 2008. Tahun 2019 diangkat menjadi Dosen di Politeknik Pembangunan Pertanian, Kementerian Pertanian. Tahun 2025, menjadi Pemerhati Masyarakat (LSM) dan Penggiat Implementasi Biosecurity di Indonesia. Aktif di berbagai forum Ilmiah, telah menerbitkan berbagai jurnal baik tingkat nasional maupun internasional, serta buku referensi ilmiah.



**Mohamad Lihawa**. Menyelesaikan Program Doktor Ilmu Pertanian, FP UGM minat Ilmu Hama Tumbuhan. dengan topik disertasi yakni tentang Kontribusi Faktor Abiotik dan Biotik yang Mengatur Populasi Penggerek Batang jagung di Kabupaten Gorontalo dan Pohuwato Provinsi Gorontalo. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di UNRAT MANADO Jurusan Hama dan Penyakit Tanaman, S2 di UGM Yogyakarta Minat Ilmu Hama Tumbuhan, S3 di UGM Yogyakarta.

Sebagai dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo.

Mengampu mata kuliah Dasar Perlindungan Tanaman, Ilmu Hama Penyakit Tumbuhan, Hama dan Penyakit Tanaman Perkebunan dan Hortikultura, Pestisida dan Teknik Aplikasi dan Pengelolaan Hama Penyakit Terpadu dan aktif sebagai dosen pembimbing MBKM. Penulis aktif sebagai narasumber pelatihan dan bimbingan teknis berkaitan dengan hama pada tanaman di lingkungan Dinas Pertanian Provinsi Gorontalo.

E-mail:

mohamad.lihawa@ung.ac.id; mohamadlihawa724@gmail.com



**Mufidah Afyanti** telah menyelesaikan Program Doktor dan Magister pada Biological Sciences di National Sun-Yat sen University, Taiwan. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan di Universitas Brawijaya. Ia adalah dosen tetap Program Studi Sarjana Biologi Universitas Brawijaya.

Mengampu mata kuliah Genetika, Genetika Tumbuhan, Biologi Dasar, Pengantar Ilmu Biologi dan Bioteknologi Lingkungan. Selama ini aktif dalam Pusat Studi Porang di Universitas Brawijaya serta berperan aktif dalam pengembangan kurikulum Sarjana Biologi. Penelitian utama dari peneliti adalah terkait respon genetik tanaman terhadap faktor biotik maupun abiotik.

E-mail: m.afiyanti@ub.ac.id



**Jumardi.** Telah menyelesaikan pendidikan formal di Program Studi Program Sarjana dan Magister Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Pada saat ini penulis bekerja sebagai dosen tetap yayasan di Program Studi Proteksi Tanaman (Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan), Fakultas Pertanian, Universitas Ichsan Sidenreng Rappang (Unisan Sidrap).

Mengampu mata kuliah Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Entomologi, Ilmu Hama dan Penyakit Pasca Panen serta Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman. Selama menjadi dosen, telah banyak penelitian yang dihasilkan dan di publish di beberapa jurnal nasional maupun internasional bereputasi karena salah-satu bagian dari tridharma perguruan tinggi yang harus di penuhi.

E-mail: [jumardi992@gmail.com](mailto:jumardi992@gmail.com)



**Latifah.** Lahir di Pame, Aceh. Lulus Sarjana Pertanian di Program Studi Perlindungan Tanaman Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala tahun 2000. Lulus Magister Sains di Program Studi Entomologi/Fitopatologi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2008. Lulus Program Pendidikan Doktor di Program Studi Fitopatologi Departemen Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian IPB University tahun 2023.

Sejak tahun 2003 menjalani karir pekerjaan sebagai dosen tetap di Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh, Aceh Utara. Mengampu mata kuliah Dasar-dasar Perlindungan Tanaman; Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman; Hama dan Penyakit Pascapanen; dan Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat.

E-mail: [latifah@unimal.ac.id](mailto:latifah@unimal.ac.id)



**Diana Putri, M.Si** lahir di Durian Tinggi pada tanggal 10 Februari 1990. Ia tercatat sebagai lulusan Sarjana Biologi di Universitas Negeri Padang tahun 2013. Kemudian melanjutkan program magister pada Program Studi Fitopatologi di Institut Pertanian Bogor dengan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) dari Kemenristek Dikti tahun 2013-2016.

Riwayat pekerjaan dimulai dari tugas sebagai tenaga kontrak di Dekanat Fakultas Pertanian IPB pada tahun 2016-2024. Pada tahun 2024 bergabung sebagai dosen tetap di Program Studi

Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas sampai dengan saat ini.



**Resti Fajarfika** dilahirkan di Majalengka pada tanggal 21 Oktober 1986. Setelah lulus SMA, melanjutkan pendidikan di Universitas Jenderal Soedirman. Gelar Sarjana diraih pada tahun 2010 dalam bidang studi Hama Penyakit Tumbuhan. Pendidikan formalnya dilanjutkan di Universitas Gadjah Mada hingga mendapat gelar M.Sc. pada tahun 2014 dalam bidang Fitopatologi

E-mail: fajarfikaresti@gmail.com



**Titi Tricahyati**, saat ini menjadi Dosen di Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya pada Juli 2024. Menyelesaikan pendidikan S-1 di Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya pada Januari 2020, dan melanjutkan pendidikan S-2 di Program Studi Ilmu Tanaman dengan Bahan Kajian Utama Proteksi Tanaman di Universitas Sriwijaya yang telah diselesaikan pada Agustus 2022. Menyelesaikan Pendidikan SD di SDN Talang-Taling pada tahun 2010, Pendidikan SMP di SMPN 1 Gelumbang pada tahun 2013, dan Pendidikan SMA di tahun 2016.

Mengampu mata kuliah Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Bakteriologi, Agripreneurship dan Ilmu Pertanian Dasar. Aktif menjadi asisten praktikum untuk mata kuliah hama dan penyakit sejak tahun ketiga kuliah S-1, pernah menjadi Guru di SMKN 1 Gelumbang. Penulis aktif menulis jurnal dan buku yang bertemakan hama dan penyakit tumbuhan.

E-mail: tricahyati.titi@fp.unsri.ac.id

# PENGENALAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman merupakan cabang penting dalam ilmu pertanian yang mempelajari interaksi antara tanaman dengan organisme pengganggu tanaman (OPT), yang terdiri dari hama dan patogen penyebab penyakit.

Buku ini membahas:

- Bab 1 Pengantar Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman
- Bab 2 Jenis-Jenis Hama Tanaman
- Bab 3 Jenis-Jenis Penyakit Tanaman
- Bab 4 Gejala Serangan Hama Pada Tanaman
- Bab 5 Gejala Penyakit Pada Tanaman
- Bab 6 Siklus Hidup Hama Tanaman
- Bab 7 Siklus Hidup Patogen Penyakit Tanaman
- Bab 8 Faktor Lingkungan Dalam Perkembangan Hama Dan Penyakit
- Bab 9 Pengendalian Hama Secara Mekanis
- Bab 10 Pengendalian Hama secara Biologis
- Bab 11 Pengendalian Hama Secara Kimiawi
- Bab 12 Pengendalian Penyakit secara Mekanis
- Bab 13 Pengendalian Penyakit Secara Biologis
- Bab 14 Pengendalian Penyakit secara Kimiawi
- Bab 15 Pengendalian Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman (PHT)
- Bab 16 Efek Pestisida Terhadap Lingkungan



YAYASAN KITA MENULIS  
press@kitamenulis.id  
www.kitamenulis.id

