



# Buku Ajar ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN

Selviana Anggraini, SP., MP | Dr. Haliatur Rahma, S.Si., MP  
Rahil Ade Rifqah, SP., MP | Pajri Ananta Yudha, SP., MP  
Indri Yanil Vajri, SP., MP

# **BUKU AJAR ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN**

Penulis : Selviana Anggraini, SP., MP  
Dr. Haliatur Rahma, S.Si., MP  
Rahil Ade Rifqah, SP., MP  
Pajri Ananta Yudha, SP., MP  
Indri Yanil Vajri, SP., MP

Editor : Muhammad Syauqillah

Desain Cover : Muzammil Akbar

Ilustrasi : Gemini

Ukuran: 15.5 x 23 cm; Hal: xvi + 166 (182)

Cetakan I, Januari 2026

ISBN 978-634-7577-06-1



Penerbit

Insight Mediatama

Anggota IKAPI No. 338/JTI/2022

Watesnegoro No. 4 (61385) Mojokerto

Whatsapp 087762245559

[www.insightmediatama.co.id](http://www.insightmediatama.co.id)

© All Rights Reserved Ketentuan Pidana Pasal 112-119 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku ajar Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan (IHPT) ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai bahan ajar utama bagi mahasiswa program studi Agroteknologi dan rumpun ilmu pertanian lainnya, khususnya dalam mendukung pembelajaran berbasis Outcome-Based Education (OBE).

Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan merupakan bidang keilmuan yang memiliki peran strategis dalam menjaga stabilitas produksi pertanian, kualitas hasil, serta keberlanjutan agroekosistem. Tantangan pertanian modern—seperti perubahan iklim, intensifikasi sistem budidaya, munculnya organisme pengganggu tumbuhan (OPT) baru, serta tuntutan pengurangan penggunaan pestisida—menuntut pendekatan pengelolaan OPT yang lebih ilmiah, adaptif, dan bertanggung jawab. Oleh karena itu, buku ajar ini tidak hanya menyajikan konsep dasar, tetapi juga mengintegrasikan perkembangan ilmu dan teknologi terkini dalam perlindungan tanaman.

Buku ajar ini dirancang secara sistematis mulai dari konsep dasar hama dan penyakit tanaman, identifikasi OPT, interaksi tanaman–OPT–lingkungan, epidemiologi dan dinamika serangan, hingga strategi pengendalian terpadu (PHT/IPM) yang berorientasi pada keberlanjutan. Setiap bab dilengkapi dengan capaian pembelajaran mata kuliah (CPMK), uraian konseptual yang mendalam, studi kasus kontekstual, serta panduan praktikum untuk memperkuat kompetensi mahasiswa secara utuh—pengetahuan, keterampilan, dan sikap profesional.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan guna penyempurnaan pada edisi selanjutnya. Besar harapan kami, buku ajar ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pembelajaran IHPT dan menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, serta praktisi di bidang perlindungan tanaman.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan buku ajar ini.

Penulis

## **PRAKATA AKADEMIK**

Buku ajar Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan (IHPT) ini disusun untuk menjawab kebutuhan pembelajaran yang selaras dengan paradigma Outcome-Based Education (OBE) dan tuntutan pertanian berkelanjutan. Dalam kerangka OBE, pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penguasaan materi, tetapi pada pencapaian kompetensi nyata yang dapat diukur dan relevan dengan kebutuhan dunia kerja serta tantangan pembangunan pertanian.

Pendekatan yang digunakan dalam buku ini menempatkan IHPT sebagai ilmu pengambilan keputusan berbasis biologi terapan, ekologi, dan manajemen risiko. Mahasiswa tidak hanya diajak mengenali hama dan penyakit tanaman secara deskriptif, tetapi juga memahami dinamika interaksi tanaman–OPT–lingkungan, menganalisis faktor penyebab ledakan serangan, serta merancang strategi pengelolaan OPT yang efektif, aman, dan bertanggung jawab. Secara akademik, buku ini mengintegrasikan:

1. Landasan konseptual klasik (segitiga penyakit, bioekologi OPT, ambang ekonomi),
2. Pendekatan modern (Integrated Pest Management/Integrated Disease Management),
3. Inovasi teknologi (diagnosis molekuler, biosensor, IoT, kecerdasan buatan),
4. Dimensi etika dan keberlanjutan (keselamatan kerja, lingkungan, dan keadilan sosial).

Struktur buku disusun bertahap dari pemahaman konseptual menuju aplikasi lapangan dan analisis kasus, sehingga mendukung pembelajaran aktif, diskusi kritis, dan praktikum berbasis masalah nyata. Dengan demikian, buku ajar ini diharapkan mampu membekali mahasiswa tidak

hanya sebagai “penghafal OPT”, tetapi sebagai calon profesional pertanian yang memiliki cara berpikir sistemik, ilmiah, dan berorientasi keberlanjutan.

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA AKADEMIK.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>PETA KOMPETENSI.....</b>	<b>xv</b>

### **BAB 1**

<b>PENDAHULUAN ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN (IHPT) .....</b>	<b>1</b>
1.1. Pengertian dan Ruang Lingkup IHPT .....	1
1.2. Peran IHPT dalam Sistem Pertanian Modern....	3
1.3. Urgensi Pengendalian OPT terhadap Ketahanan Pangan .....	5
1.4. Etika dan Tanggung Jawab dalam Pengelolaan OPT.....	6
1.5. Keterkaitan IHPT dengan Pertanian Berkelanjutan.....	7
1.6. Studi Kasus Awal .....	8

### **BAB 2**

<b>KONSEP DASAR HAMA, PENYAKIT DAN KERUSAKAN TANAMAN .....</b>	<b>11</b>
2.1. Definisi Hama Tanaman dan Penyakit Tanaman .....	11
2.2. Perbedaan Kerusakan Akibat Hama dan Penyakit .....	12
2.3. Gejala, Tanda dan Dampak Serangan OPT .....	14
2.4. Konsep Ambang Ekonomi dan Kerugian Hasil	15
2.5. Contoh Kerusakan OPT pada Berbagai Komoditas.....	16

### **BAB 3**

<b>IDENTIFIKASI SERANGGA HAMA TANAMAN.....</b>	<b>18</b>
3.1. Konsep Taksonomi dan Klasifikasi Serangga ...	18
3.2. Ciri Morfologi Serangga Hama .....	19
3.3. Ordo Utama Serangga Hama Tanaman .....	21
3.4. Teknik Identifikasi Lapangan dan Laboratorium .....	24
3.5. Kunci Determinasi Sederhana Serangga Hama.	25
3.6. Identifikasi Serangga Hama Berbasis Morfologi.....	26
3.7. Penutup Bab: Kompetensi Minimum yang Harus “Lulus” .....	28

### **BAB 4**

<b>IDENTIFIKASI PATOGEN PENYAKIT TANAMAN.....</b>	<b>29</b>
4.1. Konsep Penyakit Tanaman .....	29
4.2. Patogen Jamur : Karakteristik dan Contoh.....	30
4.3. Patogen Bakteri : Gejala, Penyebaran dan Bukti Sederhana di Laboratorium .....	31
4.4. Patogen Virus dan Fitoplasma.....	33
4.5. Teknik Diagnosis Penyakit Tanaman.....	35
4.6. Perbedaan Gejala Penyakit Biotik dan Abiotik.	37
4.7. Praktikum : Diagnosis Patogen Berbasis Gejala dan Mikroskop .....	38

### **BAB 5**

<b>INTERAKSI TANAMAN-OPT-LINGKUNGAN .</b>	<b>41</b>
5.1. Pendahuluan: Mengapa Interaksi Menjadi Kunci dalam IHPT.....	41

5.2. Konsep Segitiga Penyakit dalam Perspektif Sistem .....	42
5.3. Faktor Tanaman dalam Interaksi dengan OPT ..	44
5.4. Faktor OPT: Biologi, Adaptasi, dan Dinamika Populasi .....	45
5.5. Faktor Lingkungan dan Agroekosistem .....	46
5.6. Interaksi Biotik dan Abiotik dalam Sistem Pertanian .....	47
5.7. Contoh Dinamika OPT pada Ekosistem Pertanian .....	47
5.8. Tugas: Pembuatan Mind Map Interaksi OPT ....	48

## **BAB 6**

<b>BIOEKOLOGI SERANGGA HAMA TANAMAN.....</b>	<b>49</b>
6.1. Konsep Bioekologi Hama Tanaman.....	49
6.2. Siklus Hidup Serangga dan Dinamika Populasi Hama.....	50
6.3. Perilaku Makan dan Habitat Serangga Hama....	51
6.4. Faktor Lingkungan yang Memengaruhi Populasi Serangga Hama.....	52
6.5. Implikasi Bioekologi dalam Strategi Pengendalian Hama .....	53
6.6. Ringkasan Bab.....	54

## **BAB 7**

<b>EPIDEMIOLOGI PENYAKIT TANAMAN .....</b>	<b>55</b>
7.1. Pengertian Epidemiologi Penyakit Tanaman ....	55
7.2. Sumber Inokulum dan Penyebaran Patogen.....	56
7.3. Pola Perkembangan Penyakit Tanaman .....	59
7.4. Faktor Lingkungan dalam Epidemi Penyakit Tanaman .....	64

7.5. Strategi Pencegahan Berbasis Epidemiologi Penyakit .....	69
7.6. Studi Kasus: Epidemologi Penyakit Tanaman Pangan .....	70
7.7. Ringkasan Bab .....	70

## **BAB 8**

<b>PENGENDALIAN MEKANIS DAN KULTUR TEKNIS .....</b>	<b>72</b>
8.1. Prinsip Pengendalian Mekanis .....	72
8.2. Teknik Kultur Teknis dalam Pengendalian OPT.....	74
8.3. Pengelolaan Tanaman Sehat.....	75
8.4. Keunggulan dan Keterbatasan Metode Non-Kimia .....	75
8.5. Studi Lapangan: Pengendalian Kultur Teknis .....	76
8.6. Ringkasan Bab.....	77

## **BAB 9**

<b>PENGENDALIAN BIOLOGI DAN BIOPESTISIDA .....</b>	<b>79</b>
9.1. Konsep Pengendalian Biologi .....	79
9.2. Musuh Alami OPT .....	80
9.3. Agen Hayati dan Mekanisme Kerja .....	81
9.4. Biopestisida Berbasis Mikroba.....	82
9.5. Rizobakteri sebagai Biofertilizer dan Agen Biokontrol.....	82
9.6. Keunggulan Biopestisida dalam Pertanian Berkelanjutan.....	84
9.7. Praktikum: Uji Hayati Pengendalian Biologis .....	85
9.8. Ringkasan Bab.....	88

## **BAB 10**

### **PENGENDALIAN KIMIA DAN DAMPAKNYA.89**

10.1. Jenis dan Klasifikasi Pestisida.....	89
10.2. Cara Kerja Pestisida .....	90
10.3. Dampak Pestisida terhadap Lingkungan .....	92
10.4. Dampak Pestisida terhadap Kesehatan.....	94
10.5. Resistensi dan Resurgensi Hama.....	95
10.6. Prinsip Penggunaan Pestisida Secara Bijak.....	96
10.7. Ringkasan Bab.....	97

## **BAB 11**

### **KONSEP PENGENDALIAN HAMA TERPADU**

#### **(PHT).....99**

11.1. Pengertian dan Prinsip Dasar Pengendalian Hama Terpadu .....	99
11.2. Komponen Utama dalam Sistem PHT .....	104
11.3. PHT dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan .....	106
11.4. Peran Petani dan Penyuluh dalam Implementasi PHT.....	107
11.5. Tantangan dan Prospek Pengembangan PHT....	108
11.6. Ringkasan Bab.....	108

## **BAB 12**

### **ANALISIS RISIKO PENGGUNAAN**

#### **PESTISIDA .....109**

12.1. Pendahuluan .....	109
12.2. Konsep Risiko dalam Penggunaan Pestisida.....	110
12.3. Analisis Risiko Pestisida Berbasis Data .....	111
12.4. Dampak Ekologis Penggunaan Pestisida.....	112
12.5. Dampak Sosial dan Kesehatan Penggunaan Pestisida.....	113

12.6. Pendekatan Mitigasi Risiko Pestisida.....	114
12.7. Implikasi Analisis Risiko dalam Pengambilan Keputusan Pengendalian OPT .....	114
12.8 Ringkasan Bab .....	115

## **BAB 13**

### **PERANCANGAN STRATEGI IPM PADA KOMODITAS PERTANIAN .....116**

13.1. Pendahuluan: IPM Sebagai Proses Perancangan Strategis.....	116
13.2. Tahapan Perancangan IPM.....	117
13.3. Analisis OPT Spesifik Komoditas.....	119
13.4. Penyusunan Strategi IPM Berbasis Ekosistem..	120
13.5. Contoh Rancangan IPM pada Tanaman Pangan .....	121
13.6. Contoh Rancangan IPM pada Tanaman Hortikultura .....	121
13.7. Project-Based Learning: Proposal IPM Komoditas.....	121
13.8. Ringkasan Bab.....	122

## **BAB 14**

### **PRESENTASI DAN EVALUASI RANCANGAN IPM.....123**

14.1. Pendahuluan: Presentasi dan Evaluasi sebagai Tahap Penentuan Mutu IPM.....	123
14.2. Teknik Presentasi Ilmiah Rancangan IPM .....	124
14.3. Evaluasi Strategi IPM.....	125
14.4. Evaluasi Kritis terhadap Kelemahan Rancangan IPM .....	126
14.5. Penyempurnaan Rekomendasi Pengendalian opt.....	126

14.6. Presentasi dan Evaluasi dalam Konteks Pembelajaran .....	127
14.7. Ringkasan Bab.....	128

## **BAB 15**

<b>PENUTUP.....</b>	<b>129</b>
---------------------	------------

15.1. Ringkasan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	129
15.2. Peran Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan dalam Pertanian Masa Depan .....	130
15.3. Tantangan Pengelolaan OPT Berkelanjutan.....	130
15.4. Peluang dan Arah Pengembangan Pengelolaan OPT Berkelanjutan .....	131
15.5. Penutup Akhir.....	132
15.6. Refleksi Akhir dan Kompetensi Lulusan Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan .....	133

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>135</b>
----------------------------	------------

<b>INDEKS .....</b>	<b>151</b>
---------------------	------------

<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>154</b>
------------------------	------------

<b>PROFIL PENULIS .....</b>	<b>161</b>
-----------------------------	------------

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Alur Identifikasi Serangga Hama Tanaman Berbasis Morfologi .....19
- Gambar 2. Segitiga Penyakit dan Interaksi OPT dalam Agroekosistem .....43
- Gambar 3. Perkembangan Konsep Segitiga Penyakit dari Model Klasik ke Pendekatan Sistemik Modern .....61
- Gambar 4. Jalur Paparan dan Dampak Pestisida terhadap Lingkungan dan Kesehatan.....93
- Gambar 5. Kerangka Pengendalian Hama Terpadu 99

# PETA KOMPETENSI

## Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) – Subbab

### CPMK 1

- Memahami konsep dasar IHPT
  - Bab 1: Pendahuluan IHPT
    - Pengertian & ruang lingkup IHPT
    - Peran IHPT dalam pertanian modern
    - Urgensi pengendalian OPT & ketahanan pangan
    - Etika dan tanggung jawab pengelolaan OPT
  - Bab 2: Konsep dasar hama, penyakit, dan kerusakan tanaman
    - Definisi hama & penyakit tanaman
    - Perbedaan kerusakan akibat hama dan penyakit
    - Gejala, tanda, dan dampak serangan OPT
    - Konsep ambang ekonomi dan kerugian hasil

### CPMK 2

- Mengidentifikasi OPT secara morfologi dan diagnostik
  - Bab 3: Identifikasi serangga hama tanaman
    - Taksonomi dan morfologi serangga
    - Ordo utama serangga hama
    - Teknik identifikasi lapangan & laboratorium
    - Praktikum identifikasi serangga hama
  - Bab 4: Identifikasi patogen penyakit tanaman
    - Jamur, bakteri, virus, dan fitoplasma
    - Diagnosis gejala dan tanda penyakit
    - Teknik diagnosis klasik dan modern
    - Praktikum diagnosis patogen tanaman

### CPMK 3

- ├─ Menganalisis interaksi tanaman–OPT–lingkungan
  - └─ Bab 5: Interaksi tanaman–OPT–lingkungan
    - ├─ Segitiga penyakit dan pendekatan sistem
    - ├─ Faktor tanaman, OPT, dan lingkungan
    - └─ Pengaruh iklim dan agroekosistem

### CPMK 4

- ├─ Menjelaskan dampak dan risiko pengendalian OPT
  - └─ Bab 6–Bab 10\*
    - ├─ Pengendalian kimia dan dampaknya
    - ├─ Resistensi dan resurgensi OPT
    - └─ Analisis risiko lingkungan dan kesehatan

### CPMK 5

- ├─ Merancang strategi pengendalian OPT berkelanjutan
- ├─ Bab 11–Bab Penutup\*
- ├─ Konsep dan prinsip PHT/IPM
- ├─ PHT dalam sistem pertanian berkelanjutan
- ├─ Studi kasus dan aplikasi lapangan
- └─ Sintesis dan refleksi kompetensi akhir

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN ILMU HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN (IHPT)**

*(Pertemuan 1 – CPMK 1)*

### **1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup IHPT**

Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan (IHPT) adalah bidang ilmu terapan dalam rumpun perlindungan tanaman yang mempelajari organisme pengganggu tumbuhan (OPT)—terutama hama (misalnya serangga, tungau, nematoda, moluska, vertebrata tertentu) dan patogen penyebab penyakit (jamur, bakteri, virus/viroid, fitoplasma)—serta interaksinya dengan tanaman inang dan lingkungan, berikut prinsip-prinsip pengelolaan untuk menekan kerugian ekonomi, ekologis, dan sosial yang ditimbulkan. Dalam kerangka modern, IHPT tidak hanya memotret “serangan” sebagai kejadian biologis, tetapi sebagai hasil interaksi dinamis antara tanaman–OPT–lingkungan–praktik budidaya–kebijakan yang membentuk risiko, intensitas, dan dampak serangan.

Ruang lingkup IHPT dapat dipahami melalui beberapa lapisan kajian:

#### **1. Biologi dan ekologi OPT**

IHPT mempelajari siklus hidup, perilaku makan/infeksi, dinamika populasi, mekanisme adaptasi (termasuk resistensi terhadap pestisida), serta keterkaitan OPT dengan faktor iklim mikro, fenologi tanaman, dan struktur lanskap pertanian. Perubahan iklim, misalnya, dapat memperpanjang periode aktivitas serangga, mempercepat perkembangan generasi, memperluas sebaran geografis, dan memicu ledakan populasi yang lebih sulit diprediksi,

# **BAB 2**

## **KONSEP DASAR HAMA, PENYAKIT, DAN KERUSAKAN TANAMAN**

*(Pertemuan 2 – CPMK 1)*

### **2.1 Definisi Hama Tanaman dan Penyakit Tanaman**

#### **2.1.1 Hama tanaman**

Dalam ilmu perlindungan tanaman modern, hama tanaman didefinisikan sebagai organisme—umumnya hewan—yang pada tingkat populasi tertentu menimbulkan kerugian ekonomi, ekologis, atau sosial pada tanaman budidaya melalui aktivitas biologisnya. Definisi ini menekankan bahwa status “hama” bersifat kontekstual, bukan inheren pada organisme itu sendiri. Serangga, misalnya, merupakan komponen alami agroekosistem; namun ketika populasinya meningkat hingga melewati kapasitas toleransi tanaman atau sistem produksi, organisme tersebut dikategorikan sebagai hama (Pretty et al., 2022b).

Pendekatan ini berbeda dari paradigma lama yang memandang semua serangga herbivora sebagai musuh yang harus dimusnahkan. Literatur mutakhir menegaskan bahwa banyak organisme yang sebelumnya dianggap hama dapat berperan netral atau bahkan menguntungkan ketika keseimbangan ekosistem terjaga. Ketidakseimbangan sering dipicu oleh praktik budidaya intensif, homogenitas varietas, dan penggunaan pestisida spektrum luas yang mengganggu regulasi alami populasi (Harrison et al., 2023).

Hama tanaman mencakup beberapa kelompok utama, antara lain serangga, tungau, nematoda parasit, serta vertebrata tertentu seperti tikus dan burung. Berdasarkan cara merusaknya, hama dapat diklasifikasikan sebagai hama pengunyah,

# BAB 3

## IDENTIFIKASI SERANGGA HAMA TANAMAN

*(Pertemuan 3 – CPMK 2)*

### 3.1 Konsep Taksonomi dan Klasifikasi Serangga

Taksonomi adalah ilmu tentang penamaan, penggolongan, dan identifikasi organisme; sedangkan sistematika menekankan hubungan kekerabatan (filogeni) yang mendasari klasifikasi. Dalam konteks IHPT, taksonomi bukan sekadar “hafalan nama ordo”, tetapi alat untuk membuat keputusan pengendalian: salah identifikasi dapat berujung pada salah strategi (misalnya memilih insektisida yang tidak efektif, salah memasang perangkap, atau salah menilai risiko vektor penyakit). Kerangka modern mendorong identifikasi berbasis bukti: karakter morfologi yang konsisten, dokumentasi foto, dan bila perlu dukungan data molekuler/“barcode” untuk kelompok yang mirip secara visual atau pada stadium yang sulit (larva/nimfa) (Meier & others, 2024).

Klasifikasi serangga mengikuti hierarki (kingdom–filum–kelas–ordo–famili–genus–spesies). Untuk praktikum IHPT, level yang paling sering dipakai di lapangan adalah ordo dan famili, karena sudah cukup untuk menentukan arah pengendalian (misalnya: Lepidoptera = larva pengunyah; Hemiptera = pengisap; Diptera = pengorok/larva tertentu; Coleoptera = kumbang pengunyah/penggerek). Namun, pada kasus tertentu (misal hama karantina, vektor penyakit, atau hama gudang), identifikasi sampai spesies menjadi penting.

Dalam dekade terakhir, taksonomi semakin mengarah ke integrative taxonomy: menggabungkan morfologi, ekologi, perilaku, sebaran, dan data genetik. Pendekatan ini penting

# **BAB 4**

## **IDENTIFIKASI PATOGEN PENYAKIT TANAMAN**

*(Pertemuan 4 – CPMK 2)*

### **4.1 Konsep Penyakit Tanaman (cara berpikir patologi modern)**

Penyakit tanaman adalah kondisi terganggunya fungsi normal tanaman yang menyebabkan penurunan pertumbuhan, produktivitas, dan/atau kualitas hasil. Dalam patologi modern, “penyakit” dipahami bukan sekadar gejala visual, melainkan hasil interaksi dinamis antara inang (tanaman), agen penyebab (patogen), dan lingkungan—ditambah faktor budidaya (varietas, pemupukan, irigasi, jarak tanam, sanitasi, dan penggunaan pestisida). Kerangka ini penting karena dua tanaman dengan patogen yang sama dapat menunjukkan tingkat keparahan berbeda jika kondisi lingkungan dan praktik budidayanya berbeda (Venbrux & others, 2023).

Dalam konteks IHPT, diagnosis penyakit harus menjawab tiga pertanyaan praktis: (1) Apa penyebab utamanya? (2) Bagaimana cara penyebarannya? (3) Titik intervensi mana yang paling efektif dan paling aman? Pendekatan diagnosis modern menekankan integrasi metode: pengamatan gejala/tanda, riwayat lahan, pemeriksaan mikroskopis, uji cepat (serologi/isotermal), hingga deteksi molekuler dan sekuensing bila dibutuhkan (Sharma & others, 2024; Venbrux & others, 2023).

Mengapa konsep ini krusial? Karena banyak kesalahan lapang berasal dari “diagnosis instan” hanya berdasarkan tampilan daun. Padahal, gejala seperti menguning, bercak, atau layu bisa disebabkan patogen (jamur/bakteri/virus/fitoplasma)

# **BAB 5**

## **INTERAKSI TANAMAN – OPT – LINGKUNGAN**

*(Pertemuan 5 – CPMK 3)*

### **5.1 Pendahuluan: Mengapa Interaksi Menjadi Kunci dalam IHPT**

Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) tidak dapat dipahami secara terpisah dari sistem tempat mereka berkembang. Dalam agroekosistem nyata, kejadian serangan hama dan penyakit tanaman merupakan hasil dari interaksi simultan antara tanaman inang, OPT, dan lingkungan, yang dipengaruhi pula oleh praktik budidaya manusia. Pendekatan reduksionis yang hanya memusatkan perhatian pada satu komponen—misalnya patogen atau hama semata—sering gagal menjelaskan mengapa suatu serangan menjadi berat di satu lokasi tetapi ringan di lokasi lain, meskipun jenis OPT yang terlibat sama (Y. Zhang et al., 2023).

IHPT modern menempatkan interaksi sistemik sebagai dasar pengambilan keputusan. Hal ini sejalan dengan perkembangan ilmu ekologi penyakit dan hama, yang menunjukkan bahwa perubahan kecil pada satu komponen (misalnya kelembapan mikro atau stres nutrisi tanaman) dapat mengubah seluruh dinamika serangan OPT. Studi terbaru menunjukkan bahwa pendekatan berbasis sistem lebih efektif dalam memprediksi risiko serangan dan merancang strategi pengelolaan berkelanjutan dibanding pendekatan berbasis input kimia semata (Burdon & Zhan, 2020a).

Dalam konteks perubahan iklim global dan intensifikasi pertanian, interaksi tanaman–OPT–lingkungan menjadi semakin kompleks. Variabilitas iklim, degradasi tanah, dan

# BAB 6

## BIOEKOLOGI SERANGGA HAMA TANAMAN

*(Pertemuan 6 – CPMK 3)*

### 6.1 Konsep Bioekologi Hama Tanaman

Bioekologi serangga hama tanaman adalah kajian yang mengintegrasikan aspek biologis serangga dengan kondisi ekologi tempat serangga tersebut hidup, termasuk tanaman inang, faktor iklim, serta interaksi dengan organisme lain di dalam agroekosistem. Dalam konteks IHPT modern, bioekologi dipandang sebagai fondasi ilmiah untuk memahami mengapa suatu serangga menjadi hama pada waktu dan tempat tertentu, bukan sekadar mengidentifikasi jenis serangganya (Dent & Binks, 2021).

Pendekatan bioekologi menekankan bahwa serangga herbivora merupakan komponen alami ekosistem pertanian. Populasi serangga tersebut umumnya berada pada tingkat rendah dan stabil, tetapi dapat berubah menjadi hama ketika terjadi ketidakseimbangan ekosistem, misalnya akibat monokultur luas, penggunaan pestisida yang berlebihan, atau perubahan iklim mikro (Altieri et al., 2022). Oleh karena itu, konsep “hama” bersifat relatif dan kontekstual, sangat dipengaruhi oleh dinamika lingkungan dan sistem budidaya.

Literatur terbaru menegaskan bahwa bioekologi hama harus dipahami dalam kerangka agroekologi, yaitu pendekatan yang memandang sistem pertanian sebagai ekosistem buatan yang tunduk pada hukum ekologi yang sama dengan ekosistem alami (Wezel & others, 2023). Dengan sudut pandang ini, pengendalian hama tidak lagi berorientasi pada pemusnahan, tetapi pada pengelolaan populasi agar tetap berada di bawah tingkat yang merugikan secara ekonomi dan ekologis.

# BAB 7

## EPIDEMIOLOGI PENYAKIT TANAMAN

(Pertemuan 7 – CPMK 3)

### 7.1 Pengertian Epidemiologi Penyakit Tanaman

Epidemiologi penyakit tanaman adalah cabang ilmu patologi tumbuhan yang mempelajari kejadian, penyebaran, dan perkembangan penyakit tanaman dalam populasi tanaman dari waktu ke waktu dan ruang, serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Berbeda dengan patologi klasik yang berfokus pada interaksi patogen–inang pada tingkat individu, epidemiologi menempatkan penyakit sebagai fenomena populasi dan sistem (Madden, Paul, & van den Bosch, 2022).

Dalam konteks pertanian, epidemiologi penyakit tanaman bertujuan menjawab pertanyaan praktis: *kapan, di mana, mengapa, dan seberapa cepat* penyakit berkembang hingga menimbulkan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, epidemiologi menjadi fondasi ilmiah dalam penyusunan strategi pengendalian penyakit yang rasional, efisien, dan berkelanjutan, terutama dalam kerangka Integrated Disease Management (IDM).

Literatur mutakhir menegaskan bahwa epidemiologi penyakit tanaman semakin penting di tengah perubahan iklim, intensifikasi pertanian, dan globalisasi perdagangan. Perubahan suhu dan pola curah hujan telah menggeser dinamika banyak penyakit tanaman, memperpanjang periode infeksi, dan meningkatkan risiko epidemi pada tanaman pangan utama (Savary, Willocquet, Pethybridge, et al., 2022). Dengan demikian, pemahaman epidemiologi tidak lagi bersifat akademik semata, melainkan menjadi alat strategis dalam pengelolaan risiko produksi pangan.

# **BAB 8**

## **PENGENDALIAN MEKANIS DAN KULTUR TEKNIS**

*(Pertemuan 9 – CPMK 4)*

Pengendalian mekanis dan kultur teknis merupakan pendekatan dasar dalam pengelolaan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) yang berfokus pada pencegahan dan pengurangan populasi OPT melalui manipulasi fisik dan praktik budidaya. Pendekatan ini menempati posisi penting dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT/IPM) karena relatif aman, ramah lingkungan, dan dapat diterapkan sejak awal sistem produksi tanpa ketergantungan pada input kimia.

Dalam praktik IPM, pengendalian mekanis dan kultur teknis berperan sebagai lapisan pertama pengendalian, yang bertujuan menurunkan risiko serangan OPT sebelum intervensi lain diperlukan. Keberhasilan pendekatan ini sangat dipengaruhi oleh pemahaman bioekologi OPT dan keterkaitannya dengan kondisi budidaya.

### **8.1 Prinsip Pengendalian Mekanis**

Pengendalian mekanis merupakan upaya pengendalian OPT melalui tindakan fisik secara langsung terhadap organisme sasaran atau lingkungannya. Prinsip utama pengendalian mekanis adalah mengganggu siklus hidup OPT atau mengurangi populasinya secara langsung tanpa memicu dampak ekologis yang luas.

Bentuk pengendalian mekanis meliputi pengambilan manual hama, pemusnahan bagian tanaman yang terserang, pemasangan perangkap, penggunaan mulsa fisik, serta pengolahan tanah tertentu yang bertujuan mematikan stadia

# **BAB 9**

## **PENGENDALIAN BIOLOGI DAN BIOPESTISIDA**

*(Pertemuan 10 – CPMK 4)*

### **9.1 Konsep Pengendalian Biologi**

Pengendalian biologi merupakan strategi pengelolaan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang memanfaatkan organisme hidup atau produk biologisnya untuk menekan populasi hama dan patogen hingga berada di bawah ambang kerugian ekonomi. Pendekatan ini berlandaskan prinsip ekologi bahwa populasi organisme dalam suatu agroekosistem secara alami diregulasi melalui berbagai interaksi biologis, seperti predasi, parasitisme, kompetisi, dan patogenesis, yang bekerja secara dinamis dan berkelanjutan (Pertot & others, 2022).

Dalam konteks pertanian modern, pengendalian biologi semakin diposisikan sebagai komponen inti dalam Pengendalian Hama Terpadu (PHT/IPM). Hal ini didorong oleh meningkatnya bukti ilmiah bahwa ketergantungan jangka panjang terhadap pestisida kimia sintetis berkontribusi terhadap munculnya resistensi OPT, resurgensi populasi hama, penurunan keanekaragaman hayati, serta degradasi kualitas lingkungan dan kesehatan manusia (Glare & others, 2022; Pretty & Bharucha, 2022). Berbeda dengan pengendalian kimia yang bersifat reaktif dan sering berorientasi jangka pendek, pengendalian biologi bersifat preventif, adaptif, dan berkelanjutan, karena memanfaatkan mekanisme regulasi alami yang mampu bekerja stabil dalam jangka panjang (Karp & others, 2022).

Secara operasional, pengendalian biologi diklasifikasikan ke dalam tiga pendekatan utama, yaitu konservasi musuh alami,

# **BAB 10**

## **PENGENDALIAN KIMIA DAN DAMPAKNYA**

*(Pertemuan 11 – CPMK 4)*

Pengendalian kimia dengan pestisida masih menjadi salah satu pilar utama dalam perlindungan tanaman karena mampu menekan populasi hama, patogen, dan gulma secara cepat pada skala luas. Namun, pemanfaatan pestisida selalu membawa konsekuensi: selain manfaat berupa penurunan kehilangan hasil, terdapat risiko ekologis dan kesehatan yang meningkat bila penggunaan tidak tepat. Literatur mutakhir menegaskan bahwa tantangan terbesar saat ini bukan sekadar “apakah pestisida diperlukan”, melainkan bagaimana menggunakannya secara rasional, aman, dan terintegrasi agar kerugian ekologis dan kesehatan dapat diminimalkan (Muñoz-Bautista & others, 2025; Y. Zhou, 2025).

Bab ini membahas secara komprehensif jenis dan klasifikasi pestisida, cara kerja (mode of action), dampak terhadap lingkungan dan kesehatan, fenomena resistensi dan resurgensi, serta prinsip penggunaan pestisida secara bijak sebagai bagian dari pengelolaan OPT terpadu.

### **10.1 Jenis dan Klasifikasi Pestisida**

Secara praktis, pestisida diklasifikasikan berdasarkan organisme sasaran, yaitu: insektisida (serangga), akarisisida (tungau), fungisida (jamur), bakterisida (bakteri), herbisida (gulma), rodentisida (hewan pengerat), nematisida (nematoda), dan moluskisida (siput/keong). Klasifikasi ini penting karena menentukan target aplikasi, teknik aplikasi, risiko non-target,

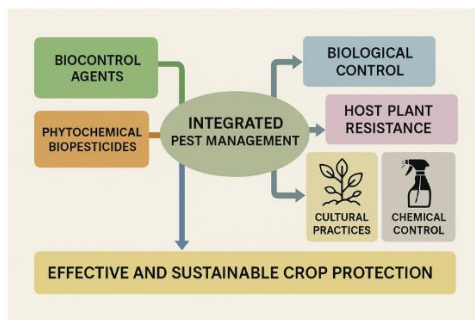
# BAB 11

## KONSEP PENGENDALIAN HAMA TERPADU (PHT)

(Pertemuan 12 – CPMK 5)

### 11.1 Pengertian dan Prinsip Dasar Pengendalian Hama Terpadu

Pengendalian Hama Terpadu (PHT) merupakan pendekatan pengelolaan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang menekankan integrasi berbagai teknik pengendalian secara harmonis berdasarkan prinsip ekologi, ekonomi, dan keberlanjutan. PHT tidak bertujuan memusnahkan OPT secara total, melainkan mengelola populasinya agar tetap berada di bawah tingkat yang menimbulkan kerugian ekonomi, dengan tetap menjaga keseimbangan agroekosistem (Pretty et al., 2022b). Pengendalian Hama Terpadu (PHT) mengintegrasikan pencegahan, monitoring, ambang ekonomi, pengendalian hayati, kultur teknis, varietas tahan, serta penggunaan pestisida secara bijak sebagai pilihan terakhir (Gambar 5).



**Gambar 5.** Kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT/IPM)

**Sumber:** Diadaptasi dari (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018; Kogan, 1998).

# **BAB 12**

## **ANALISIS RISIKO PENGGUNAAN PESTISIDA**

*(Pertemuan 13 – CPMK 5)*

### **12.1 Pendahuluan**

Pestisida merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pertanian modern karena perannya dalam menekan populasi organisme pengganggu tumbuhan (OPT) secara cepat dan efektif. Namun, seiring dengan meningkatnya intensifikasi pertanian dan frekuensi penggunaan pestisida, muncul berbagai persoalan baru yang berkaitan dengan dampak lingkungan, kesehatan manusia, dan keberlanjutan sistem produksi. Kondisi ini mendorong berkembangnya pendekatan ilmiah yang tidak hanya menilai efektivitas pestisida, tetapi juga mengevaluasi risiko yang menyertainya.

Dalam konteks perlindungan tanaman modern, penggunaan pestisida tidak lagi dipandang sebagai tindakan teknis semata, melainkan sebagai keputusan berbasis risiko. Artinya, setiap aplikasi pestisida harus mempertimbangkan keseimbangan antara manfaat pengendalian OPT dan potensi dampak negatif yang ditimbulkan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) dan kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT/IPM), yang menempatkan pestisida sebagai pilihan terakhir setelah alternatif pengendalian lain dipertimbangkan secara optimal (Damalas & Koutroubas, 2021).

Analisis risiko penggunaan pestisida menjadi sangat penting karena dampaknya bersifat lintas sektor dan jangka panjang. Risiko tersebut tidak hanya dirasakan oleh petani sebagai pengguna langsung, tetapi juga oleh konsumen,

# **BAB 13**

## **PERANCANGAN STRATEGI IPM PADA KOMODITAS PERTANIAN**

*(Pertemuan 14–15 – CPMK 6)*

### **13.1 Pendahuluan: IPM Sebagai Proses Perancangan Strategis**

Integrated Pest Management (IPM) atau Pengendalian Hama Terpadu (PHT) merupakan pendekatan pengelolaan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) yang menempatkan agroekosistem sebagai satu kesatuan sistem biologis, ekologis, dan sosial. IPM tidak dirancang sebagai paket teknologi yang bersifat seragam, melainkan sebagai strategi adaptif yang harus disesuaikan dengan karakteristik komoditas, OPT sasaran, lingkungan tumbuh, serta kapasitas pengelola lahan. Oleh karena itu, keberhasilan IPM sangat ditentukan oleh kualitas perancangannya, bukan hanya oleh pilihan metode pengendalian yang digunakan.

Dalam praktik pertanian, banyak kegagalan IPM disebabkan oleh pendekatan yang bersifat parsial, seperti penerapan satu atau dua komponen IPM tanpa diagnosis yang memadai terhadap sistem produksi. Literatur mutakhir menegaskan bahwa IPM yang efektif harus dibangun melalui proses perancangan yang sistematis, berbasis data lapang, dan berorientasi pada fungsi ekosistem, bukan sekadar pengurangan penggunaan pestisida (Barzman et al., 2020; Pretty et al., 2022b).

Bab ini membahas secara rinci bagaimana merancang strategi IPM pada komoditas pertanian, mulai dari tahapan

# **BAB 14**

## **PRESENTASI DAN EVALUASI RANCANGAN IPM**

*(Pertemuan 15 – CPMK 6)*

### **14.1 Pendahuluan: Presentasi dan Evaluasi sebagai Tahap Penentuan Mutu IPM**

Integrated Pest Management (IPM) merupakan pendekatan pengelolaan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) yang bersifat dinamis dan adaptif. Oleh karena itu, kualitas suatu rancangan IPM tidak hanya ditentukan oleh ketepatan analisis bioekologi dan pemilihan strategi pengendalian, tetapi juga oleh kemampuan untuk mengomunikasikan rancangan tersebut secara ilmiah serta mengevaluasi efektivitasnya secara kritis. Presentasi dan evaluasi menjadi tahap penentu apakah IPM yang dirancang layak diimplementasikan, dimodifikasi, atau bahkan ditolak.

Dalam praktik profesional, rancangan IPM jarang diterapkan tanpa melalui proses diskusi, penilaian sejawat, dan evaluasi berbasis indikator kinerja. Studi terbaru dalam pengelolaan pertanian berkelanjutan menegaskan bahwa keberhasilan IPM sangat dipengaruhi oleh kualitas proses refleksi dan umpan balik yang diperoleh melalui presentasi dan evaluasi sistematis (Lefebvre et al., 2021). Oleh karena itu, mahasiswa perlu memahami bahwa presentasi dan evaluasi bukan sekadar aktivitas akademik, melainkan bagian integral dari manajemen IPM yang bertanggung jawab.

Bab ini membahas prinsip dan teknik presentasi ilmiah rancangan IPM, kerangka evaluasi strategi IPM, serta

# **BAB 15**

## **PENUTUP**

### **15.1 Ringkasan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah IHPT**

Mata kuliah Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan (IHPT) dirancang untuk membekali mahasiswa dengan pemahaman konseptual, kemampuan analitis, serta keterampilan aplikatif dalam mengelola organisme pengganggu tumbuhan (OPT) secara ilmiah dan berkelanjutan. Sepanjang perkuliahan, mahasiswa telah mempelajari OPT tidak hanya sebagai penyebab kerugian produksi, tetapi sebagai bagian dari sistem agroekosistem yang kompleks dan dinamis.

Capaian pembelajaran mata kuliah ini tercermin dari kemampuan mahasiswa dalam memahami konsep dasar IHPT, mulai dari klasifikasi dan bioekologi hama dan patogen, interaksi tanaman–OPT–lingkungan, hingga dinamika populasi dan faktor-faktor yang memengaruhi ledakan OPT. Mahasiswa juga dibekali kemampuan menganalisis dampak penggunaan pestisida, termasuk risiko ekologis, kesehatan, dan sosial, sehingga mampu menilai secara kritis praktik pengendalian konvensional.

Lebih lanjut, mahasiswa telah dilatih untuk merancang strategi Pengendalian Hama Terpadu (PHT/IPM) yang berbasis data, berbasis ekosistem, dan adaptif terhadap kondisi lokal. Melalui pendekatan project-based learning, mahasiswa tidak hanya memahami teori IPM, tetapi juga mampu menerjemahkannya ke dalam rancangan operasional yang mencakup monitoring, penetapan ambang keputusan, pemilihan taktik pengendalian, serta evaluasi dan penyempurnaan strategi. Dengan demikian, capaian pembelajaran IHPT tidak berhenti pada penguasaan pengetahuan, tetapi berkembang menjadi kompetensi profesional dalam pengelolaan OPT.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aglietti, C., & others. (2024). LAMP reaction in plant disease surveillance: Applications and future perspectives. *Life*, 14(12), 1549. <https://doi.org/10.3390/life14121549>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Al-Shahari, E. A., Aldehim, G., Aljebreen, M., Alqurni, J. S., Salama, A. S., & Abdelbagi, S. (2025). Sustainable plant disease management with real-time crop optimization using IoT and deep learning. *Engineering, Technology & Applied Science Research*.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2022). Agroecology and the redesign of sustainable agroecosystems. *Agronomy*, 12, 1317. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061317>
- Anggraini, S. (2020). Potensi rizobakteri sebagai biofertilizer dalam memacu pertumbuhan mentimun (*Cucumis sativus* L.). *Jurnal Agrohita*, 5(2), 155–167.
- Anggraini, S., Fahrudin, A., Restiani, S., & Kusmari, D. P. (2025). Sinergi Biochar dan Agen Hayati dalam Rehabilitasi Lahan serta Peningkatan Produktivitas Tanaman: Systematic Literature Review (SLR). *Jurnal Agroteknologi Dan Pertanian (JURAGAN)*, 6(1), 14–27.
- Anggraini, S., Murtini, S., Khairunnisa, P., & Ansiska, P. (2025). Biokonversi limbah pertanian menjadi biopestisida rizobakteri antifungal. *Jurnal Agroqua*, 23(2), 248–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.32663/ja.v23i2.5386>
- Anggraini, S., Trisno, J., & Tizelia, T. (2020). Potensi Rizobakteri Indigenus sebagai Agens Biokontrol Jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Penyebab Penyakit Layu Tanaman Pisang. *Jurnal Agroteknologi Dan Pertanian (JURAGAN)*, 1(1), 8–16.
- Backus, E. A., & others. (2021). Leafhopper feeding behavior and plant injury. *Annual Review of Entomology*, 66, 369–388. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043319>
- Barbosa Junior, F., & others. (2024). Pesticide exposure and

- suicide risk among agricultural workers. *Environmental Research*, 240, 117923.
- Barszczewska, K. (2025). Synergistic interactions of entomopathogens in pest control. *Biological Control*, 186, 105303.
- Barzman, M., Bàrberi, P., & Birch, A. N. E. (2020). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00618-2>
- Bebber, D. P., Field, E., Gui, H., Mortimer, P., & Holmes, T. (2021). Pathogens and global crop production. *Nature Plants*, 7(11), 1391–1400. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00998-9>
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tscharrntke, T. (2021). Measuring the performance of integrated pest management: Indicators and challenges. *Biological Control*, 152, 104402. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104402>
- Bregaglio, S., & others. (2022). Crop management effects on plant disease epidemics. *Agricultural Systems*.
- Burdon, J. J., Barrett, L. G., Rebetzke, G., & Thrall, P. H. (2021). Guiding deployment of resistance in cereals using evolutionary principles. *Evolutionary Applications*, 14(7), 1690–1703. <https://doi.org/10.1111/eva.13215>
- Burdon, J. J., & Zhan, J. (2020a). Climate change and disease in plant communities. *PLoS Biology*, 18(11), e3000949. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000949>
- Burdon, J. J., & Zhan, J. (2020b). Climate change and plant disease epidemics. *Plant Pathology*.
- Calderon, C., & others. (2023). Irrigation water as a pathway for dispersal of plant pathogens in agroecosystems. *Plant Disease / Crop Protection (Various)*.
- Callohuari, Y. T., Seiter, N. J., Gibson, J. C., Becker, T. M., & Kaufmann, S. (2025). The use of 3D models in teaching insect morphology and identification: A case study. *Journal of Integrated Pest Management*, 16(1), 32. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaf031>

- Chaloner, T. M., Gurr, S. J., & Bebbler, D. P. (2021). Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *Nature Climate Change*, *11*(8), 710–715. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01087-8>
- Chapman, R. F. (2013). *The Insects: Structure and Function* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Chatterjee, P., & others. (2023). Mechanisms of PGPR-mediated plant growth promotion and biocontrol. *Agronomy*, *13*, 145.
- Cooper, J., & others. (2025). Current methods and future needs for visible and non-visible detection of abiotic and biotic stress responses in plants. *Frontiers in Plant Science*.
- Cotter, A., & others. (2024). Isothermal detection methods for fungal pathogens in controlled environment agriculture: Advances and challenges. *Plant Disease*.
- Cullen, M., & others. (2025). Wind-driven rain splash dispersal and implications for disease gradients in crop fields. *Plant Pathology / Phytopathology (Various)*.
- Cunniffe, N. J., & others. (2021). Epidemiological modelling for plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*.
- D'iaz, H., McCampbell, M., & Clark, J. (2020). Communicating agricultural science for better decision-making. *Outlooks on Agriculture*, *49*(4), 277–285. <https://doi.org/10.1177/0030727020949225>
- Dainese, M., & others. (2024). Landscape complexity shapes pest control and crop productivity. *Nature Ecology and Evolution*, *8*(2), 256–266. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02262-3>
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2016). Farmers' exposure to pesticides: Toxicity types and ways of prevention. *Toxicology Letters*, *210*(2), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.11.003>
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2021). Farmers' exposure to pesticides: Toxicity types and ways of prevention. *Toxics*, *9*(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/toxics9010001>
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., & Flor, R. J. (2021).

- Agroecological crop protection: Concepts and challenges. *Advances in Agronomy*, 165, 1–42. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.10.001>
- Dent, D., & Binks, R. (2021). *Insect Pest Management* (3rd ed.). CABI.
- Deutsch, C. A., & others. (2023). Climate change and insect population growth. *Science*, 381, 122–127. <https://doi.org/10.1126/science.adg3261>
- Ehler, L. E. (2022). Integrated pest management: Retrospect and prospect. *Journal of Integrated Pest Management*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmac001>
- El Afandi, G., & Irfan, M. (2024). Pesticides risk assessment review: Status, modeling approaches, and future perspectives. *Agronomy*, 14(10), 2299. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102299>
- European Food Safety Authority. (2022). *Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products* (Vol. 20, Issue 1, p. 7039). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7039>
- Fantke, P., Aurisano, N., & Bare, J. (2022). Advancing exposure assessment models for pesticide risk analysis. *Environmental Science & Technology*, 56(3), 1463–1474. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04733>
- Fones, H., & others. (2020). Stress interactions in plants: Disease resistance in a changing environment. *Annual Review of Phytopathology*, 58, 313–333. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-010820-012817>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Integrated Pest Management*.
- Food, & of the United Nations, A. O. (2023). *Annual Report on Global Plant Health and Fungal Pathogen Impact*.
- FRAC. (2024). *FRAC Code List*.
- Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F., & Reitz, T. (2021). Crop health and soil microbial functions. *Applied Soil Ecology*, 162, 103907. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103907>

- Frengidou, A., & others. (2024). Depression symptoms and pesticide exposure in farming communities. *Journal of Affective Disorders*, *340*, 112–121.
- Ge, H., & others. (2025). Specific nested PCR for the detection of 16SrI and 16SrII phytoplasmas in areca palms. *Plants*, *14*(14), 2144. <https://doi.org/10.3390/plants14142144>
- Geiger, F., & others. (2021). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity. *Science*, *372*, 81–86. <https://doi.org/10.1126/science.abe9877>
- Gent, D. H., & others. (2021). Forecasting plant disease epidemics and management decision support. *Phytopathology*.
- Glare, T. R., & others. (2022). Biopesticides: global development and future prospects. *BioControl*, *67*, 1–14.
- Gong, X. Y. (2025). Recent application of CRISPR/Cas in plant disease detection. *Trends in Food Science and Technology*.
- Gonthier, D. J., & others. (2023). Diversification strategies in agroecosystems and pest suppression. *Ecological Applications*, *33*(5), e2743. <https://doi.org/10.1002/eap.2743>
- Goulson, D., Thompson, J., & Croombs, A. (2021). Pesticides and pollinators: A growing global concern. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *50*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.007>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The Insects: An Outline of Entomology* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Gullino, M. L., & others. (2022). Soilborne plant pathogens: persistence, spread, and management options. *Annual Review of Phytopathology / Plant Disease (Various)*.
- Gurr, G. M., & others. (2021). Habitat management for biological control. *Biological Control*, *157*, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104553>
- Gurr, G. M., & others. (2023). Integrated pest management: ecological foundations and future directions. *Annual Review of Entomology*, *68*, 373–395.
- Harman, G. E., & others. (2021). Trichoderma–plant interactions and biocontrol. *Plant Disease*, *105*, 1–12.

- Harrison, R. D., Shackleton, C. M., & Mertz, O. (2023). Agroecology and pest regulation in diversified farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 43, 54. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00873-7>
- Harrison, R. D., Thies, C., & Tschardtke, T. (2022). Monitoring pest populations to improve integrated pest management decisions. *Journal of Applied Ecology*, 59(8), 1965–1976. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14192>
- Hébert, C., & others. (2025). Large-scale integrative taxonomy of the smallest insects reveals astonishing temperate diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences / Open Access*.
- Heong, K. L., Wong, L., Reyes, J. H. D., & Chien, H. V. (2022). Crop synchrony and pest population regulation in rice-based systems. *Outlooks on Agriculture*, 51(2), 93–101. <https://doi.org/10.1177/00307270221077642>
- Horgan, F. G., Ramal, A. F., & Bentur, J. S. (2021). Mechanical and cultural pest control in rice systems. *Crop Protection*, 145, 105608. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105608>
- Hossain, M. M., & others. (2024). Plant disease dynamics in a changing climate: impacts, risks, and adaptation. *Plant Disease / Reviews (Various)*.
- HRAC. (2024). *Herbicide Mode of Action Classification*.
- Huber, D. M., Römheld, V., & Weinmann, M. (2022). Nutrient management and plant disease interactions. *Plant Disease*.
- Hufbauer, R. A., & others. (2022). Rapid evolution of insect pests. *Annual Review of Entomology*, 67, 337–354. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061621-023628>
- Huot, B., & others. (2021). Growth--defense tradeoffs in plants: A balancing act. *Molecular Plant*, 14(4), 615–630. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.02.002>
- IRAC. (2024). *Mode of Action Classification Scheme*.
- Jactel, H., & others. (2021). Insect--plant interactions under climate change. *Annual Review of Entomology*, 66, 943–962. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-074947>
- Jaybhaye, S. G., & others. (2024). CRISPR-Cas assisted diagnostics of plant viruses and allied innovations. *Virus*

*Research.*

- Kanapiya, A., & others. (2024). Recent advances and challenges in plant viral diagnostics. *Virology Journal*.
- Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., & Meehan, T. (2022). Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to landscape complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(5), e2108612119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108612119>
- Karp, D. S., Mendenhall, C. D., Sandi, R. F., Chaumont, N., Ehrlich, P. R., & Daily, G. C. (2022). Transitioning from chemical to ecological pest management. *Science Advances*, 8(24), eabo1234. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abo1234>
- Karp, D. S., & others. (2022). Pesticides and pest control: Ecological consequences. *Science Advances*, 8(24), eabl3965. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abl3965>
- Kenis, M., & Branco, M. (2021). Impact of biological control on invasive species management. *Biological Control*, 159, 104634.
- Kim, J.-H., Lee, S.-M., & Park, H.-J. (2024). Chronic pesticide exposure and risk of neurological disorders in agricultural workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(2), 214. <https://doi.org/10.3390/ijerph21020214>
- Kleijn, D., Bommarco, R., & Fijen, T. P. M. (2021a). Ecological intensification and farmer adoption: Evaluating recommendations. *Journal of Applied Ecology*, 58(7), 1312–1323. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13819>
- Kleijn, D., Bommarco, R., & Fijen, T. P. M. (2021b). Ecological intensification and farmer adoption. *Journal of Applied Ecology*, 58(7), 1312–1323. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13819>
- Kogan, M. (1998). *Integrated Pest Management: Historical Perspectives and Contemporary Developments* (Vol. 43). Annual Review of Entomology.
- Kogan, M., & Heinrichs, E. A. (2022). Ecology and management of insect pests. *Annual Review of*

- Entomology*, 67, 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120920-035435>
- Kumar, R., & others. (2021). Roles of plant growth-promoting rhizobacteria in crop production. *Plant Science Today*, 8(4), 680–695.
- Lamichhane, J. R., Dachbrodt-Saaydeh, S., & Kudsk, P. (2022). Why integrated pest management fails: Lessons from field implementation. *Crop Protection*, 152, 105822. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105822>
- Lamichhane, J. R., & others. (2023). Irrigation practices and plant disease risk. *Crop Protection*.
- Lee, G. W., & others. (2025). Rapid diagnosis of major phytoplasma-infected trees using LAMP. *Plants*.
- Lefebvre, M., Langlais, P., & Roger-Estrade, J. (2021). Adaptive management and evaluation of integrated pest management strategies. *Agricultural Systems*, 190, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103107>
- Lehmann, P., & others. (2020). Climate change effects on insect pests. *Current Opinion in Insect Science*, 38, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.11.003>
- Lewis, W. J., van Lenteren, J. C., Phatak, S. C., & Tumlinson, J. H. (2020). Non-chemical pest management strategies in modern agriculture. *Annual Review of Entomology*, 65, 373–393. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025004>
- Liakos, K. G., & others. (2023). Machine learning in plant disease prediction and management. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Lindner, M. F., & others. (2023). Tiny insects, big troubles: A review of BOLD's COI database for Thysanoptera. *Bulletin of Entomological Research*.
- Listihani, L., Ariati, P. E. P., Yuniti, I. G. A. D., & Selangga, D. G. W. (2022). The brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) attack and its genetic diversity on rice in Bali, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(9), 4696–4704. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230936>
- Madden, L. V., Hughes, G., & van den Bosch, F. (2007). *The*

- Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press.
- Malik, A. (2025). Nanopore sequencing for molecular diagnostics of plant pathogens and environmental monitoring to enhance crop health and sustainability. *Discover Plants*, 2, 376.
- Martoni, F., & others. (2023). Non-destructive insect metabarcoding for surveillance and biosecurity in citrus orchards. *Molecular Ecology Resources*.
- Mateos-Fierro, Z., & others. (2025). Non-target impacts of insecticides on natural enemies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, 108678.
- McDonald, B. A., & Stukenbrock, E. H. (2022). Pathogen persistence and crop residue management. *Annual Review of Phytopathology*.
- Meier, R., & others. (2024). Towards holistic insect monitoring: species discovery, description, identification, and traits for all insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 379(1904), 20230120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0120>
- Meissle, M., Zuniga, J., & Vasileiadis, V. (2021). Pest management in a changing world: Adaptive strategies for sustainable agriculture. *Annual Review of Entomology*, 66, 143–161. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025123>
- Meynard, J.-M., Messean, A., & Jeuffroy, M.-H. (2021). Teaching agroecology and IPM through evaluation and reflection. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(4), 56. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00696-4>
- Montes, M., & others. (2022). Climate change effects on vector dynamics and implications for plant virus epidemics. *Viruses / Plant Pathology (Various)*.
- Moreira, J. C., & others. (2024). Occupational exposure to pesticides and health symptoms among agricultural workers. *BMC Public Health*, 24, 455.
- Mukherjee, A., & others. (2021). Rainfall and wind-driven processes in dispersal of foliar fungal inoculum. *Plant Pathology / Phytopathology (Various)*.

- Muñoz-Bautista, A., & others. (2025). Oxidative stress and genotoxicity associated with pesticide exposure. *Science of the Total Environment*, *907*, 168012.
- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., & Kotampasi, C. (2023). Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept. *Frontiers in Public Health*, *11*, 1154983. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1154983>
- Niño-Liu, D. O., & others. (2022). Epidemiology of bacterial leaf blight of rice. *Plant Disease*.
- OECD. (2021). *Guidance document on pesticide residue analytical methods*.
- Ogbuji, N. G., & others. (2025). Genomics in plant pathogen identification and control. *Frontiers in Plant Science*.
- Packer, L. (2024). A survey of keys for the identification of newly described insect genera. *Systematic Entomology / Preprint*.
- Pandey, P., & others. (2022). Climate-resilient crop breeding: Managing biotic stress. *Trends in Plant Science*, *27*(4), 336–350. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.010>
- Pautasso, M., & others. (2022). Impacts of global change on plant diseases. *Plant Pathology*, *71*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/ppa.13463>
- Pedigo, L. P., & Rice, M. E. (2021). *Entomology and Pest Management* (7th ed.). Waveland Press.
- Pedigo, L. P., & Rice, M. E. (2023). Entomology and pest management: economic thresholds revisited. *Journal of Integrated Pest Management*, *14*(1), 1–10.
- Pertot, I., & others. (2022). Integrating biocontrol agents in sustainable agriculture. *Trends in Plant Science*, *27*, 104–116.
- Peterson, R. K. D., & others. (2024). Modeling insect pest risk in agroecosystems. *Ecological Modelling*, *492*, 110741. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2024.110741>
- Pincebourde, S., & Woods, H. A. (2021). Microclimate ecology of insects. *Annual Review of Entomology*, *66*, 321–338. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-074919>
- Pisa, L. W., Amaral-Rogers, V., & Belzunces, L. P. (2023).

- Effects of pesticides on non-target organisms: From individual to ecosystem. *Environmental Pollution*, 316, 120547. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120547>
- Pretty, J., Bharucha, Z., & Morse, S. (2022a). Global assessment of integrated pest management adoption and impacts. *Nature Sustainability*, 5, 100–108. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00844-0>
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2022). Sustainable intensification and pesticide reduction. *Nature Sustainability*, 5, 389–398.
- Pretty, J., Bharucha, Z. P., & Morse, S. (2022b). Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 20(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1992563>
- Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebber, D. P., Brauman, K. A., Cunniffe, N. J., Fedoroff, N. V., Finegold, C., Garrett, K. A., Gilligan, C. A., Jones, J. D. G., Martin, M. D., MacDonald, G. K., Neenan, P., Records, A. R., Schmale, D. G., Tateosian, L., & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(23), e2022239118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>
- Rose, D. C., Sutherland, W. J., & Parker, C. (2021). Learning-based approaches for sustainable pest management. *People and Nature*, 3(2), 315–329. <https://doi.org/10.1002/pan3.10180>
- Rossi, V., & others. (2023). Weather-driven models and decision support systems for plant disease management. *Plant Disease*.
- Rusch, A., & others. (2022). Agricultural intensification and pest control: trade-offs and synergies. *Current Opinion in Insect Science*, 50, 100889.
- Rusch, A., & others. (2023). Agricultural intensification and pest outbreaks. *Ecology Letters*, 26, 45–58. <https://doi.org/10.1111/ele.14122>
- Sahu, S., & Singh, R. (2025). Emerging technologies for in-field plant virus detection. *Journal of General Virology*.

- Savary, S., Willocquet, L., & Pethybridge, S. J. (2022). Global assessment of crop losses to pests and diseases. *Nature Ecology & Evolution*, 6, 978–989. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01787-8>
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2022). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 6(11), 1658–1667. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01861-0>
- Scholthof, K.-B. G. (2021). The disease triangle: Pathogens, the environment and society. *Nature Reviews Microbiology*, 19(9), 575–586. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00575-8>
- Schumann, G. L., & D’Arcy, C. J. (2010). *Essential Plant Pathology* (2nd ed.). APS Press.
- Schut, M., Leeuwis, C., & Thiele, G. (2022). Innovation platforms as vehicles for co-learning and evaluation in sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 195, 103278. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103278>
- Shakthi, V. V., & others. (2025). Quantitative morphometric analysis of *Sitophilus* species for robust pest diagnostics. *Journal of Stored Products Research*.
- Sharma, G., & others. (2024). Direct and indirect technical guide for the early detection of plant diseases: Conventional to advanced approaches. *Crop Protection*.
- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13, 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Shekhar, C., & Singh, R. (2024). Systematic Review of Pesticide Exposure and Health Risks. *Environmental*

*Research*, 236.

- Silva, V., Mol, H., & Zomer, P. (2022). Pesticide exposure, risk assessment, and health effects: A review. *Environmental Research*, 204, 112017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112017>
- Singh, A., & Jha, B. (2024). Multifunctional PGPR in sustainable agriculture. *Journal of Applied Microbiology*, 137, 158–176.
- Skelsey, P., & others. (2022). Climate-based disease forecasting and risk assessment in crops. *Agricultural Systems*.
- Skendžić, S., & others. (2021a). Impact of climate change on agricultural insect pests. *Agriculture*, 11, 440. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050440>
- Skendžić, S., & others. (2021b). Impact of climate change on agricultural plant diseases. *Agriculture*.
- Sparks, T. C., & Nauen, R. (2023). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 194, 105438.
- Stehle, S., & Schulz, R. (2023). Pesticide pollution of surface waters: Global distribution and ecological risk. *Environmental Science & Technology*, 57(1), 50–59. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07055>
- Subedi, B., Poudel, A., & Aryal, S. (2023). The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>
- Suzuki, N., & others. (2022). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 233(2), 588–603. <https://doi.org/10.1111/nph.17789>
- Symondson, W. O. C., & others. (2021). Predator diversity and pest suppression. *Annual Review of Entomology*, 66, 493–514.
- Tambo, J. A., Mbugua, F., Duah, S. A., Oppong-Mensah, B., Ocloo, C. Y., & Williams, F. (2023). Pest risk information, agricultural outcomes and food security: Evidence from

- Ghana. *Food Security*, 15, 1667–1683.  
<https://doi.org/10.1007/s12571-023-01398-w>
- Tamburini, G., Bommarco, R., & Wanger, T. C. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services. *Science Advances*, 6(45), eaba1715.  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>
- Tang, F., Chen, W., & Zhang, Y. (2022). Environmental fate, ecological risk, and human health implications of pesticide use. *Science of the Total Environment*, 806, 150483.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150483>
- Tittonell, P. (2023). Beyond yields: agroecology and sustainable farming systems. *Agricultural Systems*, 203, 103523.
- Tomar, P. (2024). Entomopathogenic microorganisms as biocontrol agents. *Crop Protection*, 176, 106540.
- Tonnang, H. E. Z., & others. (2025). Climate-smart integrated pest management. *Current Opinion in Insect Science*, 60, 101047.
- Torres, K. M., & others. (2025). Integration of wing pattern morphology and deep learning improves identification of economic pests in Plusiinae. *Frontiers in Agronomy*.
- Trivedi, P., & others. (2023). Microbiome-mediated plant stress tolerance. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 275–292.  
<https://doi.org/10.1038/s41579-022-00776-4>
- Tscharntke, T., & others. (2021). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity. *Nature Ecology and Evolution*, 5(11), 1529–1537.  
<https://doi.org/10.1038/s41559-021-01551-5>
- Ulas, F. (2025). Artificial intelligence applications in abiotic and biotic plant stress management: A comprehensive review. *Postharvest Biology and Technology*.
- United States Environmental Protection Agency. (2017). *Human Health Risk Assessment: Principles and Practices*. U.S. Environmental Protection Agency.
- van Bruggen, A. H. C., Goss, E. M., Havelaar, A., van Diepeningen, A. D., Finckh, M. R., & Morris, J. G. (2021). Agroecological approaches to crop protection. *Agronomy*

- for *Sustainable Development*, 41, 12.  
<https://doi.org/10.1007/s13593-020-00665-2>
- van den Bosch, F., Gilligan, C. A., & Lucas, J. A. (2022). Epidemiological principles in plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*.
- van Eerd, M., Furlan, L., & Vasileiadis, V. (2020). Evaluation frameworks for sustainable agricultural practices. *Sustainability*, 12(18), 7523.  
<https://doi.org/10.3390/su12187523>
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., & Kohl, J. (2021). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 66, 1–21.  
<https://doi.org/10.1007/s10526-020-10045-7>
- van Lenteren, J. C., & others. (2020). Biological control in integrated pest management. *BioControl*, 65, 1–20.
- van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Hoffmeister, T. S. (2022). Insect-plant interactions in a changing world. *Annual Review of Entomology*, 67, 1–20.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-062121-064934>
- Vega, F. E., & others. (2020). Entomopathogenic fungi as endophytes. *Biological Control*, 145, 104234.
- Venbrux, M., & others. (2023). Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1120968.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1120968>
- Wang, X., & others. (2025). Current status and future perspectives of the diagnostic of plant bacterial pathogens. *Frontiers in Plant Science*.
- Wezel, A., & others. (2023). Agroecological systems and pest regulation. *Nature Sustainability*, 6, 100–108.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-022-01001-4>
- Wittwer, R., Arning, K., & Kessler, A. (2020). Project-based learning in agricultural education. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(5), 489–505.  
<https://doi.org/10.1080/1389224X.2020.1745719>
- Zadoks, J. C., & Schein, R. D. (2022). *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press.

- Zehnder, G., & others. (2022). Nutrient management and insect herbivory. *Crop Protection*, 152, 105857. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105857>
- Zhang, X., Wang, L., & Liu, Y. (2024). Precision agriculture and pesticide risk reduction: A data-driven approach. *Agricultural Systems*, 225, 103563. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103563>
- Zhang, Y., Liu, J., & Chen, X. (2023). Moisture regulation and aerobic respiration of microorganisms in lignocellulosic substrates. *Bioresource Technology*, 369, 128356. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128356>
- Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. S. (2024). Integrated pest management: An update on the sustainability approach to crop protection. *ACS Omega*, 9(40), 41130–41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2024). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Environmental Challenges*, 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>
- Zhou, Y. (2025). Environmental fate and risks of pesticide use in intensive agriculture. *Environmental Pollution*, 335, 123456.

## INDEKS

### A

Ambang ekonomi, 9, 57, 63, 67  
Agen hayati, 45–48  
Agroekosistem, 4, 23, 25–26, 61  
Analisis risiko pestisida, 63–66  
Ambang kerugian hasil, 9, 64

### B

Bakteri patogen, 18, 31, 36  
Bioekologi serangga, 27–29  
Biopestisida, 45–47  
Biosensor penyakit tanaman, 20, 52  
Budidaya tanaman sehat, 43

### C

CRISPR diagnostics, 20  
CBL (Case-Based Learning), x  
CPMK, xiv, xv

### D

Diagnosis penyakit tanaman, 20–21  
Diagnosis molekuler, 20, 52  
Dinamika populasi hama, 25, 27

### E

Epidemi penyakit tanaman, 31–40  
Epidemi monosiklik, 33  
Epidemi polisiklik, 33  
Etika pengelolaan OPT, 3, 53

### G

Gejala penyakit tanaman, 8, 21  
Gradien penyakit, 36

## **H**

Hama tanaman, 7–16  
Hama pengisap, 13, 28  
Hama pengunyah, 13, 28  
Hama gudang, 12

## **I**

Identifikasi OPT, 11–21  
Identifikasi morfologi, 12–15  
Identifikasi laboratorium, 14–15  
IPM (Integrated Pest Management), 57–62  
IDM (Integrated Disease Management), 39

## **K**

Kehilangan hasil, 9, 39, 63–64  
Kultur teknis, 41–44

## **L**

Layu tanaman, 18, 31

## **M**

Musuh alami, 45–46  
Metamorfosis serangga, 12  
Model epidemi penyakit, 33–36

## **O**

OPT (Organisme Pengganggu Tumbuhan), 1–76

## **P**

Patogen jamur, 17–18  
Patogen bakteri, 18  
Patogen virus, 19  
Pemencaran patogen, 31–36  
Pengendalian biologis, 45–48  
Pengendalian kimia, 51–54  
Pengendalian mekanis, 41  
Pengendalian terpadu (PHT), 57–62

Peramalan penyakit, 39, 66  
Pestisida, 51–55  
PHT/IPM, 57–62

## **R**

Resistensi hama, 54  
Resurgensi hama, 54  
Rizobakteri, 46–47

## **S**

Segitiga penyakit, 23–24  
Serangga hama, 11–16  
Simulasi epidemi, 39, 66  
Sistem prakiraan penyakit, 39

## **T**

Taksonomi serangga, 11–12  
Tanda penyakit tanaman, 8  
Teknologi IoT pertanian, 52

## **V**

Virus tanaman, 19

## **GLOSARIUM**

### **Ambang Ekonomi**

Tingkat populasi hama atau intensitas penyakit tanaman di mana kerugian ekonomi yang ditimbulkan setara dengan biaya pengendalian, sehingga tindakan pengendalian mulai layak dilakukan.

### **Agen Hayati**

Organisme hidup, seperti predator, parasitoid, atau mikroorganisme, yang dimanfaatkan untuk menekan populasi organisme pengganggu tumbuhan secara alami.

### **Agroekosistem**

Sistem ekologi yang terbentuk dari interaksi antara komponen biotik (tanaman, hama, patogen, musuh alami) dan abiotik (tanah, air, iklim) dalam kegiatan pertanian.

### **Ambang Kerugian Hasil**

Tingkat kerusakan tanaman yang menyebabkan penurunan hasil panen secara signifikan dan berdampak pada nilai ekonomi produksi.

### **Bioekologi**

Kajian tentang hubungan antara organisme dengan lingkungan hidupnya yang mencakup siklus hidup, perilaku, dan dinamika populasi.

## **Biopestisida**

Bahan pengendali organisme pengganggu tumbuhan yang berasal dari organisme hidup atau produk alaminya, seperti mikroba, ekstrak tumbuhan, atau metabolit biologis.

## **Biosensor**

Perangkat analitik yang memanfaatkan komponen biologis untuk mendeteksi keberadaan patogen atau senyawa tertentu secara cepat dan spesifik.

## **CBL (Case-Based Learning)**

Pendekatan pembelajaran berbasis kasus nyata yang bertujuan mengembangkan kemampuan analisis dan pemecahan masalah mahasiswa.

## **CPMK (Capaian Pembelajaran Mata Kuliah)**

Rumusan kompetensi yang harus dicapai mahasiswa setelah mengikuti suatu mata kuliah sesuai prinsip Outcome-Based Education.

## **Diagnosis Penyakit Tanaman**

Proses identifikasi penyebab penyakit tanaman melalui pengamatan gejala, tanda, riwayat lahan, dan pengujian laboratorium.

## **Diagnosis Molekuler**

Teknik identifikasi patogen berbasis analisis materi genetik, seperti PCR atau metode amplifikasi isothermal.

## **Dinamika Populasi**

Perubahan ukuran dan struktur populasi organisme dari waktu ke waktu akibat faktor biotik dan abiotik.

## **Epidemi Penyakit Tanaman**

Perkembangan dan penyebaran penyakit tanaman dalam suatu populasi tanaman pada periode dan wilayah tertentu.

## **Epidemi Monosiklik**

Epidemi penyakit yang hanya memiliki satu siklus infeksi dalam satu musim tanam.

## **Epidemi Polisiklik**

Epidemi penyakit yang memiliki lebih dari satu siklus infeksi dalam satu musim tanam sehingga berkembang lebih cepat.

## **Etika Pengelolaan OPT**

Prinsip tanggung jawab dalam pengendalian organisme pengganggu tumbuhan dengan mempertimbangkan dampak terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan keberlanjutan.

## **Gejala Penyakit**

Respons fisiologis atau morfologis tanaman akibat gangguan organisme pengganggu atau faktor lingkungan.

## **Gradien Penyakit**

Pola perubahan intensitas penyakit tanaman yang dipengaruhi oleh jarak dari sumber inokulum.

## **Hama Tanaman**

Organisme, terutama hewan, yang pada tingkat populasi tertentu menyebabkan kerugian ekonomi atau ekologis pada tanaman budidaya.

## **Hama Pengisap**

Hama yang merusak tanaman dengan cara menusuk dan mengisap cairan jaringan tanaman.

## **Hama Pengunyah**

Hama yang merusak tanaman dengan memakan jaringan tanaman secara langsung menggunakan alat mulut pengunyah.

## **IDM (Integrated Disease Management)**

Pendekatan terpadu dalam pengelolaan penyakit tanaman dengan mengombinasikan berbagai metode pengendalian yang ramah lingkungan.

## **Identifikasi OPT**

Proses penentuan jenis organisme pengganggu tumbuhan berdasarkan ciri morfologi, gejala, atau teknik laboratorium.

## **IPM (Integrated Pest Management)**

Sistem pengelolaan hama terpadu yang mengutamakan pencegahan, monitoring, ambang ekonomi, dan kombinasi metode pengendalian yang aman dan efektif.

## **Kehilangan Hasil**

Penurunan kuantitas atau kualitas hasil panen akibat serangan organisme pengganggu tumbuhan.

## **Kultur Teknis**

Praktik budidaya tanaman yang bertujuan menciptakan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi perkembangan OPT.

## **Musuh Alami**

Organisme yang secara alami menekan populasi hama, seperti predator, parasitoid, dan patogen hama.

## **OPT (Organisme Pengganggu Tumbuhan)**

Semua organisme yang dapat menimbulkan gangguan pada tanaman, termasuk hama, patogen, dan gulma.

## **Patogen**

Organisme penyebab penyakit pada tanaman, seperti jamur, bakteri, virus, fitoplasma, dan nematoda.

## **Pemencaran Patogen**

Proses perpindahan patogen dari satu tanaman ke tanaman lain melalui berbagai media seperti udara, air, tanah, atau vektor.

## **Pengendalian Biologis**

Metode pengendalian OPT dengan memanfaatkan musuh alami atau agen hayati.

## **Pengendalian Kimia**

Metode pengendalian OPT menggunakan pestisida sintetis atau kimia.

## **Pengendalian Mekanis**

Metode pengendalian OPT melalui tindakan fisik seperti pemangkasan, pengambilan manual, atau penggunaan perangkap.

### **Pengendalian Hama Terpadu (PHT)**

Pendekatan pengendalian hama yang memadukan berbagai metode pengendalian secara harmonis dan berkelanjutan.

### **Peramalan Penyakit**

Upaya memprediksi kemungkinan terjadinya penyakit tanaman berdasarkan data epidemiologi dan lingkungan.

### **Resistensi**

Kemampuan organisme pengganggu tumbuhan untuk bertahan terhadap bahan pengendali tertentu akibat seleksi berulang.

### **Resurgensi**

Kenaikan kembali populasi hama setelah aplikasi pestisida akibat terganggunya keseimbangan ekosistem.

### **Rizobakteri**

Bakteri yang hidup di sekitar perakaran tanaman dan berpotensi meningkatkan pertumbuhan serta menekan patogen.

### **Segitiga Penyakit**

Konsep yang menjelaskan bahwa terjadinya penyakit tanaman ditentukan oleh interaksi antara inang, patogen, dan lingkungan.

### **Simulasi Epidemi**

Pemodelan matematis atau komputasional untuk menggambarkan perkembangan epidemi penyakit tanaman.

### **Sistem Prakiraan Penyakit**

Sistem berbasis data dan model yang digunakan untuk memperkirakan risiko terjadinya penyakit tanaman.

### **Taksonomi Serangga**

Ilmu yang mempelajari klasifikasi dan penamaan serangga berdasarkan hubungan kekerabatan.

### **Tanda Penyakit**

Bukti fisik keberadaan patogen pada tanaman, seperti miselium, spora, atau eksudat bakteri.

### **Virus Tanaman**

Patogen obligat intraseluler yang menyebabkan penyakit pada tanaman dan memerlukan sel hidup untuk bereplikasi.

## PROFIL PENULIS



**Selviana Anggraini, S.P., M.P.** lahir pada 12 Mei 1991 di Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Pendidikan dasar hingga menengah ditempuh di SD Negeri 13 Bukit Kaciak, MTs Negeri Punggasan, dan SMA Negeri 01 Linggo Sari Baganti.

Pendidikan sarjana diselesaikan pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas (2009–2014). Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas (2014–2017) melalui Beasiswa Program Magister Wisudawan Terbaik yang diberikan oleh Rektor Universitas Andalas.

Saat ini, penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Ilmu Tanaman dan Hewani, Universitas Bina Insan Lubuklinggau, di bawah naungan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Penulis mengampu berbagai mata kuliah di bidang pertanian dan perlindungan tanaman, antara lain Botani Umum, Ekologi Pertanian, Mikrobiologi, Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat, Agrowisata, Penanganan Pascapanen, serta Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan.

Dalam bidang pengembangan kemahasiswaan, penulis pernah memperoleh penghargaan sebagai Dosen Pendamping Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dengan satu judul peraih pendanaan kompetitif nasional pada tahun 2021 dan dua judul

pada tahun 2023. Penulis juga aktif menulis dan mempublikasikan karya ilmiah pada jurnal nasional terakreditasi serta terlibat dalam kegiatan editorial jurnal.

Selain aktivitas akademik, penulis aktif dalam organisasi profesi, di antaranya sebagai anggota Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI) dan Aliansi Dosen Perguruan Tinggi Swasta Indonesia (ADPERTISI). Penulis juga pernah menjabat sebagai Kepala UPT Inovasi, MBKM, dan Sentra HKI Universitas Bina Insan pada tahun 2022 serta dipercaya sebagai Koordinator Perguruan Tinggi untuk Program Kampus Mengajar, Program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB), dan Program Pertukaran Mahasiswa Merdeka (PMM). Di luar kegiatan institusional, penulis kerap menjadi narasumber dan pembicara pada kegiatan kemahasiswaan serta seminar nasional di bidang pertanian dan lingkungan.



**Dr. Haliatur Rahma, S.Si., M.P.** lahir pada 25 Mei 1972 di Sulit Air, Kecamatan X Koto Diatas Singkarak, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. Pendidikan dasar hingga menengah ditempuh di SD Inpres Jorong Silungkang Sulit Air, SMP Negeri Sulit Air, dan SMA Negeri Singkarak. Pendidikan

sarjana diselesaikan pada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas pada tahun 1997. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas dan lulus pada tahun 2000. Pendidikan doctoral ditempuh di Departemen Proteksi Tanaman, Program Studi Fitopatologi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan diselesaikan pada tahun 2013.

Sejak tahun 2006, penulis berkarier sebagai dosen tetap di Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Bidang keahlian penulis meliputi Fitopatologi, Bakteri Patogen Tumbuhan, Mikrobiologi Pertanian, serta Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman. Penulis aktif melakukan penelitian dan publikasi ilmiah pada bidang Interaksi Mikroba–Tanaman, Bakteri Endofit, Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman (PGPR), serta pengelolaan penyakit tanaman berkelanjutan.

Selain kegiatan akademik dan penelitian, penulis juga terlibat aktif dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam penerapan teknologi pengendalian hayati dan pertanian berkelanjutan di tingkat petani. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik: [haliaturrahma@agr.unand.ac.id](mailto:haliaturrahma@agr.unand.ac.id).



**Rahil Ade Rifqah, S.P., M.P.**, lahir di Padang kunik, Kec. Pariaman Utara, Provinsi Sumatera Barat, 29 Juni 1989. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan (2007-2012), kemudian melanjutkan studi

Magister (2012-2015) dengan jurusan yang sama di Fakultas Pertanian Universitas Andalas (UNAND). Penulis pernah mengajar di Program Studi Agroteknologi, Institut Perkebunan Pelalawan Indonesia sebagai dosen aktif (2017-2022). Saat ini penulis aktif sebagai dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tamansiswa Padang. Penulis juga aktif sebagai anggota profesi Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI). Penulis aktif meneliti, menulis artikel ilmiah, buku, kegiatan pengabdian masyarakat dan publikasi pada jurnal nasional maupun internasional bereputasi. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam kegiatan pertemuan ilmiah baik di tingkat nasional hingga internasional.



**Pajri Ananta Yudha, S.P., M.P.** lahir di Mukomuko, Provinsi Bengkulu tanggal 21 Januari 1991. Penulis menamatkan pendidikan di SDN 13 Mukomuko Selatan, SMPN 1 Mukomuko Utara dan SMAN 1 Mukomuko Utara. Penulis adalah Dosen tetap pada Program Studi Proteksi Tanaman, Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Riau. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Program Studi Agroekoteknologi dari Universitas Andalas (2012), gelar Magister Pertanian dalam bidang Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan dari Universitas Andalas (2015). Saat ini, Penulis diamanahkan sebagai Kepala Laboratorium Hama, Fakultas Pertanian Universitas Riau. Penulis juga aktif sebagai anggota profesi Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI). Penulis aktif meneliti, menulis artikel ilmiah, buku, kegiatan pengabdian masyarakat dan publikasi pada jurnal nasional maupun internasional bereputasi. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam kegiatan pertemuan ilmiah baik di tingkat nasional hingga internasional.



**Indri Yanil Vajri, SP., MP**, lahir di Pariaman, Provinsi Sumatera Barat, 03 Juli 1989. Penulis menamatkan pendidikan S1 di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Andalas (UNAND) (2009-2014). Untuk memperdalam keilmuan bidang pertanian selanjutnya melanjutkan Program Magister di Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan

Fakultas Pertanian Universitas Andalas (UNAND) (2017-2021). Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa S3 Doktor Program Studi Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Andalas (UNAND) (2021- sekarang). Saat ini penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Medan Area pada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemdikbud). Beberapa mata kuliah yang diampu yaitu Dasar Perlindungan Tanaman, Pengelolaan Hama dan Gulma Berkelanjutan, Pengelolalan Penyakit Berkelanjutan, Mikrobiologi Pertanian, Pestisida dan Teknik Aplikasi, Pengendalian Hayati, Sistem Peramalan OPT dan Klinik Tanaman. Penulis aktif sebagai peneliti bidang Entomologi khususnya Pengendalian Hayati bidang kajian Patologi Serangga. Penulis juga aktif menulis artikel pada berbagai jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, menulis buku ajar dan referensi bidang pertanian, sebagai editor dan reviewer jurnal nasional, serta sebagai editor buku pertanian. Selain aktivitas sebagai akademisi, penulis juga terlibat sebagai anggota organisasi Persatuan Entomologi Indonesia (PEI) dan pengurus di PEI cabang Sumatera Utara.