



PENGANTAR PENGELOLAAN TERPADU HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN



Novian Dwisatria, Makhrani Sari Ginting, Angry Pratama Solihin
Dwiwiyati Nurul Septariani, Siska Irhamnawati Puloğu
Rida Iswati, Herlistin Mooy, Mufidah Afiyanti, Diana Putri
Titi Tricahyati, Mohamad Lihawa



**PENGANTAR
PENGELOLAAN TERPADU
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).

Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman

Novian Dwisatria, Makhrani Sari Ginting, Angry Pratama Solihin
Dwiwiyati Nurul Septariani, Siska Irhamnawati Pulogu
Rida Iswati, Herlistin Mooy, Mufidah Afiyanti, Diana Putri
Titi Tricahyati, Mohamad Lihawa



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2025

Penulis:

Novian Dwisatria, Makhroni Sari Ginting, Angry Pratama Solihin
Dwiwiyati Nurul Septariani, Siska Irfamawati Pulogu
Rida Iswati, Herlistin Mooy, Mufidah Afiyanti, Diana Putri
Titi Tricahyati, Mohamad Lihawa

Editor: Abdul Karim

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0813-9680-7167

IKAPI: 044/SUT/2021

Novian Dwisatria., dkk.

Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman

Yayasan Kita Menulis, 2025

xiv; 204 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-113-761-6

Cetakan 1, Maret 2025

- I. Pengantar Pengelolaan Terpadu 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 kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini berjudul "Pengantar Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman", yang dihadirkan untuk memberikan informasi kepada masyarakat khususnya petani, para mahasiswa dan stakeholders serta pihak-pihak yang terkait dengan Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman. Pengelolaan terpadu ialah mengurangi penggunaan pestisida dengan menggabungkan berbagai teknik pengendalian secara efektif. Para pakar hama dan penyakit tanaman di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, telah lama berbicara tentang dampak penggunaan pestisida kimia dan beberapa prinsip dasar serta ambang ekonomi dalam pengelolaan terpadu hama dan penyakit tanaman.

Buku ini membahas:

- Bab 1 Konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu
- Bab 2 Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu
- Bab 3 Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit
- Bab 4 Ekologi Hama dan Penyakit Tanaman
- Bab 5 Identifikasi Penyakit Tanaman
- Bab 6 Teknik Pengendalian Biologis
- Bab 7 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Menggunakan Teknik Budidaya
- Bab 8 Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit
- Bab 9 Pengendalian Hama dan Penyakit Menggunakan Agens Hayati
- Bab 10 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman dengan Pemanfaatan Musuh Alami
- Bab 11 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

Kami berharap buku ini dapat menjadi referensi yang berguna dan bermanfaat bagi para pembaca yang ingin memperdalam ilmu pengetahuan tentang Pengelolaan Terpadu Hama dan Penyakit Tanaman.

Dengan pengetahuan ini, diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha pertanian yang lebih ramah lingkungan serta mendukung sektor pertanian. Kami menyadari bahwa buku ini jauh dari sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat kami harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pertanian.

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

1.1 Perkembangan Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu	1
1.2 Prinsip Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu	3
1.3 Komponen Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu	4
1.3.1 Teknik Pengendalian Kultur Teknis	6
1.3.2 Teknik pengendalian hayati	9
1.3.3 Teknik Pengendalian Fisik dan Mekanis	11
1.3.4 Penggunaan Pestisida	11

Bab 2 Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu

2.1 Pendahuluan	13
2.2 Ekosistem Pertanian Terpadu	14
2.2.1 Ciri-ciri Sistem Pertanian Terpadu	15
2.2.2 Tujuan Ekosistem Pertanian Terpadu	16
2.2.3 Keunggulan Ekologi Sistem Pertanian Terpadu	17
2.3 Peran Ekosistem Pertanian Terpadu	18
2.4 Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu	20

Bab 3 Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit

3.1 Pendahuluan	27
3.2 Sejarah Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama Dan Penyakit	29
3.3 Penentuan Ambang Ekonomi Pengendalian Hama Dan Penyakit	31
3.4 Nilai Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit	34
3.5 Peluang dan Tantangan Penerapan Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit	36

Bab 4 Ekologi Hama dan Penyakit Tanaman

4.1 Pendahuluan.....	41
4.2 Pengaruh Bahan Kimia pada Ekologi Hama Penyakit Tanaman	42
4.3 Pengelolaan Hama dan Transisi Agroekologi	49
4.4 Lingkungan Ekologis yang Menguntungkan Patogen.....	50
4.5 Perkembangan Deteksi Hama Penyakit Tanaman pada Ekologi Modern	51

Bab 5 Identifikasi Penyakit Tanaman

5.1 Pendahuluan.....	53
5.2 Gejala dan Tanda Penyakit Tanaman	54
5.3 Prinsip Dasar Identifikasi Penyakit Tanaman	56
5.4 Metode Identifikasi Penyakit Tanaman	58
5.4.1 Pengamatan Visual	58
5.4.2 Penggunaan Perangkat dan Alat Pemantauan	59
5.4.3 Pengujian Laboratorium.....	60
5.4.4 Pemanfaatan Teknologi Digital	61
5.5 Faktor – Faktor yang Memengaruhi Identifikasi Penyakit Tanaman	62
5.5.1 Kondisi Lingkungan	62
5.5.2 Jenis tanaman dan Varietas	63
5.5.3 Ketersediaan alat dan teknologi.....	64
5.6 Strategi Penerapan Teknologi dalam Identifikasi Penyakit Tanaman.....	65
5.6.1 Pemanfaatan Sensor dan Citra Digital	66
5.6.2 Teknologi Kecerdasan Buatan (AI) Diagnosa Penyakit.....	66
5.6.3 Metode Molekuler untuk Identifikasi Patogen	67
5.6.4 Sistem Internet of Things (IoT) untuk Pemantauan Penyakit	68
5.6.5 Integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geografis (GIS).....	68
5.6.6 Pengembangan Aplikasi Digital untuk Identifikasi Penyakit.....	69

Bab 6 Teknik Pengendalian Biologis

6.1 Pengendalian Biologis dalam Pengelolaan Terpadu Hama Penyakit Tanaman	71
6.1.1 Pendahuluan.....	71
6.1.2 Prinsip Dasar Pengendalian Biologis	73
6.2 Jenis Pengendali Biologis dan Teknik Implementasi	75
6.2.1 Jenis Agen Pengendali Biologis	75
6.2.2 Teknik Implementasi Pengendalian Biologis	77
6.3 Prospek dan Tantangan Pengendalian Biologis	85
6.3.1 Prospek	85
6.3.2 Tantangan Pengendalian Biologis.....	88

Bab 7 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Menggunakan Teknik Budidaya

7.1 Pengantar	92
7.1.1 Teknik Budidaya Tanaman dalam Pertanian Modern	92
7.2 Pengelolaan Hama dan Penyakit	94

Bab 8 Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit

8.1 Pendahuluan	111
8.1.1 Jenis-jenis ketahanan	112
8.2 Ketahanan Struktural	112
8.3 Ketahanan Biokimia	115
8.4 Ketahanan Induksi	117
8.5 Modifikasi Genetik untuk Meningkatkan Ketahanan terhadap Penyakit pada Tanaman	120
8.5.1 Strategi Intervensi	120
8.6 Gen Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit	122
8.6.1 Klasifikasi Gen R	122
8.6.2 Mekanisme Resistensi yang Dimediasi Gen R	123
8.6.3 Teknologi dalam Identifikasi dan Pemanfaatan Gen R	123
8.6.4 Tantangan dan Perspektif Masa Depan	124

Bab 9 Pengendalian Hama dan Penyakit Menggunakan Agens Hayati

9.1 Jenis-Jenis Agen Hayati	126
9.1.1 Parasitoid	126
9.1.2 Predator	127
9.1.3 Patogen Serangga (Hama)	128
9.1.4 Antagonis Patogen Tanaman	132
9.1.5 Pemanfaatan Mikroba Endofit Sebagai Pengendali Hama dan Penyakit Tanaman	135
9.2 Keuntungan Pengendalian dengan Agens Hayati	137
9.3 Keterbatasan atau Kelemahan Pengendalian dengan Agens Hayati	138

Bab 10 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman dengan Pemanfaatan Musuh Alami

10.1 Pendahuluan	139
10.2 Pengendalian Hama Menggunakan Musuh Alami	141
10.2.1 Predator	142
10.2.2 Parasitoid	146
10.2.3 Jamur Entomopatogen	148

10.2.4 Bakteri Entomopatogen.....	148
10.3 Pengendalian Penyakit Secara Alami	149
10.3.1 Jamur Antagonis	149
10.3.2 Bakteri Antagonis	150
10.3.3 Nematoda	151

Bab 11 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

11.1 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengelolaan Terpadu Hama Penyakit Tanaman	153
11.1.1 Pendahuluan.....	153
11.1.2 Pengertian Ekosistem	155
11.2 Komponen Ekosistem	156
11.2.1 Komponen Biotik	156
11.2.2 Komponen Abiotik	157
11.2.3 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman.....	161
Daftar Pustaka	167
Biodata Penulis	199

Daftar Gambar

Gambar 1.1:	Segitiga Penyakit	6
Gambar 2.1:	Konsep Sistem Pertanian Terpadu Sumber: Riau Pulp 2005	14
Gambar 2.2:	Contoh Penerapan Sistem Pertanian Terpadu	25
Gambar 3.1:	Diagram Ambang Ekonomi (Economic Threshold) dan Aras Luka Ekonomi (Economic Injury Level) dalam pengendalian Hama dan Penyakit	32
Gambar 4.1:	Elemen agroekologi dengan penekanan bagaimana bertindak sebagai kerangka kerja yang difasilitasi oleh pengelolaan hama dan penyakit secara ekologis untuk membantu mewujudkan perlindungan tanaman yang lebih berkelanjutan secara lingkungan dan sosial serta transisi ke praktik pertanian agroekologis	45
Gambar 8.1:	Duri pada kaktus merupakan hasil modifikasi ekstrem dari daun.....	113
Gambar 9.1:	Beberapa spesies serangga yang terserang jamur entomopatogen	130
Gambar 9.2:	(A) Larva Aedes aegypti yang tidak diberi perlakuan, (B) Larva Aedes aegypti yang terinfeksi toksin Bacillus sp.	131
Gambar 9.3:	Serangga rayap yang terserang nematoda entomopatogen ..	132
Gambar 9.4:	Mekanisme hiperparasitisme Trichoderma sp. pada patogen tanaman	133
Gambar 9.5:	Mekanisme antagonis T. harzianum terhadap F. oxysporum	133
Gambar 10.1:	Ilustrasi pengelolaan hama dan penyakit menggunakan tanaman penutup	141
Gambar 10.2:	Hubungan antara musuh alami seperti predator dan parasitoid dengan serangga hama yang berevolusi dari waktu ke waktu	142
Gambar 10.3:	Harmonia axyridis predator kutu daun Myzus persicae dan alternatif mangsa Megoura japonica	143

Gambar 10.4: Predator <i>Orthetrum sabina</i>	144
Gambar 10.5: Parasitoid dari Braconidae (A), Parasitoid dari Aphelinidae (B), dan Hiperparasitoid kutu daun (C)	147
Gambar 10.6: Siklus hidup dari parasitoid Aphidiine	147
Gambar 10.7: Mekanisme jamur antagonis untuk mengendalikan penyakit jamur pada tanaman	150

Daftar Tabel

Tabel 10.1: Musuh alami yang banyak ditemui pada ekosistem tanaman apel	145
--	-----

Bab 1

Konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

1.1 Perkembangan Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

Pengelolaan hama dan penyakit terpadu merupakan suatu konsep dalam menjaga keberlangsungan ekosistem pertanian secara berwawasan lingkungan dan berkelanjutan yang merupakan kebijakan dari pemerintah dan diatur oleh undang-undang. Konsep ini muncul karena adanya kekhawatiran masyarakat dan pemerintah terhadap dampak penggunaan pestisida. Menurut hasil pengamatan di lapangan, tingginya intensitas penggunaan pestisida terhadap tanaman budidaya sehingga mendorong pemerintah dan masyarakat untuk lebih peduli terhadap keberlangsungan ekosistem pertanian.

Para ahli Stern et al., (1959), memperkenalkan konsep Pengelolaan Hama Terpadu (Integrated Pest Management) yang berarti pengendalian hama

dilakukan hanya dengan memanfaatkan kondisi ekosistem pertanian seperti pengendalian menggunakan musuh alami, memodifikasi ekosistem dan yang lainnya tanpa aplikasi bahan kimia. Sejak tahun 1986, konsep PHT ini mulai diterapkan di Indonesia dan terus berkembang di beberapa wilayah Indonesia.

Instruksi Presiden Nomor 3 Tahun 1986 yang menjadi tonggak sejarah Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) di Indonesia yaitu tentang larangan penggunaan 57 formulasi pestisida kimia untuk tanaman padi. Perkembangan peraturan pemerintah selanjutnya yakni Undang-undang Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian dianggap perlu adanya pengelolaan sumber daya alam guna memenuhi kebutuhan manusia dan menjaga kelestarian lingkungan hidup. Berdasarkan pasal 48 disebutkan bahwa perlindungan tanaman dilaksanakan dengan sistem pengelolaan hama terpadu. Pada konsep ini, populasi hama dan penyakit tetap ada namun tidak pada tingkat yang merugikan.

Konsepsi dari pengelolaan hama dan penyakit terpadu tentunya mempertimbangkan manfaat dan biaya serta membuat petani menjadi ahli dalam mengambil keputusan dalam pengelolaan hama dan penyakit secara terpadu di lahan sendiri dengan melakukan pendekatan ekologi dan memanfaatkan berbagai teknik pengendalian yang efektif seperti pengendalian secara hayati, fisik dan mekanik serta berdasarkan dengan peraturan perundang-undangan.

Adapun beberapa unsur-unsur dasar pada konsep pengelolaan hama dan penyakit terpadu ini adalah pengetahuan dasar tentang ekologi, biologi, dinamika populasi hama dan musuh alami, teknik sampling, pengamatan dan ambang ekonomi kerusakan oleh hama dan pengendalian hama. Konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu (PHPT) dapat berjalan optimal dengan terlebih dahulu mengetahui informasi terkait unsur-unsur dasar dan komponen teknik pengendalian. Penerapan dari konsep ini harus dilaksanakan dengan memadukan berbagai pihak dan komponen, baik itu dari segi teknis, sumber daya manusia, sumber dana maupun kelembagaan.

Sasaran dari konsep ini adalah menekan populasi atau pertumbuhan hama dan penyakit tanaman dengan intensitas atau tingkat serangan di bawah ambang ekonomi, dapat meningkatkan produksi dan kualitas produk pertanian, dapat meminimalisir penggunaan pestisida kimia, dapat meningkatkan kualitas lingkungan hidup, dapat meningkatkan ekonomi dan memperoleh keuntungan usaha tani serta kesejahteraan petani.

1.2 Prinsip Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

Terdapat beberapa prinsip dari konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu (PHPT) diantaranya yakni budidaya tanaman sehat, pemanfaatan musuh alami, melakukan pengamatan secara rutin dan petani sebagai ahli dalam pengelolaan hama penyakit terpadu (Sari et al., 2025).

Prinsip budidaya tanaman sehat berarti bahwa setiap aspek budidaya mulai dari pengolahan tanah, pemilihan varietas, penyiapan benih, penanaman, pemeliharaan dan penanganan pasca panen harus dikelola dengan tepat agar tanaman menjadi sehat dan produktif. Untuk mencapai hasil produksi yang tinggi, tanaman harus sehat artinya memperoleh pengairan dan jumlah hara yang cukup, lingkungan bersih bebas dari gulma serta menanam pada waktu yang tepat dan serempak.

Perlunya pemahaman mengenai struktur ekosistem yang mencakup komposisi jenis tanaman, hama, musuh alami dan kelompok biotik lainnya serta interaksi dinamis antar komponen biotik maka dapat dibuat strategi pengelolaan hama dengan mempertahankan populasi hama pada tingkat intensitas serangan yang tidak merugikan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan pemanfaatan musuh alami seperti parasitoid dan predator hama. Oleh karena itu perlunya mempertahankan keberadaan musuh alami untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Petani akan memperoleh keuntungan dengan berusaha menjaga dan mempertahankan populasi musuh alami dalam meningkatkan produksi dan mengurangi biaya pengendalian hama. Karena populasi hama merupakan makanan atau mangsa bagi musuh alami. Salah satu upaya menjaga keseimbangan ekosistem adalah dengan menanam refugia sebagai habitat musuh alami di lingkungan sekitar.

Beberapa jenis musuh alami seperti capung, laba-laba, kumbang koksi *Coccinella* sp dan *Paederus* sp mampu menekan populasi hama wereng batang coklat *Nilaparvata lugens* pada pertanaman padi. Musuh alami tersebut juga dapat menekan populasi hama kutu daun *Aphis* sp pada tanaman cabai (Efendi, 2016).

Pengamatan di lapangan harus dilakukan secara rutin karena kondisi ekosistem lahan yang terus berubah dan berkembang, Pengamatan dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT). Setiap lahan memiliki ekosistem dengan ciri khas tersendiri, sehingga setiap petani harus tahu cara memantau perkembangan OPT, peran musuh alami, iklim dan lingkungan untuk mengambil tindakan pengendalian yang tepat, praktis dan menguntungkan. Hal ini dimaksudkan bahwa petani sebagai ahli dalam pengelolaan hama penyakit terpadu.

1.3 Komponen Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

Komponen Pengelolaan Hama dan Penyakit Terpadu (PHPT) merupakan berbagai teknik pengendalian hama penyakit tanaman tanpa mengandalkan bahan kimia, salah satunya dengan pengelolaan agroekosistem yang dirancang untuk mendukung peningkatan produktivitas dan kesejahteraan petani, menjaga kesehatan ekosistem serta keberlanjutan lingkungan.

Semua metode yang digunakan dalam konsep ini disebut sebagai pengendalian secara multilateral. Menurut Mudjiono (2013), pengelolaan hama penyakit terpadu dilaksanakan dengan menggabungkan semua teknik pengendalian dan diterapkan dalam satu sistem pengelolaan. Karena itu, bukan hanya berkonsentrasi pada penanaman varietas tahan saja atau menghindari penggunaan pestisida yang berlebihan namun semua teknik digunakan secara bersamaan.

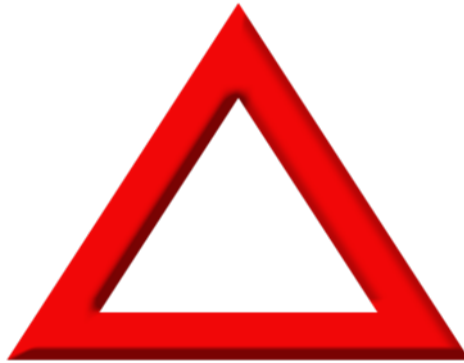
Latifah et al., (2018) menyatakan bahwa penggunaan metode Pengelolaan Hama Penyakit Terpadu (PHPT) menghasilkan keuntungan ekonomi yang lebih besar daripada metode budidaya konvensional. Metode Pengelolaan Hama Penyakit Terpadu (PHPT) dilaksanakan dengan melakukan pendekatan ekologi yang bersifat multidisiplin yang digunakan untuk mengelola populasi hama dan serangan penyakit tanaman dengan menggabungkan berbagai teknik pengendalian yang sesuai di lapangan.

Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dilaksanakan dengan mempertimbangkan faktor ekologi dan metode pengendalian yang dapat dikombinasikan. Menurut Dara (2019), pengendalian hama dan penyakit tanaman dapat dilaksanakan bukan hanya dengan pengendalian kimiawi melainkan terdapat beberapa komponen seperti menggunakan teknik pengendalian hayati, kultur teknis, fisik, mekanis dan penggunaan varietas tahan.

Konsep pengendalian ini adalah pengendalian optimum bukan pengendalian maksimum. Tindakan yang dilakukan ialah pengelolaan hama bukan pemberantasan hama dan musuh alami ikut terganggu (Santosa, 2024). Seperti beberapa kasus pengendalian serangga hama utama dan sekunder pada tanaman padi harus segera dilaksanakan untuk mencegah intensitas dan luas serangan bertambah hingga dapat mengakibatkan puso atau gagal panen (Dwisatria & Ramadhani, 2023).

Pengendalian penyakit tanaman dengan metode pengelolaan terpadu dapat dilakukan dengan cara pencegahan atau preventif dan upaya penyembuhan secara langsung atau kuratif. Seperti halnya penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen yang virulen, lingkungan yang mendukung

pertumbuhan dan perkembangan penyakit serta tanaman inang (host) yang rentan sebagai sumber nutrisi patogen (Gambar 1.1). Penyakit tanaman dapat dikendalikan dengan metode praktik budidaya seperti pengaturan jarak tanam yang digunakan dan aplikasi pemupukan yang berimbang serta menggunakan varietas atau kultivar yang resisten atau tahan terhadap patogen tertentu.



Gambar 1.1: Segitiga Penyakit

Gambar 1.1 Di atas menunjukkan bahwa terjadinya suatu penyakit paling sedikit adanya tiga faktor pendukung antara lain tanaman inang (host), patogen dan faktor lingkungan.

1.3.1 Teknik Pengendalian Kultur Teknis

Pengendalian OPT secara kultur teknis, juga dikenal sebagai pengendalian agronomi. Pengendalian ini bersifat pencegahan (preventif) dan dilakukan sebelum serangan OPT terjadi. Teknik pengendalian bersifat tidak mencemari lingkungan dan mudah digunakan oleh petani. Tujuan pengendalian ini adalah untuk membuat lingkungan tanaman menjadi kurang sesuai untuk kehidupan dan pertumbuhan serangga hama dan penyakit.

Kegiatan pengendalian kultur teknis termasuk antara lain sanitasi lingkungan, pengolahan tanah, pengelolaan air, pergiliran tanaman, penanaman serempak, pengaturan jarak tanam, tumpang sari, tanaman perangkap, tanaman penghalang (*barrier*) dan penanaman varietas tahan.

Teknik sanitasi merupakan metode pengendalian kultur teknis yang tertua dan cukup efektif dalam menurunkan populasi hama. Metode ini pada dasarnya ialah melakukan pembersihan lahan dari gulma dan sisa-sisa tanaman yang baru tumbuh atau yang tertinggal pasca panen. Berbagai bagian tanaman seringkali berfungsi sebagai tempat berlindung dan tempat berdiapause hama, atau tempat tinggal sementara sebelum penanaman kembali tanaman utama.

Banyaknya spesies hama yang sebagian atau seluruh hidupnya berada di dalam tanah. Beberapa hama seperti belalang *Valanga* sp dan *Sexava* sp meletakkan telur di dalam tanah, pupa *Spodoptera* sp dan *Helicoverpa* sp berada di dalam tanah, larva *Agrotis* sp bersembunyi di dalam tanah pada siang hari, bekicot meletakkan telur di dalam tanah dan banyak nematoda yang seluruh fase hidupnya berada di dalam tanah. Oleh karena itu, dengan pengolahan tanah yang baik, hama yang terdapat di dalam tanah dapat mati atau terhambat pertumbuhannya karena terkena sengatan matahari, dimakan oleh predator yang berkeliaran di permukaan tanah atau terbenam jauh di dalam tanah.

Pengelolaan air dengan baik atau secara berselang bisa menekan perkembangan hama seperti penggenangan sawah dalam beberapa hari dapat mematikan larva penggerek batang padi (*Scirpophaga* sp) yang sedang berdiapause di dalam tunggul padi serta pengeringan sawah selama 7-10 hari dapat mengendalikan hama putih (*Nymphula depunctalis*).

Pengendalian kultur teknis lainnya yakni dengan metode rotasi atau pergiliran tanaman dengan jenis tanaman atau inang yang berbeda pada musim tanam selanjutnya. Pemutusan ketersediaan inang pada musim kedua, berarti memutuskan siklus hidup hama yang sudah meningkat pada musim pertama. Rotasi tanaman dapat dilakukan dengan komoditi jagung, kubis, wortel, ubi kayu atau ubi jalar pada lahan kering. Metode ini sangat

efektif dilakukan untuk menekan populasi hama yang memiliki kisaran inang sempit dan kemampuan migrasi terbatas terutama pada fase aktif mencari makan.

Penanaman serempak di hamparan yang luas akan mempersingkat masa ketersediaan makanan hama. Penanaman serempak juga akan mengurangi risiko serangan karena serangan hama yang ada dapat terbagi-bagi. Disamping itu pengaturan jarak tanam dapat memengaruhi iklim mikro di sekitar tanaman. Jika jarak tanam rapat, lingkungan sekitar tanaman menjadi lembab. Seperti hama wereng cenderung mudah menyerang padi yang ditanam rapat dan yang diberikan pupuk urea dengan dosis tinggi karena memiliki perilaku menginginkan lingkungan yang lembab dengan sirkulasi udara rendah dan menghindari cahaya. Sebaliknya, dengan pola tanam padi yang jarang dapat membuat hama wereng tidak betah.

Sistem tanam tumpang sari dapat digunakan untuk mengurangi serangan OPT. Tidak semua hama memiliki inang yang sama, seperti ulat kubis *Plutella xylostella*. Hama ini tidak menyukai aroma tanaman jagung, tomat dan bawang daun sehingga populasi hama akan lebih rendah jika kubis ditumpangsarikan dengan tanaman tersebut.

Penggunaan tanaman perangkap (Trap Crop) dapat mengalihkan sasaran serangan hama. Tanaman perangkap ialah jenis tanaman yang disukai hama, biasanya ditanam di sekitar tanaman utama. Hama akan terkonsentrasi pada tanaman perangkap sehingga serangan terhadap tanaman utama berkurang. Seperti penanaman jagung digunakan sebagai trap crop di pematang yang mengelilingi pertanaman kedelai dapat membuat berkurangnya serangan ulat penggerek polong *Etiella zinckenella* dan *Helicoverpa armigera*. Namun, untuk mendapatkan hasil yang baik, waktu tanam trap crop harus disesuaikan dengan fenologi hama, terutama saat fase yang dapat merusak tanaman

Selain itu, penanaman jagung di sekitar areal pertanaman kedelai dapat berfungsi sebagai tanaman pendamping atau penghalang (barrier) Tujuan penanaman tanaman pendamping adalah sebagai penghalang untuk menghentikan atau mengganggu penerbangan atau migrasi hama seperti

kutu kebul. Tanaman jagung yang ditanam rapat dapat membantu mengurangi migrasi kutu kebul ke tanaman kedelai. Tanaman pendamping dapat menyamarkan atau memblokir tanaman utama (inang) secara visual dan fisik selain melindungi tanaman dengan isyarat penciuman.

Varietas unggul tidak hanya memiliki daya produksi tinggi tetapi juga tumbuh cepat dan tahan terhadap serangan OPT tertentu. Teknik pengendalian dengan penanaman varietas tahan OPT tertentu dapat mengurangi kerusakan tanaman. Seperti varietas kedelai Argopuro dan Ijen diketahui agak tahan terhadap serangan ulat grayak *Spodoptera litura*, *Nezara viridula* dan *Riptortus linearis*,

1.3.2 Teknik pengendalian hayati

Pengendalian hayati merupakan suatu bagian dari pengendalian alami dengan memanfaatkan Agens Pengendali Hayati (APH) antara lain predator, parasitoid dan patogen atau mikroorganisme antagonis yang digunakan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mengendalikan atau mengatur perkembangan populasi Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Pemanfaatan agens pengendali hayati bertujuan untuk mempertahankan populasi OPT sasaran berada di bawah ambang ekonomi.

Dalam menekan pertumbuhan populasi hama dapat dilakukan dengan pemanfaatan predator atau pemangsa hama. Seperti hama tikus sawah yang diketahui menjadi mangsa dari ular atau burung hantu sebagai predator. Ada juga serangga predator seperti kumbang koksi (Famili Coccinellidae) yang memangsa serangga herbivora (fitofagus) atau serangga hama seperti *Aphis* sp. (Famili Aphididae), selain itu juga terkadang memakan serbuk sari dan memangsa invertebrata kecil.

Menurut Herlinda & Irsan (2015), parasitoid merupakan serangga yang hidup berperan sebagai parasit pada atau di dalam serangga lainnya. Pada fase dewasa (imago), parasitoid hidup secara bebas dan tidak terikat pada serangga inangnya sedangkan pada fase larva atau pradewasa parasitoid bersifat parasitik. Parasitoid dewasa hidup dengan mengisap embun madu, nektar, air, terkadang juga mengisap cairan tubuh serangga inang.

Parasitoid tidak sama dengan parasit karena parasitoid memiliki inang yang berasal dari golongan takson yang sama yaitu serangga sedangkan parasit memarasit spesies dari takson yang berbeda seperti spesies lalat yang menghisap darah sapi.

Ukuran parasitoid relatif lebih besar dibandingkan ukuran inangnya dan tidak pernah pindah inang selama fase perkembangannya. Parasitoid dapat menyerang setiap instar inang namun jarang pada instar dewasa. Sebagian besar parasitoid tergolong dalam ordo Diptera dan Hymenoptera. Semua spesies yang berasal dari Ordo Diptera (Famili Tachinidae) berperan sebagai parasitoid. Ordo Hymenoptera yang berperan sebagai parasitoid paling banyak berasal dari famili Ichneumonidae dan Braconidae. Parasitoid yang dimanfaatkan dalam pengendalian serangga hama antara lain seperti *Diadigma semiclausum* yang memarasit larva *Plutella xylostella* pada tanaman kubis, selain itu parasitoid *Trichogramma* sp. memarasit telur penggerek batang padi *Scirpophaga* sp.

Patogen atau mikroorganisme antagonis yang digunakan berasal dari berbagai spesies virus, bakteri, cendawan dan nematoda. Patogen merupakan jasad renik atau mikroorganisme yang menyebabkan infeksi dan menimbulkan penyakit pada Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Apabila spesies yang terserang adalah serangga hama disebut entomopatogen seperti *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium* sp. berperan sebagai cendawan entomopatogen untuk serangga hama Walang Sangit, Wereng Batang Coklat, *Aphis* sp. dan Ulat Grayak. Sedangkan spesies penyakit tanaman seperti penyakit layu pada tomat yang disebabkan oleh bakteri *Pseudomonas solanacearum* dapat dikendalikan dengan agens hayati atau bakteri antagonis *Pseudomonas fluorescens*. Agens antagonis atau cendawan antagonis seperti *Gliocladium* sp. dan *Trichoderma* sp. dapat dimanfaatkan sebagai agens hayati penyakit tular tanah seperti *Fusarium oxysporum*, *Antraknosa* sp., *Sclerotium* sp. dan *Pythium* sp.

1.3.3 Teknik Pengendalian Fisik dan Mekanis

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) memiliki batas toleransi terhadap faktor lingkungan fisik tertentu, seperti suhu dan kelembapan sehingga membuat OPT tidak dapat hidup dan berkembang biak. Beberapa contoh pengendalian fisik antara lain 1) Penggunaan lampu perangkap untuk mengendalikan ngengat (imago) penggerek batang padi *Scirpophaga* sp., 2) Penggunaan TBS (Trap Barrier System) untuk mengendalikan hama tikus sawah *Rattus argentiventer*, 3) Penggunaan tali plastik silver atau mengkilap dan kepingan CD/DVD sehingga memantulkan sinar matahari yang membuat silau hama burung di sawah, 4) Pembungkusan buah dengan kantong plastik atau pembungkus lainnya sehingga hama lalat buah *Bactrocera* sp. tidak dapat meletakkan telur pada buah, 5) Penggunaan mulsa plastik untuk mencegah hama bertelur di dalam tanah atau menghalangi pupa hama seperti ulat buah *Helicoverpa armigera*, ulat grayak *Spodoptera litura* dan trips berada di dalam tanah sekitar tanaman.

Di samping itu, pengendalian mekanis merupakan pengendalian hama secara langsung dengan menggunakan tangan atau alat bantu lain. Beberapa contohnya antara lain 1) Pengambilan langsung menggunakan tangan kelompok telur penggerek batang padi *Scirpophaga* sp. di persemaian, 2) Gropyokan yakni pengendalian hama tikus menggunakan alat pukul atau kayu dilakukan bersama-sama saat kondisi persawahan bera atau tidak ada tanaman, 3) Pemasangan perangkap yang berbau busuk seperti bangkai kepiting, yuyu, keong mas, rajungan, ikan, kotoran ayam atau daging busuk untuk pengendalian hama walang sangit *Leptocorisa* sp. Kekurangan dari pengendalian mekanis ini yakni tidak dapat dilakukan untuk lokasi yang luas secara terus-menerus dan membutuhkan tenaga yang banyak.

1.3.4 Penggunaan Pestisida

Adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) menjadi kendala dalam budidaya tanaman. Petani biasanya menggunakan pestisida sebagai pengendalian. Namun, penggunaan pestisida yang berlebihan membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia serta musuh alami

meliputi predator dan parasitoid yang merupakan serangga bukan sasaran ikut mati (Wu et al., 2020). Selain itu aplikasi pestisida yang tidak tepat dapat mengakibatkan hama menjadi kebal terhadap pestisida sehingga terjadinya peledakan atau resurgensi hama (Cheng, 2018).

Dalam konsep pengendalian hama dan penyakit terpadu, pengendalian menggunakan pestisida atau secara kimia merupakan alternatif terakhir. Tidak berarti bahwa dalam konsep ini tidak mengaplikasikan pestisida kimia, melainkan pestisida kimia hanya digunakan saat diperlukan sehingga penggunaannya dapat diminimalisir (Gerage et al., 2017).

Hal ini disebabkan dalam konsep pengendalian hama terpadu mengutamakan pengendalian OPT meliputi hama dan penyakit yang aman dan ramah lingkungan dengan mempertahankan tingkat serangan OPT berada pada batas yang tidak merugikan. Pengendalian secara kimia dilakukan dengan melakukan monitoring di lapangan. Apabila intensitas serangan berada pada batas ambang ekonomi atau ambang kendali maka penggunaan pestisida dianjurkan tetapi dengan syarat penggunaan pestisida dilakukan secara bijaksana. Aplikasi pestisida yang semakin meningkat tidak memberikan hasil yang baik untuk menekan pertumbuhan hama dan perkembangan penyakit tanaman namun justru sebaliknya menyebabkan pencemaran lingkungan dan mengakibatkan efek buruk pada kesehatan manusia. Penggunaan pestisida juga memiliki kaidah-kaidahnya dengan prinsip 6 tepat yakni tepat dosis, tepat waktu, tepat sasaran, tepat cara, tepat jenis dan tepat mutu. Hal tersebut bertujuan agar tercapainya sasaran produksi, kualitas hasil, efisiensi biaya, tidak merusak lingkungan dan berbahaya bagi manusia.

Apabila aplikasi pestisida dilakukan secara berlebihan dapat mengurangi kesuburan tanah dan meninggalkan residu yang dihasilkan oleh pestisida. Selain itu, bahan kimia yang bersifat racun yang ditambahkan ke tanah dapat merusak organisme tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan tanah. Sebagian besar petani secara terus menerus menggunakan pestisida dengan tidak memperhatikan dosis yang dianjurkan. Keputusan petani ini menimbulkan beberapa kerugian, seperti biaya tinggi untuk pengendalian OPT, terjadi resistensi OPT, pestisida yang digunakan menjadi tidak efektif, meninggalkan residu dan pencemaran lingkungan (Yulia et al., 2020).

Bab 2

Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu

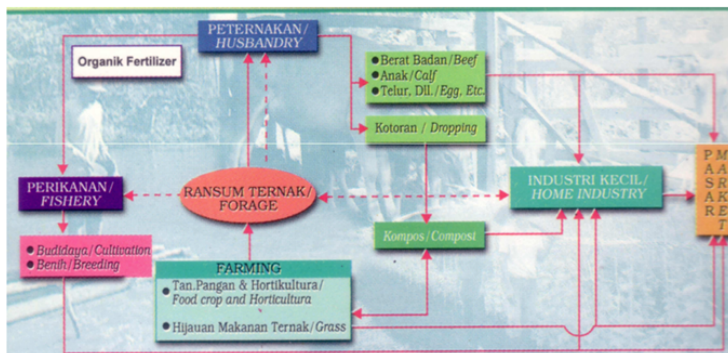
2.1 Pendahuluan

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2022) Ekosistem adalah keanekaragaman dari suatu satuan komunitas dan lingkungan sekitarnya yang terjadi dalam satu kesatuan relung ekologi. Ekologi yang dimaksud disini yaitu suatu hubungan yang timbal balik makhluk hidup dengan alam sekitar. Ekosistem ini seyogyanya bersifat alami yaitu bersifat lebih natural sesuai dengan kondisi alam yang ada. Akan tetapi ada kalanya terdapat campur tangan manusia dalam mengelola ekosistem untuk memperbaiki keadaan ekosistem yang ada disekitar untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Campur tangan manusia dalam mengelola lingkungan untuk mendapatkan keuntungan disebut sebagai agroekosistem (Asril et al., 2022)

Pada awalnya, campur tangan manusia dalam mengelola ekosistem hanya berorientasi pada keuntungan saja tanpa memperdulikan kesehatan

lingkungan. Penggunaan pestisida mula-mula mampu mengatasi masalah hama, namun penggunaan yang terus menerus kemudian disadari menciptakan masalah yang kompleks. Kesadaran akan hal ini kemudian memicu para pakar mendeklarasikan konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT), di mana pengendalian hama dilakukan hanya dengan memanfaatkan kondisi ekosistem, misalnya pengendalian menggunakan musuh alami, pengendalian dengan memodifikasi ekosistem dan yang lainnya tanpa ada penggunaan bahan kimia pertanian walau dalam jumlah yang sedikit sekalipun (Anshary, 2023).

Selanjutnya praktek pengendalian hama terpadu ini terus berkembang seiring dengan bertambahnya kesadaran dalam menjaga keseimbangan ekologis. Tidak hanya berkaitan dengan ekosistem pertanian, namun juga praktek ini berasosiasi dengan peternakan, perikanan dan kehutanan. Hingga kemudian berkembang menjadi ekosistem pertanian terpadu.



Gambar 2.1: Konsep Sistem Pertanian Terpadu Sumber: Riau Pulp 2005

2.2 Ekosistem Pertanian Terpadu

Dewasa ini sistem pertanian terpadu telah menjadi perhatian, sebagai penyelesaian berkelanjutan untuk menyeimbangkan ekosistem yang rapuh. Kebijakan ini mengintegrasikan praktik pertanian dan ekologis yang saling

menguntungkan untuk mempertahankan keanekaragaman hayati dan mengelola sumber daya alam secara bersamaan dan bertanggung jawab.

Pertanian terpadu merupakan suatu sistem pertanian yang menggabungkan berbagai kegiatan pertanian, peternakan, perikanan, dan kehutanan dalam satu lahan. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas sumber daya (lahan, manusia dan faktor pertumbuhan lainnya) peningkatan ekonomi dan menciptakan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan, konservasi sumber daya, kemandirian dan kesejahteraan petani secara alami dan berkelanjutan.

Penerapan pertanian terpadu pada dasarnya adalah yang sudah ada sedemikian rupa sehingga ada keterkaitan langsung antara lingkungan biologis dan abiotik dalam ekosistem lahan pertanian dan hasil dari satu kontribusi budi daya. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan penggunaan semua sumber daya potensial.

Dalam pertanian terpadu, berbagai komponen ini ditandai dengan penggunaan yang melibatkan daur ulang limbah organik, dengan minim atau bahkan tanpa penggunaan bahan kimia. Oleh karena itu, terdapat kontinuitas yang tidak terputus saat menggunakan bahan organik yang dihasilkan dalam sistem pertanian ini. Dengan demikian, keseluruhan sistem biologis ini akan menghasilkan penghematan biaya dalam usaha pertanian serta sumber daya alam.

2.2.1 Ciri-ciri Sistem Pertanian Terpadu

Sistem pertanian terpadu memiliki ciri yang membedakan dengan sistem pertanian konvensional, yaitu

1. Pengelolaan pertanian secara luas dan komprehensif meliputi pertanian tanaman, peternakan, perikanan, kehutanan, dan interaksi antara mereka.
2. Berorientasi pada produktivitas, efisiensi, keberlanjutan, dan diterima secara sosial dan ekonomi.

3. Sistem mandiri dengan sistem LEISA (Low External Input Sustainable Agriculture), yang mampu berjalan dengan baik tanpa ketergantungan asupan dari luar sistem.
4. Dengan menggabungkan teknik pertanian ekologis dan konvensional, sistem pertanian terpadu menawarkan sejumlah keuntungan ekologis yang tak ternilai. Pertanian terpadu menekankan pemanfaatan sumber daya internal seperti kompos, pupuk hijau, dan hewan untuk mempertahankan kesuburan. Agroekosistem memiliki ciri kompleksitas, ketergantungan, dinamis, dan produktivitas.

2.2.2 Tujuan Ekosistem Pertanian Terpadu

Ekosistem pertanian terpadu bertujuan untuk

1. Meningkatkan produktivitas lahan: Ekosistem pertanian terpadu bertujuan untuk meningkatkan produktivitas lahan secara keseluruhan dengan menggabungkan berbagai kegiatan pertanian.
2. Perlindungan lingkungan: Salah satu tujuan utamanya adalah menjaga dan melindungi lingkungan melalui praktik berkelanjutan.
3. Pembangunan pedesaan: Sistem ini dirancang untuk memberikan kontribusi terhadap pembangunan daerah pedesaan.
4. Menciptakan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan: Dengan mengintegrasikan berbagai aspek pertanian, sistem ini bertujuan untuk menciptakan keseimbangan ekosistem yang dapat dipertahankan sepanjang waktu.
5. Mengurangi ketergantungan pada masukan eksternal: Sistem terpadu, khususnya melalui pendekatan seperti pertanian regeneratif dan permakultur, bertujuan untuk meminimalkan ketergantungan pada masukan eksternal seperti bahan kimia.

6. Memulihkan dan memelihara sistem alam: Tujuannya adalah untuk meningkatkan dan melestarikan kualitas tanah, keanekaragaman hayati, dan jasa ekosistem.
7. Meningkatkan keberlanjutan ekologi: Sistem ini menggunakan pendekatan holistik untuk meningkatkan produktivitas sekaligus memastikan pelestarian lingkungan.
8. Memperbaiki pengelolaan kesuburan tanah, meningkatkan produksi per luas lahan, dan menyediakan berbagai jasa ekosistem melalui diversifikasi dan integrasi peternakan.

2.2.3 Keunggulan Ekologi Sistem Pertanian Terpadu

Adanya perbedaan yang prinsipal dengan sistem pertanian konvensional menjadikan ekologi sistem pertanian terpadu lebih unggul dalam hal sebagai berikut:

1. Pemanfaatan Sumber Daya yang Efisien: Memanfaatkan sumber daya alam seperti air, tanah, dan nutrisi secara efisien melalui praktik rotasi tanaman, penanaman beragam, dan penggunaan pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kebutuhan akan input eksternal.
2. Peningkatan Ketahanan Pertanian: Diversifikasi tanaman dan praktik pengelolaan hama terpadu membuat sistem pertanian lebih tangguh terhadap perubahan iklim, hama, dan penyakit.
3. Peningkatan Produksi dan Kualitas: Mengelola sumber daya alam secara optimal untuk menghasilkan produksi yang lebih tinggi dan berkualitas lebih baik. Kondisi tanah yang sehat dan keanekaragaman hayati mendukung pertumbuhan tanaman yang kuat, mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis, dan meningkatkan kandungan nutrisi dalam hasil panen.

4. Mengurangi Dampak Negatif: Rotasi tanaman dan pengelolaan hama organik membantu mengurangi dampak negatif pada tanah, air, dan udara, sehingga menjaga lingkungan.

2.3 Peran Ekosistem Pertanian Terpadu

Bagi petani yang ingin beradaptasi dengan tren ini, sangat penting untuk memiliki pemahaman yang mendalam tentang manfaat ekologis dari sistem pertanian terpadu.

1. Manfaat Ekologi

Sistem pertanian terpadu menawarkan berbagai manfaat ekologis, mulai dari peningkatan keanekaragaman hayati hingga manajemen sumber daya yang lebih baik. Dengan mengembangkan praktik polikultur (menanam tanaman yang berbeda), sistem ini menciptakan habitat yang ramah bagi berbagai makhluk hidup dan meningkatkan keseimbangan ekologis. Selain itu, rotasi tanaman dan pengendalian hama organik membantu mengurangi efek samping pada tanah, air dan udara dan menjaga kesehatan ekosistem secara total.

2. Ketahanan terhadap Perubahan Iklim

Pertanian terpadu berperan penting dalam membangun ketahanan ekologi dalam menghadapi perubahan iklim yang semakin intensif. Diversitas tumbuhan meningkatkan daya dukung ekosistem untuk beradaptasi dengan keadaan cuaca ekstrim dan hama. Sistem ini juga dapat membantu mengatur siklus air dan karbon, memitigasi dampak perubahan iklim.

3. Produksi Berkelanjutan

Bertolak belakang dengan interpretasi awam, sistem pertanian terpadu dapat menghasilkan panen tinggi secara berkelanjutan. Dengan menggunakan interaksi alami antara tanaman dan organisme, sistem ini menciptakan kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman yang sehat. Diversifikasi tanaman mengurangi risiko kegagalan panen dan memastikan pasokan makanan yang stabil.

4. Pengelolaan Sumber Daya

Pertanian terpadu menawarkan manajemen sumber daya yang efisien, meminimalisir ketergantungan pada input eksternal. Dengan menggunakan pupuk dan pestisida alami, sistem ini menjaga mutu air dan tanah. Selain itu, praktik konservasi seperti penyerbukan silang dan pengelolaan air hujan membantu mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam.

5. Dampak Sosial

Sistem pertanian terpadu juga mendatangkan manfaat sosial yang berarti. Dengan melahirkan lapangan kerja dan meningkatkan penghasilan petani, sistem ini berperan pada peningkatan ekonomi pedesaan. Selain itu, pertanian terpadu mencanangkan gaya hidup sehat dengan menyediakan makanan bergizi dan ramah lingkungan.

Pertanian regeneratif dan permakultur adalah sistem semi-tertutup yang mengurangi ketergantungan pada input eksternal seperti bahan kimia dan memulihkan dan memelihara sistem alami seperti kualitas tanah, keanekaragaman hayati, dan layanan ekosistem (McLennon et al., 2021). Praktik-praktik ini termasuk komposisi optimal polikultur panen tahunan, pengelolaan air, dan agroekosistem (Ferguson & Lovell, 2013).

Sementara praktik pertanian terintegrasi ini sangat mungkin menjadi transisi yang mengejutkan, aplikasi mereka tetap terbatas karena kurangnya penelitian ilmiah dan kecenderungan untuk menyederhanakan kompleksitas dan tantangan petani dalam mengembangkan sistem produksi terintegrasi yang beragam.

Namun, penelitian menunjukkan bahwa petani telah mengembangkan praktik alternatif dengan potensi agroekologis di berbagai bidang, termasuk penyediaan jasa ekosistem ganda melalui manajemen kesuburan tanah, peningkatan produksi per lahan, dan diversifikasi dan integrasi ternak (Ameur et al., 2020). Singkatnya, manajemen ekosistem dalam pertanian terintegrasi membutuhkan pendekatan sistematis yang menggabungkan prinsip-prinsip agroekologis dan permakultur. Ini termasuk desain sistem berdasarkan prinsip-prinsip ekologis, mengoptimalkan sistem kompleks dan imitasi ekosistem (Krebs & Bach, 2018).

Meskipun aplikasi mereka masih menimbulkan tantangan, pertanian terintegrasi dapat meningkatkan kesehatan tanah, keanekaragaman hayati ekosistem, konservasi dan sumber daya lahan, keberlanjutan pertanian, dan keamanan gizi (McLennon et al., 2021)

2.4 Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu

Pengelolaan ekosistem pada pertanian terpadu melibatkan kebijakan komprehensif yang memadukan berbagai praktik pertanian seperti budidaya tanaman, peternakan, dan perikanan yang berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas dan mempertahankan keberlanjutan ekosistem.

Konsep dasar ekologi dalam Sistem Pertanian Terpadu

1. Ekosistem pertanian yang sangat beragam yang memberikan jaminan tinggi kepada petani secara berkesinambungan.

2. Dibutuhkan keanekaragaman fungsional yang dapat diperoleh dengan menggabungkan spesies tanaman dan spesies hewan dengan sifat yang saling melengkapi dan terkait dengan interaksi sinergis dan positif dan bukan hanya kestabilan yang dapat diperbaiki, namun juga produktivitas sistem pertanian dengan input yang lebih rendah.
3. Menggunakan keragaman fungsional ke tingkat maksimum yang menghasilkan sistem pertanian terpadu yang kompleks menggunakan sumber daya dan input yang ada.
4. Dalam aplikasi pertanian terpadu dibutuhkan sokongan sumberdaya manusia, pengetahuan dan teknologi, permodalan, hubungan produk dan konsumen, serta masalah keseimbangan misi pertanian dalam pembangunan(Nurcholis & Supangkat, 2011)
5. Menentukan kombinasi tanaman, hewan, dan input yang mengarah pada produktivitas tinggi, keamanan produksi, dan konservasi sumber daya yang relatif sesuai dengan keterbatasan lahan, tenaga kerja dan modal

Beberapa praktik spesifik yang membantu mencapai tujuan ekosistem pertanian terpadu:

1. Integrasi berbagai kegiatan pertanian: Sistem ini memadukan pertanian, peternakan, perikanan, dan kehutanan dalam satu lahan.
2. Integrasi budidaya tanaman, peternakan, dan perikanan: Aspek-aspek ini dikelola bersama untuk menciptakan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan.
3. Pertanian regeneratif dan permakultur: Ini adalah sistem semi tertutup yang dirancang untuk mengurangi ketergantungan pada

masuk eksternal seperti bahan kimia sekaligus memulihkan dan memelihara sistem alami.

4. Polikultur abadi: Praktik ini melibatkan penanaman beberapa spesies tanaman tahunan secara bersamaan.
5. Pengelolaan air: Teknik pengelolaan air yang efektif diterapkan sebagai bagian dari sistem yang terintegrasi.
6. Konfigurasi agroekosistem yang optimal: Sistem dirancang untuk menciptakan penataan komponen pertanian yang paling efektif.
7. Pengelolaan kesuburan tanah: Praktik-praktik diterapkan untuk menjaga dan meningkatkan kesehatan tanah.
8. Diversifikasi dan integrasi peternakan: Praktik-praktik ini digunakan untuk menyediakan berbagai jasa ekosistem.
9. Prinsip desain ekologi: Sistem dirancang berdasarkan prinsip ekologi.
10. Optimalisasi sistem yang kompleks: Teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan interaksi kompleks dalam ekosistem pertanian.
11. Mimikri ekosistem: Sistem pertanian dirancang untuk meniru ekosistem alami.

Praktik-praktik ini secara kolektif bertujuan untuk meningkatkan kesehatan tanah, meningkatkan keanekaragaman hayati, melestarikan lahan dan sumber daya, mendorong keberlanjutan pertanian, dan menjamin ketahanan pangan.

Pembangunan dan pertumbuhan berkelanjutan di sektor pertanian memerlukan peningkatan daya saing melalui pemahaman yang lebih baik tentang lahan, cuaca dan iklim, serta penanaman, terutama prediksi kejadian dengan peningkatan akurasi, dan integrasi sistematis observasi dan prediksi ke dalam pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian.

Salah satu pendekatan sistematis yang dapat dipertimbangkan adalah berdasarkan sistem informasi terintegrasi (IIS) untuk pengelolaan ekosistem

pertanian. Pendekatan ini melibatkan pembuatan IIS yang mengekstraksi data tentang medan, penggunaan lahan, penanaman, dan lainnya, dan mengintegrasikannya untuk tujuan pengelolaan pertanian dan ekosistem (Xu et al., 2008).

Pengelolaan ekosistem pertanian terpadu adalah pengelolaan sumber daya alam yang dilakukan secara berkelanjutan dengan menggabungkan berbagai aspek pertanian. Sistem ini bertujuan untuk menciptakan ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan.

Prinsip-prinsip pengelolaan ekosistem pertanian terpadu

1. Mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air, tanah, dan nutrisi
Optimalisasi pemanfaatan sumber daya air agar dapat meningkatkan ketahanan air dengan cara irigasi (Sutrisno & Hamdani, 2019), mengoptimalkan sumber daya tanah dengan sistem tumpang sari,
2. Mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis
Penggunaan pestisida yang berlebihan dapat mencemari tanah dan air, serta membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Sebagai gantinya, pertanian berkelanjutan menerapkan pengendalian hama terpadu (PHT) dengan memanfaatkan musuh alami hama dan teknik pengendalian biologis.
3. Memanfaatkan pupuk organik
Pemanfaatan pupuk organik yang berasal dari sisa panen maupun sisa hewan pada pertanian terpadu dapat meningkatkan kesuburan tanah dan sekaligus mengurangi penggunaan pupuk anorganik (Hartatik & Widowati, n.d.)
4. Mengendalikan hama secara hayati atau Pengendalian Hama Terpadu (PHT)
Prinsip PHT melibatkan pendekatan holistik dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman. Selain menggunakan musuh alami

hama, prinsip ini juga menerapkan teknik-teknik pengendalian mekanis dan budaya tanaman yang dapat mengurangi populasi hama secara alami.

5. Melakukan rotasi tanaman

Pola tanam rotasi dan polikultur adalah prinsip pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk mempertahankan kesuburan tanah dan mengurangi risiko serangan hama dan penyakit. Dengan melakukan rotasi tanaman dan menanam beberapa jenis tanaman secara bersamaan, sistem pertanian menjadi lebih stabil dan lebih tahan terhadap perubahan lingkungan.

6. Mengelola kesuburan tanah dengan tepat

Dapat dilakukan dengan berbagai cara dengan cara pemberian pupuk organik, pengendalian gulma dengan herbisida nabati, pengaturan pola tanam, tumpang sari yang dapat memicu perkembangan biota tanah (Permana et al., 2023)

7. Menggunakan varietas tanaman yang tahan iklim

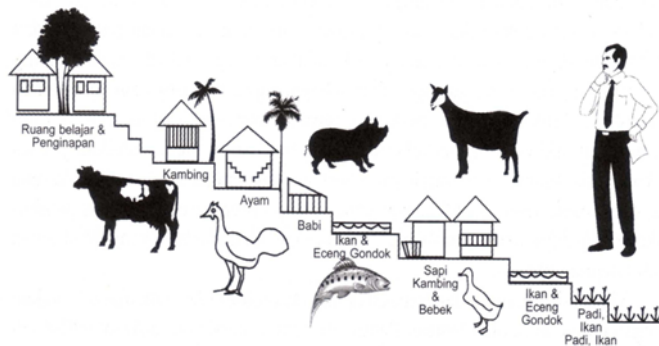
Penggunaan varietas tanaman lokal yang memiliki ketahanan alami terhadap kondisi lingkungan setempat dapat mengurangi ketergantungan pada varietas hibrida yang memerlukan pupuk dan pestisida lebih banyak.

Manfaat pengelolaan ekosistem pertanian terpadu

1. Meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman
2. Membekali pertanian dengan ketahanan terhadap perubahan iklim
3. Memastikan keamanan pangan
4. Mengurangi kelaparan dan kekurangan gizi
5. Menjaga keseimbangan ekosistem
6. Mencegah degradasi lingkungan

Contoh penerapan pertanian terpadu

1. Menggabungkan budidaya tanaman, peternakan, dan perikanan



Gambar 2.2: Contoh Penerapan Sistem Pertanian Terpadu

2. Menggunakan limbah dari tanaman sebagai pakan ternak
3. Menggunakan kotoran ternak sebagai pupuk dan sumber energi (biogas)

Bab 3

Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit

3.1 Pendahuluan

Pengendalian hama dan penyakit tanaman merupakan tantangan utama dalam pertanian modern, di mana keberhasilan produksi tidak hanya ditentukan oleh aspek agronomis dan ekologi, tetapi juga oleh pertimbangan ekonomi. Di sinilah konsep ambang ekonomi menjadi sangat penting. Ambang ekonomi, atau economic threshold, didefinisikan sebagai tingkat investasi atau kerusakan di mana biaya yang dikeluarkan untuk pengendalian sebanding dengan kerugian yang akan terjadi jika intervensi tidak dilakukan. Pendekatan ini memungkinkan petani dan praktisi pengelolaan tanaman untuk mengambil keputusan yang rasional dan

efisien, sehingga intervensi pengendalian hama dan penyakit dapat dilakukan tepat waktu dan dengan intensitas yang optimal.

Dalam konteks pengelolaan terpadu hama dan penyakit (Integrated Pest Management/PHT), konsep ambang ekonomi menjadi salah satu pilar utama (Sari et al., 2025). Pedigo dan Rice (2014) menekankan bahwa penerapan ambang ekonomi tidak semata-mata didasarkan pada data populasi hama, melainkan juga mempertimbangkan analisis biaya-manfaat dari setiap intervensi. Dengan demikian, pengambilan keputusan dapat menghindari praktek pengendalian yang berlebihan, yang pada akhirnya dapat mengurangi penggunaan pestisida serta dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Lebih jauh lagi, penentuan ambang ekonomi harus memperhitungkan variabilitas faktor-faktor eksternal seperti kondisi iklim, keanekaragaman hayati, serta dinamika populasi hama dan penyakit. Pendekatan ini menuntut integrasi data epidemiologi dan ekonomi dalam suatu kerangka analisis yang komprehensif. Dengan demikian, ambang ekonomi tidak hanya berfungsi sebagai batas tindakan, tetapi juga sebagai alat evaluasi untuk menilai efektivitas strategi pengendalian yang diterapkan.

Ehler (2006) menyoroti bahwa keberhasilan pengendalian hama dan penyakit memerlukan pemahaman mendalam mengenai interaksi antara faktor biologi dan ekonomi. Inovasi dalam teknik monitoring dan analisis data telah memungkinkan pengembangan model prediktif yang lebih akurat dalam menentukan titik intervensi yang optimal. Hal ini mendasari pentingnya penelitian lanjutan dan kolaborasi antara ahli ekonomi, agronomi, dan ekologi untuk menyempurnakan konsep ambang ekonomi sebagai salah satu alat strategis dalam pengelolaan tanaman.

Pendahuluan ini tidak hanya menggambarkan dasar teori dari konsep ambang ekonomi, tetapi juga membuka jalan untuk pembahasan mendalam mengenai metodologi penetapan ambang, tantangan implementasi, serta prospek pengembangan kebijakan yang mendukung keberlanjutan pertanian. Dengan pemahaman yang komprehensif, diharapkan strategi pengendalian hama dan penyakit dapat dioptimalkan untuk mencapai

keseimbangan antara produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan.

3.2 Sejarah Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama Dan Penyakit

Konsep ambang ekonomi dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman merupakan bagian dari perkembangan sistem pengelolaan hama yang lebih luas, yang kemudian dikenal sebagai Integrated Pest Management/Pengelolaan Hama dan Penyakit Terpadu. Perkembangan ini tidak muncul secara tiba-tiba, melainkan merupakan hasil dari evolusi pemikiran dan praktik perlindungan tanaman yang berkembang selama beberapa abad terakhir. Sejarahnya mencerminkan perubahan dalam pendekatan ilmiah terhadap pengendalian hama, dari metode tradisional berbasis budaya hingga pendekatan terpadu yang menggabungkan ekologi, ekonomi, dan teknologi modern.

Dalam perkembangan awal perlindungan tanaman, pendekatan ekologis terhadap pengelolaan hama sudah disarankan oleh beberapa ilmuwan. Namun, selama beberapa dekade, pendekatan ekologis ini sering diabaikan karena munculnya teknologi baru dalam bidang perlindungan tanaman. Dengan berkembangnya ilmu kimia di akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, pengendalian hama beralih ke penggunaan pestisida sintetis, dimulai dengan penemuan campuran Bordeaux untuk pengendalian penyakit tanaman dan Paris Green untuk mengendalikan serangga (Smith et al., 1976). Keberhasilan pestisida dalam mengurangi populasi hama menyebabkan ketergantungan yang berlebihan pada metode ini. Selama periode ini, metode pengendalian berbasis ekologi dan budaya banyak ditinggalkan karena pestisida dianggap sebagai solusi cepat dan efektif.

Namun, seiring dengan penggunaan pestisida yang meluas, muncul berbagai masalah, termasuk resistensi hama terhadap bahan kimia, efek negatif terhadap musuh alami hama, dan pencemaran lingkungan. Masalah

ini menyebabkan para ilmuwan mulai mempertimbangkan kembali metode pengendalian yang lebih berkelanjutan, termasuk pendekatan berbasis ekologi dan ekonomi.

Pada tahun 1950-an, konsep ambang ekonomi mulai dikembangkan sebagai respon terhadap dampak negatif penggunaan pestisida secara berlebihan. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh (Stern et al., 1959) melalui gagasan Integrated Control, yang kemudian berkembang menjadi PHT. Ambang ekonomi didefinisikan sebagai tingkat populasi hama di mana biaya pengendalian masih lebih kecil daripada potensi kerugian ekonomi yang disebabkan oleh hama tersebut. Dengan kata lain, pestisida hanya boleh digunakan ketika kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh hama lebih besar daripada biaya pengendalian.

Penggunaan ambang ekonomi dalam pengendalian hama menandai pergeseran paradigma dari pendekatan berbasis eradikasi menuju pengelolaan populasi hama dalam ekosistem pertanian. Pendekatan ini bertujuan untuk menghindari penggunaan pestisida yang tidak perlu, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta mempertahankan keseimbangan ekologi dalam agroekosistem. Dalam konteks PHT, pendekatan ini diperkuat dengan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan pestisida yang tidak tepat dapat menyebabkan ledakan hama sekunder dan resistensi terhadap insektisida. Oleh karena itu, dalam strategi PHT, pengendalian hama harus mempertimbangkan faktor ekologi seperti keberadaan musuh alami, interaksi antara spesies hama, serta dinamika populasi dalam suatu sistem pertanian.

Sejak diperkenalkannya konsep ambang ekonomi, berbagai penelitian dan program telah dikembangkan untuk mengintegrasikan prinsip ini ke dalam praktik pertanian. Pada tahun 1972, pemerintah Amerika Serikat mulai mendanai proyek penelitian besar yang dikenal sebagai Huffaker IPM Project untuk mengembangkan strategi pengelolaan hama yang berbasis ekologi dan ekonomi. Proyek ini bertujuan untuk menciptakan sistem pengelolaan hama yang lebih berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada pestisida sintesis.

Dalam implementasi PHT, penggunaan ambang ekonomi membantu petani dalam menentukan kapan intervensi pengendalian diperlukan berdasarkan analisis biaya-manfaat. Lebih lanjut, konsep ambang ekonomi juga mendukung pengembangan metode pengendalian alternatif, seperti penggunaan agen hayati, rotasi tanaman, dan rekayasa genetika untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit. Dengan demikian, konsep ini tidak hanya membantu dalam mengurangi ketergantungan pada pestisida tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan sistem pertanian.

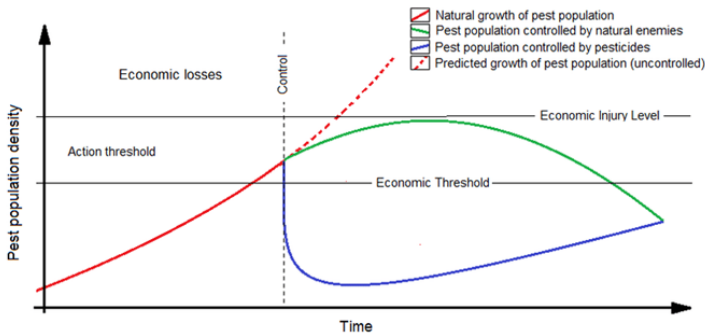
3.3 Penentuan Ambang Ekonomi Pengendalian Hama Dan Penyakit

Konsep ambang ekonomi dalam pengendalian hama tanaman merupakan pilar utama dalam strategi pengelolaan hama berbasis ilmiah. Sejak diperkenalkan, konsep ini telah mengalami perkembangan signifikan seiring dengan kemajuan ilmu ekonomi pertanian dan ekologi serangga. Ambang ekonomi bertujuan untuk menyeimbangkan antara efektivitas pengendalian hama dan biaya ekonomi, sehingga tindakan pengendalian hanya dilakukan jika keuntungan yang diperoleh lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan.

Stern et al., (1959) mendefinisikan dua konsep utama dalam ambang ekonomi, yaitu Aras Luka Ekonomi/Economic Injury Level (ALE/EIL) dan Ambang Ekonomi/Economic Threshold (AE/ET):

1. Ambang luka ekonomi (ALE) adalah kepadatan populasi hama terendah yang menyebabkan kerugian ekonomi sehingga membutuhkan biaya pengendalian. Dengan kata lain, ALE adalah titik kritis di mana kerugian akibat hama sama dengan biaya pengendalian.

2. Aras luka ekonomi (AE) merupakan kepadatan populasi hama di mana tindakan pengendalian harus dilakukan untuk mencegah populasi mencapai ALE. AE umumnya lebih rendah dari ALE karena tindakan pengendalian harus dilakukan sebelum kerugian ekonomi terjadi.



Gambar 3.1: Diagram Ambang Ekonomi (Economic Threshold) dan Aras Luka Ekonomi (Economic Injury Level) dalam pengendalian Hama dan Penyakit (Zielonka, 2021)

Konsep ini dikembangkan lebih lanjut oleh (Mumford and Norton, 1984) yang mengusulkan bahwa ALE tidak hanya mempertimbangkan kepadatan hama, tetapi juga harus mencakup aspek ekonomi, seperti biaya pengendalian dan nilai pasar hasil pertanian.

Penentuan ambang ekonomi dilakukan dengan pendekatan kuantitatif yang mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk dinamika populasi hama, tingkat kerusakan tanaman, nilai ekonomi hasil pertanian, serta efektivitas dan biaya pengendalian. Secara matematis, ALE dapat dinyatakan sebagai:

$$C(h) = D(x[s(h)])$$

di mana:

1. $C(h)$ adalah biaya pengendalian per hektar,
2. $D(x[s(h)])$ adalah nilai kerugian ekonomi akibat hama yang dihitung berdasarkan kepadatan hama x setelah penerapan metode pengendalian $s(h)$

Sementara itu, AE memperhitungkan dinamika populasi hama dengan mempertimbangkan keterlambatan dalam implementasi pengendalian. Rumus AE dinyatakan sebagai:

$$C(ht+q) - C(ht+r*) = D(xt[s(ht+r*)]) - D(xt[s(ht+q)])$$

di mana:

1. t adalah waktu pengambilan keputusan,
2. q adalah waktu antara pengambilan keputusan dan penerapan kontrol,
3. r adalah waktu sebelum tindakan pengendalian mencapai efektivitas penuh

Dalam penentuan ambang ekonomi pengendalian penyakit tanaman, memerlukan pemahaman tentang hubungan antara tingkat infeksi penyakit dan dampaknya terhadap hasil panen. Menurut Cooke (2006), evaluasi penyakit dilakukan melalui beberapa tahapan penting, yaitu:

1. Pengambilan sampel yang representatif dari suatu lahan pertanian merupakan langkah awal dalam menilai tingkat infeksi penyakit. Berbagai metode telah dikembangkan, termasuk pendekatan acak dan sistematis untuk memperoleh data yang valid mengenai persebaran penyakit di lapangan.
2. Penilaian Waktu dan Frekuensi Penyakit
Waktu dan frekuensi penilaian penyakit sangat menentukan akurasi dalam menentukan dampaknya terhadap hasil panen.

Penyakit yang berkembang secara cepat, terutama yang bersifat polisiklis, memerlukan pemantauan yang lebih sering dibandingkan penyakit monosiklik.

3. Metode kuantifikasi penyakit. Beberapa metode digunakan dalam mengukur tingkat keparahan penyakit pada tanaman, termasuk skoring visual berdasarkan gejala penyakit yang terlihat. Penggunaan indeks penyakit, di mana tanaman dikategorikan ke dalam kelas-kelas keparahan penyakit tertentu. Metode berbasis citra digital untuk analisis yang lebih objektif dan akurat.
4. Perhitungan Kerugian Hasil (Yield Loss Assessment), di mana hubungan antara tingkat penyakit dan kerugian hasil ditentukan melalui berbagai pendekatan kuantitatif, termasuk analisis regresi yang membandingkan hasil panen dari tanaman yang terinfeksi dan yang sehat. Faktor lingkungan, seperti kondisi tanah dan iklim, juga berperan dalam menentukan tingkat kehilangan hasil akibat penyakit.

3.4 Nilai Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit

Di Indonesia, penerapan ambang ekonomi (Economic Thresholds/ETs) secara praktis merupakan bagian integral dalam pengelolaan hama dan penyakit tanaman. Salah satu contohnya adalah pengelolaan wereng cokelat (*Nilaparvata lugens*) yang merupakan hama penting pada tanaman padi di Asia Tenggara. Penelitian menunjukkan bahwa ambang ekonomi untuk *N. lugens* pada tanaman padi mempertimbangkan kepadatan populasi hama serta tingkat kerusakan yang ditimbulkannya (Iamba and Dono, 2021). Petani dianjurkan untuk memantau populasi hama secara cermat dan menerapkan insektisida ketika kepadatan hama melebihi

ambang batas 5 hingga 10 ekor wereng per rumpun, bergantung pada tahap pertumbuhan padi dan praktik pertanian di masing-masing wilayah. Pendekatan strategis ini membantu meminimalkan penggunaan insektisida yang tidak perlu sekaligus memastikan bahwa kerusakan tanaman tidak melampaui tingkat yang dapat diterima secara ekonomi.

Disamping itu, ambang ekonomi (Economic Threshold) untuk serangan hama penggerek batang padi ditentukan berdasarkan kepadatan larva per rumpun, yang berperan krusial dalam menentukan waktu serta penerapan tindakan pengendalian hama, seperti aplikasi insektisida. Penelitian menunjukkan bahwa ambang ekonomi untuk penggerek batang kuning (*Scirphophaga incertulas*) umumnya ditetapkan sekitar 3 hingga 5 larva per rumpun pada tahap anakan serta 2 hingga 3 larva per rumpun pada tahap primordia dan pembungaan (Rahmawasih et al., 2022). Jika populasi hama melebihi ambang ini, petani dianjurkan untuk segera melakukan tindakan pengendalian, karena potensi kerugian ekonomi akibat kerusakan, termasuk penurunan hasil gabah dan menurunnya kualitas panen, lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan untuk upaya pengendalian.

Pada pengendalian penyakit tanaman, ambang ekonomi untuk penyakit bulai yang disebabkan oleh jamur *Peronosclerospora maydis* pada tanaman jagung umumnya ditetapkan pada sekitar 10% tanaman yang terinfeksi dalam suatu lahan (Ginting et al., 2020). Hal ini berarti bahwa ketika kejadian penyakit bulai teramati pada lebih dari 10% tanaman, tindakan pengendalian secara ekonomi dapat dibenarkan, termasuk aplikasi fungisida atau penggunaan varietas tahan. Petani dianjurkan untuk memantau tanaman secara cermat dan menerapkan praktik pengelolaan pada ambang tersebut guna mengurangi kerugian hasil dan kualitas, yang dalam kondisi serangan berat dapat mencapai hingga 100%.

Faktor lingkungan juga memainkan peran penting dalam efektivitas ambang ekonomi. Tingkat kelembaban, suhu, serta kondisi iklim di berbagai wilayah Indonesia dapat memengaruhi tingkat keparahan serangan *P. maydis*. Oleh karena itu, para peneliti sering

merekomendasikan penyesuaian ambang ekonomi berdasarkan kondisi lingkungan setempat guna meningkatkan akurasi prediksi terhadap kejadian penyakit dan tingkat ambang batas yang relevan (Bani et al., 2017).

3.5 Peluang dan Tantangan Penerapan Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit

Integrasi ambang ekonomi (AE) dalam strategi pengelolaan hama dan penyakit menawarkan peluang sekaligus tantangan dalam kerangka Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu (PHT). Dengan menetapkan tingkat kepadatan hama tertentu sebagai dasar pengambilan keputusan pengendalian, AE bertujuan untuk mengoptimalkan pengendalian hama sambil meminimalkan kerugian ekonomi dan dampak lingkungan.

Adapun beberapa peluang dalam penerapan ambang ekonomi yaitu:

1. Pengambilan Keputusan yang Terinformasi

Penggunaan AE memungkinkan petani untuk membuat keputusan yang lebih terinformasi dan tepat waktu, sehingga dapat mengurangi aplikasi pestisida yang tidak perlu. Misalnya, penelitian telah menetapkan ambang ekonomi untuk berbagai jenis hama, seperti *Plutella xylostella* pada tanaman kembang kol, yang memberikan panduan jelas mengenai waktu pengendalian untuk mencegah kerugian ekonomi (Subramanian et al., 2010). Pendekatan sistematis ini tidak hanya mendukung keberlanjutan ekonomi dalam usaha pertanian, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan ekologi melalui pengurangan input kimia.

2. Ambang Dinamis

Kemajuan terkini menunjukkan potensi penggunaan ambang ekonomi yang bersifat dinamis, yang mempertimbangkan kepadatan hama serta keberadaan musuh alami. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip keseimbangan ekologi dalam IPM, memungkinkan petani untuk mengelola hama secara lebih efektif dengan mempertimbangkan interaksi dalam agroekosistem. Pemanfaatan model ambang dinamis ini berpotensi menghasilkan strategi pengendalian hama yang lebih berkelanjutan dan efektif.

3. Praktik Pertanian Berkelanjutan

Penerapan AE mendorong adopsi strategi pengelolaan hama terpadu. Dengan berfokus pada ambang batas, petani dapat memprioritaskan pengendalian hayati dan praktik budidaya, selain penggunaan pestisida kimia. Hal ini berkontribusi pada sistem pertanian yang lebih berkelanjutan. Sebagai contoh, pengelolaan hama yang efektif berbasis AE dapat mendorong penggunaan varietas tanaman tahan hama dan penerapan rotasi tanaman yang lebih baik, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia (Tiwari, 2024).

4. Efisiensi Ekonomi

Penetapan ambang ekonomi memberikan dasar untuk analisis biaya-manfaat dalam strategi pengendalian hama. Dengan membandingkan biaya intervensi terhadap potensi kerusakan hasil panen, petani dapat mengevaluasi kelayakan ekonomi dari berbagai strategi pengelolaan hama. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan profitabilitas usaha pertanian, tetapi juga mendukung keberlanjutan jangka panjang dalam sistem pertanian (Zhu et al., 2023).

Disamping itu, implementasi ambang ekonomi dalam PHT oleh petani juga memiliki berapa tantangan, yaitu:

1. Penetapan Ambang Ekonomi yang Andal.

Salah satu tantangan utama dalam penerapan ambang ekonomi adalah kebutuhan akan nilai ambang yang akurat dan relevan secara lokal. Faktor-faktor seperti perilaku hama, kondisi iklim setempat, dan jenis tanaman sangat bervariasi, sehingga menyulitkan penetapan AE yang dapat diterapkan secara universal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian berkelanjutan untuk menentukan ambang ekonomi secara lebih presisi berdasarkan populasi hama setempat dan praktik pertanian yang digunakan.

2. Edukasi dan Keterlibatan Petani.

Keberhasilan penerapan ambang ekonomi sangat bergantung pada pemahaman dan penerimaan petani terhadap konsep ini. Namun, banyak petani yang mungkin belum memiliki pelatihan atau sumber daya yang memadai untuk memantau populasi hama secara akurat atau menafsirkan pedoman AE dengan efektif. Kesenjangan pengetahuan ini menekankan pentingnya program pelatihan dan sistem pendukung keputusan guna memberdayakan petani dalam pengelolaan hama yang lebih efektif.

3. Pemantauan dan Pengumpulan Data.

Pemantauan yang akurat terhadap populasi hama sangat penting untuk penerapan ambang ekonomi yang efektif. Tantangan dalam pengumpulan data, terutama pada sistem pertanian yang luas dan beragam, dapat menghambat penerapan AE. Teknologi seperti penginderaan jauh (remote sensing) dan sistem pendukung keputusan dapat membantu mengatasi kendala ini, namun

memerlukan investasi serta pengembangan infrastruktur yang memadai.

4. Manajemen Resistensi Pestisida

Ketergantungan berlebihan pada tindakan pengendalian tertentu yang dipicu oleh ambang ekonomi dapat menyebabkan perkembangan resistensi hama terhadap pestisida. Penerapan AE tanpa mempertimbangkan dinamika populasi hama dan perkembangan resistensi dapat berdampak negatif terhadap upaya pengelolaan hama dan penyakit dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pendekatan yang seimbang diperlukan, termasuk rotasi metode pengendalian hama serta integrasi pengendalian hayati untuk mengurangi risiko resistensi (Wati et al., 2024).

5. Dampak Lingkungan

Meskipun AE bertujuan untuk mengoptimalkan pengelolaan hama dan penyakit secara ekonomi, penerapannya yang kurang bijak dapat menimbulkan dampak negatif terhadap organisme non-target dan lingkungan. Interaksi antara OPT dan musuh alaminya perlu diperhitungkan untuk meminimalkan efek samping yang merugikan dari tindakan pengendalian.

Bab 4

Ekologi Hama dan Penyakit Tanaman

4.1 Pendahuluan

Biaya lingkungan terhadap kesehatan, keanekaragaman hayati, dan ketahanan sering diabaikan dalam penilaian biaya-manfaat. Kesadaran tentang manfaat metode pengelolaan hama berkelanjutan dalam pertanian berkembang di kalangan konsumen, petani, dan pembuat kebijakan, yang mengadvokasi lebih mengenai praktik ramah lingkungan berkelanjutan dan praktik pertanian berbasis agroekologi. Data yang menunjukkan bahwa metode produksi tanaman berbasis agroekologi dapat diterapkan secara ekonomis dan ramah lingkungan terus tumbuh tetapi membutuhkan insentif yang efektif. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) telah memimpin koordinasi internasional untuk membantu transisi negara untuk sistem pangan dan pertanian yang berkelanjutan dan telah menerbitkan seperangkat prinsip yang terdiri dari 10 elemen yaitu keragaman, pengembangan dan saling berbagi pengetahuan, sinergitas,

efisiensi, daur ulang, ketahanan, nilai kemanusiaan dan sosial, budaya dan tradisi makanan, tata kelola yang bertanggung jawab, dan ekonomi sirkuler elemen tersebut sangat penting untuk memandu transisi dunia ke agroekologi intensifikasi produksi pangan (FAO 2018). Elemen tersebut berkelompok di sekitar lingkungan utama, ekologis, dan paradigma sosial dan telah melihat restrukturisasi dan pertumbuhan modal sosial di komunitas pertanian untuk meningkatkan produktivitas pengelolaan pertanian dan lahan sistem (Hatt et al., 2016).

Tiga komponen penting untuk sebagian besar penyakit menular yaitu patogen, tanaman inang, agen pembawa atau vektor, dan faktor lingkungan. Beberapa patogen dibawa oleh vektor sebagai inang perantara untuk menyelesaikan siklus hidupnya. Kondisi iklim dan cuaca yang sesuai diperlukan untuk kelangsungan hidup, reproduksi, distribusi dan penularan patogen penyakit pada tumbuhan, hewan, vektor, dan bahkan manusia (Wu et al. 2016).

4.2 Pengaruh Bahan Kimia pada Ekologi Hama Penyakit Tanaman

Pengelolaan tanaman untuk pengendalian hama telah dilakukan sebagian besar masyarakat di seluruh dunia dan merupakan salah satu intervensi utama untuk mengelola hama tanaman pertanian sebelum pengembangan pestisida sintetis (Gerwick dan Sparks, 2014). Intensifikasi pertanian dan adopsi praktik monokultur skala besar dan pemuliaan tanaman yang berfokus pada pengembangan varietas dengan peningkatan hasil, dapat memperburuk masalah hama dan penyakit (Bommarco et al., 2011) dan mengurangi keanekaragaman hayati (Raven dan Wagner, 2021). Hama yang telah menyerang tanaman pada pertanian intensif dan penggunaan bahan kimia sintetis yang dirancang untuk mengendalikan hama dengan cepat dan bertahan di lingkungan untuk mencegah invasi hama kembali dapat menyebabkan gangguan tanaman berkembang semakin parah

(Heong et al., 2015). Selain itu, penggunaan pestisida seringkali tidak bermanfaat dalam banyak sistem pertanian (Pretty dan Bharucha, 2015).

Selam pertengahan abad ke-20, penggunaan bahan kimia pertanian sintetis dianggap sangat efisien dan hemat biaya. Namun, biaya lingkungan untuk kesehatan, keanekaragaman hayati, dan ketahanan tanaman seringkali diabaikan dalam hal biaya dan manfaat (D'Annolfo et al., 2017; Kanter et al., 2018). Meskipun bahan kimia digunakan untuk mengendalikan arthropoda, patogen tanaman, dan gulma telah membaik selama beberapa dekade terakhir (Seiber dan Kleinschmidt, 2011), kerugian biologi terjadi dalam hal hilangnya keanekaragaman hayati (Zabel et al., 2019; Raven dan Wagner, 2021). Selain itu, pestisida sintetis juga terus menjadi masalah pada kesehatan manusia terutama di negara dengan tingkat penghasilan rendah dan menengah di mana tingkat paparan senyawa sintetis seringkali jauh di atas standar keamanan (Boedeker et al., 2020). Gangguan regulasi hama alami dengan insektisida sintetis yang membunuh parasitoid dan invertebrata predator sekarang dipahami dengan baik dalam konteks pertanian global (Overton et al., 2021) dan secara ironis dapat menyebabkan peningkatan penggunaan insektisida, yang selanjutnya mengurangi keanekaragaman hayati dan ketahanan habitat (Cardoso et al., 2020) dengan dampak ekonomi (Huang et al., 2018). Oleh karena itu, menghilangkan penggunaan pestisida sintetis harus menjadi tujuan utama untuk meningkatkan produksi pangan dan membantu mendukung proses alami agroekologi (Belmain et al., 2022). Sebagai contoh dapat digunakan pestisida botani yang menjadi titik masuk bagi petani kecil untuk terlibat dengan konsep biorasional dan mengadopsi praktik hama dan penyakit agroekologi jangka panjang termasuk tumpang sari, konservasi pengendalian hayati, rekayasa ekologi, dan peningkatan keanekaragaman hayati (Mkenda et al., 2019). Untuk itu, diperlukan praktik jangka panjang untuk menyoroti bahwa pestisida botani lebih dari sekedar substitusi input untuk petani kecil (Isman, 2008).

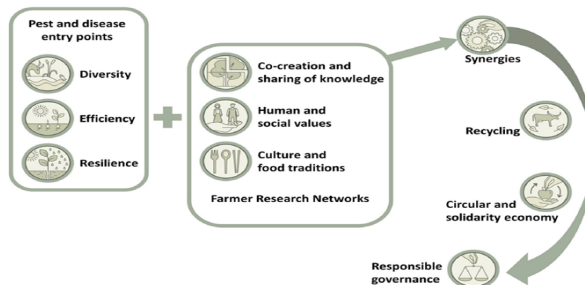
Faktanya banyak petani kecil memproduksi pestisida botani secara mandiri dari tanaman yang sengaja ditanam atau dikumpulkan dari sumber daya yang tersedia secara lokal (Grywacz et al., 2014). Beberapa bahan tanaman

yang digunakan secara lokal dapat berupa sumber limbah misalnya biji buah atau tanaman bermanfaat seperti *Tephrosia vogelii* yang digunakan tidak hanya . untuk memperbaiki tanah tetapi juga dipanen untuk pengendalian hama. Input di pertanian yang digunakan oleh petani kecil untuk pengendalian hama memang dapat dianggap sebagai agroekologi di alam karena sumber daya bersifat lokal dengan banyak peran pendukung ekologis, misalnya biokontrol konservasi (nektar/serbuk sari), dukungan terhadap tanah (spesies kacang-kacangan), atau limbah daur ulang (kulit jeruk, limbah benih) (Rosset dan Altieri, 1997). Teknologi pengendalian hama secara nabati bersamaan dengan insektisida sintetis juga efektif sekaligus jauh lebih aman bagi serangga bermanfaat (Tembo et al., 2018).

Revitalisasi dan teknologi pengelolaan hama dan penyakit telah dilakukan pada banyak sistem produksi di seluruh dunia tetapi membutuhkan adopsi yang lebih luas (Pretty et al., 2018). Penelitian Nelson et al., 2016 di Tanzania dan Malawi membuktikan ekstrak tanaman dapat digunakan untuk mengelola hama dan layak secara ekonomi membantu memulihkan regulasi hama secara alami. Hal ini menunjukkan kontribusi untuk ketahanan tanaman dan kesehatan manusia melalui pengetahuan yang bersinergi dengan bisnis pembangunan, ekonomi sirkuler, dan mendukung tata kelola yang bertanggung jawab (Belmain et al., 2022).

Kesadaran mengenai manfaat metode pengelolaan hama berkelanjutan dalam pertanian telah berkembang di kalangan konsumen, petani, dan pembuat kebijakan yang mengadvokasi praktik berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan dan adopsi agroekologi pertanian (Wezel et al, 2020). Bukti bahwa konsep agroekologi produksi tanaman ekonomis dan ramah lingkungan terus tumbuh, namun memang hal ini membutuhkan insentif yang efektif (Pinheiro et al., 2020). Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) PBB telah memimpin koordinasi internasional untuk membantu transisi negara untuk sistem pangan dan pertanian yang berkelanjutan dan menerbitkan seperangkat prinsip yang terdiri dari 10 elemen terdiri dari keragaman, kreasi bersama dan berbagi pengetahuan, sinergi, efisiensi, daur ulang, ketahanan, nilai-nilai kemanusiaan dan sosial, budaya dan tradisi makanan, tata kelola yang bertanggung jawab, serta ekonomi sirkuler

(Gambar 1). Hal ini bertujuan untuk memandu transisi dunia ke intensifikasi agroekologi produksi pangan (FAO, 2018). Elemen ini terdapat di sektor lingkungan, ekologis, dan paradigma sosial, serta telah melihat restrukturisasi dan pertumbuhan modal sosial di komunitas pertanian untuk meningkatkan produktivitas pengelolaan pertanian dan sistem lahan (Hatt et al., 2016). Hal ini telah memberdayakan mereka yang membutuhkan dukungan kebijakan dalam skala regional untuk mengoptimalkan manfaat sosial (Pretty et al., 2020).



Gambar 4.1: Elemen agroekologi dengan penekanan bagaimana bertindak sebagai kerangka kerja yang difasilitasi oleh pengelolaan hama dan penyakit secara ekologis untuk membantu mewujudkan perlindungan tanaman yang lebih berkelanjutan secara lingkungan dan sosial serta transisi ke praktik pertanian agroekologis (FAO 2018)

Dibandingkan beberapa parameter pembatas tanaman, kerusakan dan kehilangan hasil dari hama dan penyakit seringkali terlihat secara visual sehingga lebih mudah untuk melibatkan pemangku kepentingan dalam pendekatan untuk mengatasi masalah (Stevenson et al., 2017). Pendukung sosial untuk pengendalian hama berkelanjutan relatif mudah dimanfaatkan, bertindak sebagai titik masuk transisi sistem pertanian untuk mengadopsi konsep agroekologi. Di semua wilayah dan budaya, penggunaan pestisida botani tetap menjadi konsep yang dapat diidentifikasi (Stevenson et al., 2020). Kesadaran tentang penggunaan produk alami sebagai obat-obatan, obat herbal, serta untuk pengendalian hama seringkali menjadi kebiasaan, baik di negara maju maupun negara kecil (Balick dan Cox, 2020). Beberapa produk pengendalian hama pertanian paling awal yang diproduksi secara

komersial didasarkan pada ekstrak tanaman yang mengandung rotenone (Derris dan *Lonchocarpus* spp.) atau peritrum (*Tanacetum cinerariifolium*) (Isman 2006). Produksi pertanian organik saat ini terus mengandalkan produksi piretrum alami serta produk nimba yang diekstraksi dari *Azadirachta indica*, produk yang dijual secara luas dan berskala besar di Amerika Utara, Eropa, Cina, dan India (Isman, 2020). Terutama di daerah tropis, terdapat banyak spesies tanaman lokal yang telah teridentifikasi memiliki bahan pengendali hama, banyak di antaranya telah diteliti secara ilmiah dan dikonfirmasi memiliki bioaktivitas melalui uji coba terkontrol (Isman dan Grieneisen, 2013).

Pengetahuan mengenai jasa ekosistem dan peran invertebrata yang bermanfaat untuk membantu mengatur hama dan penyerbuk untuk mengoptimalkan hasil panen juga terbatas (Elisante et al., 2019; Tarakini et al., 2020). Studi lain menunjukkan beberapa petani mungkin menganggap semua serangga merugikan, sementara petani lainnya tidak mempertimbangkan masalah keanekaragaman hayati dalam manajemen pertanian (Busse et al., 2021). Kebutuhan melestarikan dan memperkuat pengetahuan tradisional untuk pengendalian hama berkelanjutan tidak pernah berkembang sebesar ini, 10 elemen agroekologi dapat digunakan sebagai kerangka kerja untuk memfasilitasi pengelolaan hama dan penyakit secara ekologis. Pengelolaan hama dan penyakit merupakan titik masuk yang relevan secara sosial yang memungkinkan prinsip agroekologis yang lebih luas untuk diadopsi (Belmain et al., 2022).

Praktik agroekologi yang menggabungkan ilmu pengetahuan modern dan pengetahuan tradisional dapat mendukung regulasi hama secara alami melalui rotasi tanam, tumpangsari, keanekaragaman tanaman margin, dan penggunaan pestisida botani (Mkenda et al., 2019; Ouyang et al., 2020; Mwani et al., 2021). Pendekatan ini seringkali kompatibel satu sama lain (Ndakidemi et al., 2021) dan sering mengikuti praktik produksi tanaman tradisional yang membuat penerapannya lebih mudah (Wezel et al., 2009). Nilai kemanusiaan dan sosial berhubungan dalam pengelolaan hama dan penyakit melalui kebutuhan agroekologi didasarkan pada produksi pertanian yang merupakan pengetahuan intensif, ramah lingkungan, sosial,

bertanggung jawab, inovatif, dan tergantung pada keterampilan tenaga kerja. Agroekologi bertujuan untuk melindungi dan meningkatkan mata pencaharian pedesaan, kesetaraan, dan kesejahteraan sosial di mana masalah penyakit terjadi. Aksi masyarakat dapat membantu mengurangi masalah hama dan penyakit melalui tindakan terkoordinasi. Konvensi PBB mengenai keanekaragaman hayati telah menyusun peraturan yang diratifikasi oleh 132 negara yang menyediakan kerangka hukum untuk berbagi pengetahuan dan sumberdaya genetik misalnya produk pengendalian hama baru. Elemen ini sangat penting antara petani dan ilmuwan yang harus bekerja sama untuk mengoptimalkan penggunaan pestisida botani dan mengelola lahan untuk mengoptimalkan regulasi hama secara alami untuk meningkatkan kelimpahan predator dan parasitoid sekaligus mengurangi kelimpahan spesies hama melalui rekayasa ekologi (Kebahagiaan 2017; Charatsari et al., 2020).

Fitur ekologis sentral dari pengelolaan hama dan penyakit terutama berkaitan dengan 3 elemen FAO yaitu keanekaragaman, efisiensi, dan ketahanan. Faktor-faktor ini mendasari potensi perkembangan serangga dan patogen ke tingkat di mana kerusakan tanaman melampaui ambang batas kerusakan ekonomi dan di mana status hama menjadi jelas. Keanekaragaman hayati dalam perlindungan tanaman sangat penting di dalam area tanam dan didukung melalui strategi rotasi tanaman dan tumpangsari yang memastikan spesies tanaman campuran ditanam berdampingan satu sama lain, serta keanekaragaman habitat yang berdekatan dengan area tanam, seperti area di sekitar lahan, jenis tanaman di sekitarnya, dan keanekaragaman di seluruh lahan (Mkenda et al. 2019).

Tanaman campuran dapat mengurangi kelimpahan serangga dan penyakit yang menyebar dengan menciptakan barrier tanaman berbeda. Dengan demikian, mengurangi praktik monokultur memiliki dampak positif yang signifikan pada pengelolaan hama dan penyakit. Monokultur dapat dibuat lebih berkelanjutan melalui praktik penanaman tepi bunga atau strip bunga pada tanaman yang menyediakan makanan dan tempat persembunyian bagi predator dan parasitoid yang dapat menambah populasi mereka pada saat penting ketika spesies mangsa melimpah. Mempertahankan tanaman

margin di lahan, meningkatkan keanekaragaman tanaman dari margin lahan, dan bahkan rekayasa margin lahan dengan menanam spesies tanaman tertentu yang bermanfaat. Hal ini terbukti menjadi strategi efektif dalam memfasilitasi musuh alami hama tanaman. Memastikan keanekaragaman tanaman di berbagai skala lanskap pertanian biasanya merupakan praktik yang baik untuk memastikan keanekaragaman serangga lebih tinggi yang mengarah pada peningkatan pengelolaan hama secara alami dan kelimpahan musuh alami lebih tinggi. Jasa ekosistem lainnya seperti penyerbukan yang lebih baik juga difasilitasi dengan memastikan keanekaragaman tanaman yang baik di dalam dan sekitar area pertanaman (Arnold et al., 2021; Raderschall et al., 2021), dan keragaman seringkali dapat membantu memperbaiki kesuburan tanah (McDaniel et al., 2014; Tian et al., 2019; Saleem et al., 2020).

Dengan demikian, keragaman membantu memungkinkan unsur efisiensi dan ketahanan. Habitat yang sehat adalah habitat yang beragam. Ketahanan terhadap hama dan penyakit seringkali berasal dari faktor kesuburan tanah, akses nutrisi dan air di mana tanaman yang kuat dan dapat menggunakan pertahanan alami terhadap serangan, atau meningkatkan mekanisme pertumbuhan pasca serangan (Blundell et al., 2020), artinya terjadi sinergi dengan pendekatan seperti pertanian konservasi (Fanadzo et al., 2018). Penggunaan ekstrak tanaman juga dapat membantu memfasilitasi pertahanan tanaman alami melalui stimulasi pertahanan endogen serta bertindak sebagai pupuk daun yang memperkuat ketahanan tanaman (Mkindi et al., 2020).

Elemen ketahanan agroekologi juga relevan bagi petani dan masyarakat ketika masyarakat dapat menggunakan sumberdaya lokal terbarukan yang tersedia untuk pengelolaan hama dan penyakit. Di sebagian besar negara berpendapatan rendah dan menengah, input agrokimia diimpor dan bahkan disubsidi oleh pemerintah daerah (Tambo et al., 2020). Produk ini dapat membuat ketergantungan impor dan mengganggu pengelolaan hama penyakit tanaman. Hal ini contohnya penggunaan produk tanaman biopestisida lokal yang tersedia. Pengembangan dan penguatan nilai tumbuhan lokal atau bisnis memelihara agens pengendali hayati dapat

menyebabkan peningkatan ketahanan sosial ekonomi dalam praktik pengelolaan hama, dan mengurangi kebutuhan impor pestisida sintetis.

Penggunaan tanaman pestisida dan regulasi hama secara alami membantu mengurangi kebutuhan sumber daya eksternal lainnya. Misalnya penggunaan pestisida botani tidak hanya bertindak sebagai pupuk daun (Mkindi et al., 2020), tetapi beberapa spesies tanaman digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dengan cara lain. Penelitian mengenai tanaman Legum *T. vogelii* menunjukkan bahwa tanaman Legum tidak hanya dapat digunakan sebagai pilihan pengendalian hama yang sangat efektif tetapi juga untuk membantu meningkatkan kesuburan tanah melalui kemampuannya memperbaiki nitrogen dan akar yang dalam yang membantu membawa mineral lebih dekat ke permukaan untuk diakses oleh tanaman (Belmain et al., 2012). Tanaman pestisida lainnya seperti *Tithonia diversifolia* sering digunakan sebagai mulsa hijau atau tanaman penutup. Berbagai kegunaan spesies tanaman yang digunakan untuk mengendalikan hama menyoroti potensi multifungsi beberapa spesies tanaman yaitu *piretrum* dan tanaman pestisida lainnya.

4.3 Pengelolaan Hama dan Transisi Agroekologi

Pertanian agroekologi diakui sebagai pengetahuan intensif yang membutuhkan kesadaran cukup besar dalam banyak hal. Untuk menerapkan prinsip agroekologi, telah diperdebatkan bahwa membantu petani untuk beradaptasi dengan agroekologi dapat membutuhkan pemecahan masalah yang lebih kuat melalui tambahan pengetahuan yang memungkinkan proses pembelajaran kolaboratif antara peneliti, petani, dan pemangku kepentingan yang relevan lainnya. Baru-baru ini konsep jaringan riset petani (Farmer research network/ FRN) telah diusulkan untuk meningkatkan keterlibatan petani dalam proses penelitian, khususnya untuk melaksanakan penelitian agroekologi dalam skala besar

dengan banyak petani di berbagai konteks yang memberdayakan petani untuk mengevaluasi dan menyesuaikan praktikum agroekologi dengan nilai dan tradisi lokal (Nelson et al., 2016).

Elemen penting FRN adalah sebagai berikut: 1) petani ikut menyusun agenda penelitian, 2) petani terlibat selama proses percobaan, 3) petani memperkuat kapasitas mereka untuk memperoleh dan mencari pengetahuan, dan 4) jaringan adalah komunitas inklusif (Richardson et al., 2021). Penelitian terkini menunjukkan bahwa FRN dapat menjadi cara efektif untuk terlibat dengan masalah hama dan penyakit yang dialami komunitas petani kecil di Tanzania dan Malawi. Pengendalian hama dan penyakit menjadi prioritas yang jelas bagi semua petani. Hal tersebut menjadi titik masuk yang didukung secara luas untuk mengembangkan produksi tanaman yang lebih ramah lingkungan, terutama dengan terlebih dahulu menunjukkan kepada petani bahwa produk biopestisida dapat mengendalikan secara efektif seperti pestisida sintetis dalam melindungi tanaman, tanpa biaya produk komersial serta tanpa masalah keselamatan dan kesehatan yang dapat dialami petani ketika menggunakan pestisida sintetis (Mkindi et al., 2021).

4.4 Lingkungan Ekologis yang Menguntungkan Patogen

Tanah yang sehat adalah kunci pertanian berkelanjutan termasuk penanganan penyakit tanaman melalui dampaknya terhadap kepadatan patogen terutama penyakit yang ditularkan melalui tanah, struktur mikroba yang menguntungkan komunitas dan ketersediaan nutrisi organik dan anorganik untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selama beberapa dekade terakhir, polusi air dan udara akibat emisi industri dan limbah pertanian, serta penggunaan bahan kimia yang berlebihan untuk merawat tanaman dan mengelola hama dan gulma telah menghasilkan banyak perubahan yang mengurangi kualitas lahan pertanian melalui

pemadatan tanah, mengurangi bahan organik, ketidakseimbangan mineral, dan kontaminasi residu logam berat serta pestisida. Selanjutnya penurunan kualitas lahan pertanian dapat semakin mengurangi ketahanan tanaman inang terhadap infeksi patogen.

Strategi pengelolaan pertanian dapat berdampak besar pada kualitas tanah dengan efek konsekuensi pada kejadian penyakit. Dengan demikian, sebagian besar praktik yang dirancang untuk meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan mikroorganisme bermanfaat dan keanekaragaman hayati mikroba di lahan pertanian melalui kegiatan seperti suplementasi bahan organik juga membantu menekan perkembangan sebagian besar penyakit. Rotasi tanaman biasanya meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah seperti keseimbangan nutrisi serta keanekaragaman komunitas mikroba. Di sisi lain, teknik manajemen dan produksi lapangan seperti penanaman terus menerus dan monokultur tanaman tunggal atau varietas meningkatkan risiko terjadinya penyakit dan epidemi dengan memungkinkan patogen menumpuk inokulum yang tinggi. Hal ini terutama terjadi pada penyakit yang ditularkan melalui tanah tetapi juga berlaku untuk banyak penyakit daun

4.5 Perkembangan Deteksi Hama Penyakit Tanaman pada Ekologi Modern

Pada tahun 2019, komponen biotik yang dinamakan *C. auris* telah dikategorikan sebagai ancaman mendesak bagi kesehatan masyarakat. Meningkatnya jumlah infeksi pada tanaman di seluruh dunia ini telah diaktikan dengan karakteristik jamur patogen tanaman yang dapat bertahan hidup dalam jangka waktu yang lama (Arora et al. 2021). Hama dan penyakit tanaman sebagai komponen biotik di alam merupakan risiko penting yang dihadapi dalam pertanian. Untuk mendeteksi komponen

biotik hama dan penyakit tanaman di berbagai belahan dunia, diperlukan teknik di bidang klasifikasi citra berbasis daun. Identifikasi antara kumpulan data daun sehat dan sakit yang dibuat, pembuatan kumpulan data lanjutan, dan ekstraksi fitur merupakan bagian yang penting (Sara et al. 2021).

Bab 5

Identifikasi Penyakit Tanaman

5.1 Pendahuluan

Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor utama yang menurunkan produktivitas pertanian. Penyakit ini disebabkan oleh berbagai patogen seperti nematoda, jamur, bakteri, dan virus, serta dapat diperparah oleh kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Jika tidak dikendalikan dengan baik, penyakit tanaman dapat menyebar dengan cepat dan menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi petani. Oleh karena itu, dalam konsep PHT, identifikasi penyakit dilakukan secara sistematis untuk menentukan metode pengendalian yang tepat dan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Identifikasi penyakit tanaman adalah proses mengenali dan menganalisis gangguan kesehatan pada tanaman yang disebabkan oleh patogen (nematoda, jamur, bakteri, virus) atau faktor lingkungan yang tidak mendukung. Proses ini bertujuan untuk mendeteksi gejala sejak dini agar dapat menerapkan strategi pengendalian yang tepat dan efektif. Gejala

penyakit dapat terlihat pada bagian tanaman, seperti daun, batang, akar, buah, dalam bentuk perubahan warna, bercak, layu, busuk, dll. Dalam praktik pertanian modern, metode identifikasi penyakit tanaman dapat dilakukan melalui berbagai cara, termasuk pengamatan gejala visual, pemantauan lingkungan, pengujian laboratorium, dan pemanfaatan teknologi digital. Identifikasi yang akurat memungkinkan petani untuk mengambil tindakan pengendalian yang sesuai sebelum penyakit menyebar secara lebih luas, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pertanian dan mengurangi risiko gagal panen. Dengan penerapan pengenalan penyakit yang baik dalam PHT, sistem pertanian dapat menjadi lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan menguntungkan bagi petani dalam jangka panjang.

5.2 Gejala dan Tanda Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman didefinisikan sebagai suatu proses fisiologis tanaman yang abnormal disebabkan oleh faktor biotik dan abiotik sehingga mengakibatkan aktivitas sel/ jaringan tanaman yang abnormal (Sinaga, 2023). Dalam melakukan identifikasi penyakit tanaman, penyakit tanaman ditandai dengan munculnya gejala dan tanda. Gejala penyakit merupakan manifestasi secara nyata dalam bentuk perubahan fisiologis atau morfologi dari interaksi patogen dan tanaman inang (Yudiarti, 2007). Gejala dapat berubah dengan berkembangnya penyakit, gejala dibedakan menjadi beberapa macam tergantung lingkungan, varietas dari inang, dan ras patogen. Gejala penyakit terdiri dari beberapa macam yaitu gejala primer, sekunder, lokal atau sistemik, gejala histologi atau morfologi (Sinaga, 2003). Tanda penyakit tanaman adalah struktur tubuh patogen yang terdapat di dalam sel/ jaringan maupun permukaan bagian tanaman yang terinfeksi. (Yudiarti, 2007). Tanda penyakit berupa spora/konidia atau miselium dari jamur, telur/juvenil atau imago dari nematoda, ataupun sel lendir dari bakteri (Sinaga, 2023). Tanda penyakit tanaman terdiri dari beberapa kelompok patogen yaitu nematoda, jamur, bakteri dan virus.

Nematoda merupakan cacing mikroskopis yang dilengkapi dengan stilet, bersifat parasit, hidup di dalam tanah dan menyerang akar tanaman, menghambat penyerapan air serta nutrisi sehingga menyebabkan penyakit tanaman. Gejala serangan nematoda sering kali sulit dideteksi secara langsung, tetapi dapat dikenali dari tanaman yang tampak kerdil, menguning, atau mudah layu meskipun kondisi air tanaman mencukupi. Utami et al., (2017) mengemukakan bahwa nematoda parasit seperti *Meloidogyne* spp. (nematoda puru akar) menyebabkan pembentukan puru atau bintil pada umbi dan akar pada tanaman kentang. Gejala yang ditunjukkan dengan terganggunya pertumbuhan tanaman, layu, kerdil, daun klorosis serta penurunan hasil panen. Menurut Pawitrasari et al., (2022) jenis lain, seperti *Pratylenchus* spp. (nematoda lesi akar), merusak jaringan akar dengan menciptakan luka-luka kecil/ nekrotik berwarna coklat pada kulit polong dan akar tanaman kacang tanah

Patogen jamur memiliki morfologi yang beragam berupa hifa/miselium, bersepta, spora, konidia. Jamur patogen dapat menyebar dengan cepat dan menyebabkan kerusakan yang signifikan. Menurut Manohara (2005) penyakit busuk pangkal batang oleh *Phytophthora capsici* pada tanaman lada menyebabkan gejala daun bercak, tanaman layu dan mati akibat sistem perakaran yang rusak. Syaifudin (2020) mengemukakan *Fusarium* spp memiliki banyak kisaran inang dan menyebabkan gejala layu fusarium yang menghambat aliran air dan nutrisi di dalam tanaman, sehingga daun menguning, lesio pada pangkal batang dan akhirnya mati. Penyebaran jamur seringkali dipengaruhi oleh kelembapan tinggi dan sirkulasi udara yang buruk.

Kelompok patogen bakteri umumnya menyebabkan kerusakan serius pada berbagai jenis tanaman dengan menyerang jaringan daun, batang, akar, dan buah. Penyakit hawar daun tanaman padi yang disebabkan oleh *Xanthomonas oryzae* (Yanti et al., 2018), penyakit busuk lunak pada sayuran oleh *Erwinia carotovora* (Maharijaya et al., 2008), dan bercak daun bakteri (*Pseudomonas syringae* pada tomat). Gejala yang sering muncul meliputi bercak basah pada daun, pembusukan jaringan, eksudat berlendir, serta layu yang terjadi secara tiba-tiba. Penyebaran bakteri biasanya terjadi

melalui air hujan, percikan tanah, serangga vektor, atau alat pertanian yang terkontaminasi.

Patogen virus tanaman yang terdiri asam nukleat (DNA atau RNA) yang terbungkus dalam protein kapsid dan tidak memiliki struktur seluler, sehingga bergantung pada sel inang untuk bereplikasi (Matthews, 1991). Infeksi virus umumnya menyebabkan gangguan pertumbuhan yang signifikan, seperti klorosis (daun menguning), mosaik, keriting, serta pertumbuhan kerdil, yang dapat menghambat proses fotosintesis dan metabolisme tanaman (Hull, 2014). Penyakit mosaik pada tembakau/Tobacco Mosaic Virus (TMV) dengan gejala warna daun hijau kekuningan dan pola tidak teratur, daun mengerut dan terpuntir (Manalu et al., 2024). Selain itu, penyakit tungro tanaman padi yang diinfeksi oleh Tungro bacilliform badnavirus (RTBV) dan Rice tungro spherical waikavirus (RTSV) dengan gejala kerdil, warna daun kuning-oranye dan penurunan anakan padi (Suprihanto, 2013). Virus menyebar melalui serangga vektor seperti kutu daun, thrips, dan wereng, serta melalui kontak langsung dengan tanaman yang terinfeksi.

5.3 Prinsip Dasar Identifikasi Penyakit Tanaman

Prinsip dasar identifikasi penyakit tanaman melibatkan pengamatan menyeluruh terhadap gejala dan tanda yang muncul pada tanaman yang terinfeksi. Gejala merupakan respons fisiologis tanaman terhadap serangan patogen, seperti perubahan warna daun, nekrosis, bercak, atau pembusukan, sedangkan tanda adalah bukti langsung keberadaan patogen, seperti miselium jamur, spora, atau lendir bakteri. Untuk memastikan bahwa penyakit disebabkan oleh organisme patogen dan bukan faktor abiotik seperti kekurangan nutrisi atau kondisi lingkungan ekstrem, perlu dilakukan perbandingan antara tanaman yang sakit dan tanaman sehat.

Deteksi dini dalam identifikasi penyakit tanaman merupakan langkah penting untuk mencegah penyebaran dan dampak negatif yang lebih luas. Dengan mengenali gejala awal penyakit, petani dapat segera mengambil tindakan pencegahan sebelum infeksi semakin parah. Gejala awal yang perlu diperhatikan meliputi perubahan warna daun, pertumbuhan terhambat, bercak kecil pada daun, serta adanya lendir atau serbuk putih yang menandakan infeksi patogen. Selain itu, penggunaan alat bantu seperti kaca pembesar atau mikroskop sederhana dapat membantu mengidentifikasi tanda-tanda patogen dengan lebih jelas. Identifikasi yang akurat juga memerlukan pemahaman tentang pola penyebaran penyakit, kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan patogen, serta karakteristik spesifik dari organisme penyebab penyakit.

Diagnosis akurat dalam identifikasi penyakit tanaman adalah proses penting yang menentukan keberhasilan dalam pengendalian penyakit. Proses ini melibatkan analisis mendalam terhadap gejala yang muncul, tanda patogen yang terdeteksi, serta kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan penyakit. Diagnosis harus dilakukan secara sistematis, mulai dari observasi lapangan hingga uji laboratorium yang lebih spesifik. Berbagai teknik ilmiah seperti isolasi dan identifikasi mikroba penyebab penyakit, pengujian serologi seperti ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), serta metode molekuler seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) untuk mendeteksi DNA atau RNA patogen. Selain itu, teknologi pencitraan multispektral dan sensor digital semakin banyak diterapkan untuk mengidentifikasi gejala awal penyakit yang tidak terlihat secara kasat mata. Kombinasi antara metode konvensional dan teknologi modern memungkinkan deteksi yang lebih cepat dan akurat, sehingga tindakan pengendalian dapat diterapkan secara tepat waktu.

Pencatatan dan pemantauan berkala dalam pengelolaan penyakit tanaman merupakan langkah krusial untuk mendeteksi pola perkembangan penyakit dan mengevaluasi efektivitas metode pengendalian yang diterapkan. Pencatatan yang sistematis mencakup informasi seperti jenis tanaman, gejala yang muncul, waktu pertama kali gejala terlihat, kondisi lingkungan saat itu, serta tindakan yang telah dilakukan. Dengan mencatat data ini

secara rutin, petani dapat mengidentifikasi tren penyakit dan menentukan apakah suatu penyakit bersifat musiman atau muncul akibat faktor tertentu seperti kelembaban tinggi atau kurangnya sirkulasi udara. Selain itu, pencatatan juga berguna sebagai referensi di masa mendatang untuk mengembangkan strategi pencegahan yang lebih efektif.

5.4 Metode Identifikasi Penyakit Tanaman

5.4.1 Pengamatan Visual

Pengamatan visual penyakit tanaman adalah metode awal dalam mendeteksi adanya gangguan pada tanaman dengan mengamati gejala dan tanda yang muncul secara langsung. Gejala yang umum diamati meliputi perubahan warna daun, bercak, layu, nekrosis, serta pertumbuhan terhambat ataupun berlebihan, yang dapat mengindikasikan adanya infeksi patogen atau gangguan lingkungan. Selain itu, tanda penyakit berupa nematoda sista, miselium jamur, spora, oze bakteri, atau serangga vektor virus juga menjadi indikator penting dalam diagnosis awal. Menurut Taufik et al., (2023) bahwa identifikasi visual gejala virus Gemini pada sampel tanaman cabai rawit yaitu daun berwarna hijau kekuningan berbentuk menggulung dan menangkup disertai tulang daun transparan. Wenas et al., (2016) mengemukakan bahwa pengamatan visual di lapangan tanaman kentang yang terinfeksi *R. solanacearum* yaitu daun atas melengkung kebawah, daun bawah menjadi kecoklatan, batang kecoklatan, berlendir, bagian umbi berwarna coklat, busuk dan berbau.

Hasil penelitian Condro et al., (2020) bahwa pengamatan visual tanaman vanili terserang penyakit dengan gejala kerusakan sulur dan kerusakan daun. Kerusakan sulur diawali dengan bercak berwarna hitam seperti memar pada permukaan kambium, sulur layu dan mengecil, dan bercak hitam membesar dan meluas mengelilingi ruas batang. Gejala kerusakan

daun yaitu bercak coklat bentuk spot pada permukaan daun. Adapun tanda patogen yang menyerang yakni *Fusarium moniliforme*. Inaya et al., (2022) mengidentifikasi morfologi penyakit dengan mengamati langsung beberapa gejala pada tanaman cabai. Penyakit bercak daun *Cercospora* tanaman cabai dengan gejala awal berupa bercak bulat kecil dan klorosis dan selanjutnya gejala nekrosis hingga terbentuk lobang. Penyakit busuk buah antraknosa tanaman cabai yang diawali gejala bercak bulat kecil berwarna coklat pada buah, selanjutnya bercak melebar ke seluruh permukaan buah hingga mengering dan mengerut berwarna coklat gelap.

Menurut Dermawan et al., (2024) bahwa identifikasi penyakit tanaman kelapa sawit dilakukan dengan pengamatan visual tanaman berupa gejala kerdil, daun baru menggulung, daun berubah kuning dan mengering serta tanda bunga membusuk sehingga tidak menghasilkan buah. Adapun tanda ditemukannya 4 genus nematoda parasit (*Helicotylenchus* sp, *Mylonchulus* sp, *Rhabditis* sp, dan *Aphelenchus* sp) pada sampel akar tanaman kelapa sawit. Pengamatan visual memerlukan ketelitian serta pemahaman mengenai pola penyebaran penyakit dan perbedaannya dengan gejala akibat faktor abiotik, seperti kekurangan nutrisi atau stres lingkungan. Metode ini sederhana dan cepat dilakukan di lapangan, serta menjadi langkah awal dalam diagnosis penyakit sebelum dilakukan analisis lebih lanjut di laboratorium.

5.4.2 Penggunaan Perangkap dan Alat Pemantauan

Penggunaan perangkap dan alat pemantauan penyakit tanaman merupakan strategi penting dalam mendeteksi serta mengendalikan penyebaran penyakit sejak dini. Berbagai jenis perangkap, seperti perangkap feromon dan perangkap kuning lengket, digunakan untuk menangkap serangga vektor yang dapat membawa patogen, seperti kutu daun dan thrips, yang sering menyebarkan virus tanaman. Penggunaan perangkap serangga seperti perangkap kuning lengket efektif untuk menangkap kutu kebul (*Bemisia tabaci*) dan thrips, yang merupakan vektor virus tanaman seperti Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) dan Tospovirus (Timmer et al., 2003).

Selain itu, sensor digital dan teknologi pencitraan multispektral semakin banyak digunakan untuk memantau perubahan fisiologis tanaman yang tidak terlihat secara kasat mata, sehingga memungkinkan deteksi dini sebelum gejala penyakit muncul. Alat seperti sensor kelembaban tanah dan kamera termal juga membantu mengidentifikasi kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan patogen, seperti kelembapan tinggi yang dapat memicu perkembangan jamur. Dengan penerapan perangkat dan alat pemantauan yang tepat, petani dapat mengambil tindakan pencegahan lebih awal, mengurangi penggunaan pestisida yang berlebihan, serta meningkatkan efektivitas pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan.

5.4.3 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium penyakit tanaman merupakan metode diagnostik yang digunakan untuk mengidentifikasi patogen secara akurat dan memastikan penyebab penyakit. Proses ini mencakup berbagai teknik konvensional seperti isolasi dan kultur patogen pada media selektif untuk mengidentifikasi nematoda, jamur, atau bakteri penyebab infeksi. Syahid et al., (2021) mengemukakan bahwa identifikasi morfologi nematoda penyebab penyakit puru akar tanaman jambu diawali dengan pengambilan sampel tanah di lapang, selanjutnya penghitungan puru akar dan nematoda menggunakan metode konvensional yaitu mikroskop binokuler. Hasil pengamatan berupa jumlah purin yang tinggi pada sampel akar, spesies nematoda betina dewasa, juvenil (J2) dari spesies *M. incognita* dan *M. javanica*.

Defitri (2013) mengidentifikasi jamur patogen tanaman padi secara konvensional dengan mengisolasi sampel gejala penyakit padi pada media PDA selama 2 x 24 jam. Selanjutnya jamur yang tumbuh pada media PDA diamati bentuk morfologi jamur tersebut di bawah mikroskop. Hasilnya diperoleh 4 jenis jamur patogen yaitu *Pyricularia oryzae*, *Drechslera oryzae*, *Curvularia* sp, *Alternaria* sp. Wenas et al., (2016) melakukan isolasi sampel penyakit layu oleh *R. solanacearum* dengan teknik pengenceran berseri dan

ditumbuhkan pada media NA. Bakteri yang tumbuh selanjutnya disubkultur kembali hingga diperoleh bakteri murni.

Selain itu, metode molekuler seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) digunakan untuk mendeteksi DNA atau RNA patogen dengan tingkat presisi yang tinggi, terutama dalam kasus infeksi virus yang sulit diamati secara langsung. Uji serologi seperti ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) juga sering diterapkan untuk mengkonfirmasi keberadaan patogen melalui interaksi antigen dan antibodi. Untuk patogen virus, pengujian dilakukan dengan menggunakan uji serologi maupun metode molekuler. Putra et al., (2015) melakukan identifikasi virus penyebab penyakit mosaik, kuning dan klorosis pada tanaman cabai rawit. Hasil uji serologi (ELISA) dari gejala mosaik diperoleh adanya Cucumber mosaic virus (CMV), Chilli veinal mottle virus (ChiVMV) dan Tobacco mosaic virus (TMV) dari golongan Potyvirus. Uji molekuler gejala kuning tanaman cabai rawit terinfeksi Pepper yellow leaf curl virus (PepYLCV), dari golongan Begomovirus. Pengujian laboratorium memungkinkan petani dan peneliti mendapatkan hasil diagnosis yang lebih tepat dibandingkan metode visual, sehingga strategi pengendalian penyakit dapat dilakukan dengan lebih efektif dan tepat sasaran.

5.4.4 Pemanfaatan Teknologi Digital

Pemanfaatan teknologi digital dalam identifikasi penyakit tanaman semakin berkembang dan memberikan solusi yang lebih cepat serta akurat dalam mendeteksi serangan patogen. Teknologi seperti pencitraan multispektral dan kecerdasan buatan (AI) memungkinkan analisis perubahan warna, tekstur, dan pola pertumbuhan tanaman yang tidak dapat terlihat secara kasat mata. Sagala et al., (2021) menghasilkan aplikasi sistem pakar dengan metode Dempster Shafer yang digunakan untuk diagnosis awal gejala penyakit pada tanaman papaya. Penggunaan sensor digital dan drone juga membantu dalam pemantauan kondisi tanaman secara luas, sehingga deteksi penyakit dapat dilakukan lebih dini sebelum menyebar. Menurut Taufik et al., (2023) bahwa penilaian keparahan gejala virus pada tanaman cabai dengan menggunakan analisis citra digital

memperoleh hasil yang akurat dan konsisten dalam penilaian keparahan gejala infeksi virus gemini pada tanaman cabai rawit.

Santoso (2020) mengemukakan bahwa pengamatan dan pemantauan penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit menggunakan unmanned aerial vehicle (UAV) dan kamera multispektral menghasilkan 79 % akurasi klasifikasi tanaman yang sehat dan tanaman terinfeksi penyakit busuk pangkal batang sehingga perlunya mempertimbangkan kondisi awan pada wilayah pemotretan untuk menghasilkan akurasi yang lebih tinggi. Selain itu, aplikasi berbasis ponsel dengan teknologi machine learning mampu mengenali gejala penyakit melalui foto yang diunggah oleh petani, memberikan diagnosis awal dan rekomendasi pengendalian secara instan. Effendi & Triawan (2019) menerapkan aplikasi sistem pakar berbasis Web untuk mempermudah petani dalam mendiagnosa gejala penyakit kopi sehingga memberikan solusi pengendalian yang penyakit yang tepat. Dengan integrasi teknologi digital ini, efisiensi dalam pemantauan dan pengendalian penyakit tanaman meningkat, sehingga produktivitas pertanian dapat terjaga dengan lebih baik.

5.5 Faktor – Faktor yang Memengaruhi Identifikasi Penyakit Tanaman

5.5.1 Kondisi Lingkungan

Faktor kondisi lingkungan mempunyai peranan penting dalam memengaruhi pembasmi penyakit tanaman, karena lingkungan dapat memengaruhi kemunculan, perkembangan, dan tingkat keparahan suatu penyakit. Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban udara, curah hujan, dan kondisi tanah dapat mempercepat atau memperlambat perkembangan patogen, sehingga memengaruhi munculnya gejala dan tanda penyakit pada tanaman. Misalnya, kelembapan tinggi dan suhu hangat cenderung mendukung pertumbuhan jamur patogen. Djamaluddin et al., (2022)

mengidentifikasi gejala penyakit dan jamur patogen tanaman bawang merah menunjukkan tanaman kerdil, layu, daun berwarna hijau kekuningan dan kering, umbi bawang berukuran kecil, dan akar mengalami pembusukan. Tingkat keparahan penyakit berbeda pada semua sampel tanaman, hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanah (pH, kelembaban tanah, dan suhu) yang mendukung bagi perkembangan patogen jamur. Kurniawan et al., (2017) mengidentifikasi serangan penyakit bulai tanaman jagung yang disebabkan oleh 3 spesies *Peronosclerospora* spp dipengaruhi oleh kondisi suhu dan kelembaban yang mendukung pertumbuhan spora jamur menyebabkan peningkatan serangan pada banyak tanaman dalam waktu tersebut.

Kondisi lingkungan menjadi salah satu kendala utama dalam mengidentifikasi penyakit tanaman, seperti suhu, kelembaban, curah hujan, dan kualitas tanah dapat memengaruhi perkembangan penyakit dengan cara yang bervariasi. Beberapa penyakit tanaman mungkin menunjukkan gejala serupa akibat stres lingkungan, seperti kekeringan atau kelembaban berlebih, yang bisa membingungkan dalam membedakan antara penyakit yang disebabkan oleh patogen dan gangguan lingkungan. Selain itu, kondisi lingkungan yang berubah-ubah juga dapat memperlambat perkembangan penyakit, sehingga gejala mungkin tidak muncul secara konsisten atau dapat terlihat pada waktu yang tidak terduga. Untuk mengatasi kendala ini, penerapan teknologi pemantauan cuaca dan iklim mikro juga dapat membantu petani dalam memprediksi kondisi yang mendukung perkembangan penyakit.

5.5.2 Jenis tanaman dan Varietas

Faktor jenis tanaman dan varietas memegang peranan penting dalam hilangnya atau berkurangnya penyakit tanaman, karena setiap tanaman memiliki tingkat ketahanan yang berbeda terhadap patogen tertentu. Varietas unggul yang telah dikembangkan melalui pemuliaan tanaman seringkali memiliki ketahanan genetik terhadap penyakit tertentu, sehingga mampu menghambat perkembangan patogen dan mengurangi tingkat infeksi. Triwidodo et al., (2020) mengemukakan bahwa dalam

identifikasi penyakit, varietas dan umur tanaman berbeda memengaruhi tingkat kejadian penyakit bercak sigatoka (*Mycosphaerella musicola*) tanaman pisang. Identifikasi penyakit bercak sigatoka menunjukkan bahwa semakin tua tanaman, semakin meningkat infeksi penyakit. Sedangkan kejadian penyakit layu fusarium (*F. oxysporum* f. sp. *cubense*) tanaman pisang dipengaruhi oleh jenis varietas, di mana tanaman pisang varietas Cavendish lebih rentan terserang penyakit layu dibandingkan varietas Mas Kirana.

Kendala dalam identifikasi penyakit tanaman seringkali muncul akibat keragaman jenis tanaman dan varietas yang ada, karena setiap jenis tanaman dapat menunjukkan gejala yang berbeda terhadap patogen tertentu. Selain itu, varietas tanaman yang memiliki ketahanan berbeda terhadap penyakit tertentu dapat meringankan kesulitan dalam diagnosis, dengan gejala yang bervariasi meskipun disebabkan oleh patogen yang sama. Untuk mengatasi kendala ini, solusi yang diterapkan yakni melakukan penelitian lebih mendalam mengenai respon setiap jenis tanaman dan varietas terhadap berbagai penyakit, sehingga petani dan ahli tanaman dapat lebih mudah mengenali gejala penyakit. Penggunaan teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) dan aplikasi mobile untuk memantau penyakit secara real-time juga dapat membantu dalam mengidentifikasi yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, pengembangan varietas tahan terhadap penyakit tertentu juga dapat mengurangi serangan penyakit.

5.5.3 Ketersediaan alat dan teknologi

Ketersediaan alat dan teknologi dalam identifikasi penyakit tanaman sangat penting untuk mendukung ketepatan deteksi serta pengelolaan penyakit tanaman secara efisien. Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai perangkat dan sistem canggih kini tersedia untuk membantu petani dan ahli pertanian dalam mengidentifikasi penyakit tanaman dengan lebih cepat dan akurat. Menurut Pratana & Yasin (2008) dalam identifikasi penyakit tungro pada tanaman padi yang diinfeksi oleh rice tungro bacilliformvirus (RTBV) dan rice tungro spherical virus (RTSV) yang

keduanya ditularkan oleh wereng hijau *Nephotettix virescens*, penggunaan metode konvensional sudah jarang digunakan sebab hasil yang diperoleh tidak akurat dan relatif lebih lama. Dengan perkembangan teknologi, metode molekuler yang didukung dengan ketersediaan alat molekuler seperti PCR (Polymerase Chain Reaction) dan sequencing menjadi solusi dalam mempercepat proses identifikasi penyakit tungro dengan hasil data yang akurat.

Meskipun ketersediaan alat dan teknologi untuk mengidentifikasi penyakit tanaman semakin berkembang, terdapat beberapa kendala yang dapat menghambat pemanfaatannya secara maksimal. Salah satu kendala utama adalah tingginya biaya pengadaan alat dan perangkat teknologi canggih, seperti sensor multispektral atau sistem berbasis kecerdasan buatan, yang seringkali sulit dijangkau oleh petani kecil atau daerah dengan keterbatasan anggaran. Selain itu, keterbatasan infrastruktur pendukung, seperti konektivitas internet yang tidak merata di daerah pedesaan, dapat menyulitkan akses dan penggunaan teknologi berbasis aplikasi atau cloud. Faktor lain yang tidak kalah pentingnya adalah kurangnya pelatihan dan pemahaman yang memadai bagi petani atau praktisi pertanian mengenai cara penggunaan teknologi ini.

5.6 Strategi Penerapan Teknologi dalam Identifikasi Penyakit Tanaman

Penerapan teknologi dalam deteksi penyakit tanaman menjadi solusi inovatif untuk mendeteksi penyakit secara lebih cepat, akurat, dan efisien. Teknologi modern memungkinkan petani dan peneliti untuk mengidentifikasi gejala penyakit sejak dini, bahkan sebelum gejala terlihat secara kasat mata. Berikut adalah beberapa strategi penerapan teknologi dalam identifikasi penyakit tanaman.

5.6.1 Pemanfaatan Sensor dan Citra Digital

Pemanfaatan sensor dan citra digital dalam mengidentifikasi penyakit tanaman semakin berkembang pesat sebagai solusi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi deteksi penyakit. Sensor, seperti sensor optik, inframerah, dan multispektral, dapat mendeteksi perubahan fisik dan kimiawi pada tanaman yang terinfeksi penyakit, seperti perubahan warna, suhu, dan kelembaban. Dumaria et al., (2023) melakukan deteksi dini tanaman cabai yang terinfeksi virus *Pepper yellow leaf curl virus* (PYLCV) menggunakan metode termografi inframerah yang sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan.

Hasil deteksi dini tanaman cabai telah terinfeksi virus PYLCV sebelum muncul gejala penyakit secara visual ditandai dengan peningkatan suhu daun terinfeksi virus dibandingkan daun tanaman cabai bebas virus. Asyari & Mutawally (2019) mengidentifikasi penyakit Basal Stem Rot (BSR) yang disebabkan jamur *Ganoderma boninense* pada tanaman kelapa sawit menggunakan kamera multispektral pada ketinggian 50 m dan 60 m dengan bantuan jaringan syaraf tiruan. mendeteksi Citra digital yang dihasilkan dari pengambilan gambar menggunakan kamera atau drone kemudian dianalisis dengan algoritma pemrosesan citra dan mesin pembelajaran untuk mengidentifikasi gejala penyakit pada tanaman secara otomatis.

5.6.2 Teknologi Kecerdasan Buatan (AI) Diagnosa Penyakit

Teknologi Kecerdasan Buatan (AI) memainkan peran penting dalam mendiagnosis penyakit tanaman dengan memungkinkan deteksi dan identifikasi penyakit secara lebih cepat dan akurat. Melalui transmisi citra digital yang diperoleh dari sensor atau kamera, AI dapat menganalisis gejala penyakit tanaman, seperti perubahan warna daun, bentuk luka, atau kerusakan pada batang dan akar. Algoritma mesin pembelajaran, khususnya deep learning, dapat dibor menggunakan data gambar penyakit tanaman untuk mengenali pola-pola spesifik yang menandakan adanya infeksi atau gangguan.

Dengan kemampuan ini, AI tidak hanya membantu dalam diagnosis dini tetapi juga memberikan rekomendasi untuk pengelolaan tanaman yang lebih efektif. Zulkifli (2021) menghasilkan aplikasi pendeteksi penyakit tanaman padi berbasis Artificial Intelligence (IA) menggunakan metode ESDLC (Expert System Development Life Cycle). Proses deteksi penyakit tanaman padi melalui sistem android di ponsel dengan tahapannya yaitu login, konsultasi penentuan gejala, input pengetahuan pakar, input pengguna sistem, dan input data penyakit tanaman padi. Hasil akhir berupa diagnosa penyakit tanaman padi dengan akurat dan secara mandiri.

5.6.3 Metode Molekuler untuk Identifikasi Patogen

Metode molekuler memungkinkan mengidentifikasi patogen secara spesifik dan akurat. Teknologi ini digunakan untuk mengidentifikasi penyakit yang disebabkan oleh virus, bakteri, atau jamur dan nematoda. Teknik seperti Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA), Polymerase Chain Reaction (PCR), sequencing DNA, dan metode berbasis microarray memungkinkan para peneliti untuk mendeteksi dan mengidentifikasi patogen dengan menganalisis materi genetiknya secara langsung, bahkan pada tahap awal infeksi. Rahman et al., (2018) melakukan deteksi dan identifikasi nematoda dari benih padi secara molekuler dengan PCR menggunakan sepasang primer ITS rDNA dan sequencing.

Hasilnya ditemukan nematoda *Aphelenchoides besseyi* dari 5 varietas dan memiliki homologi yang sama dengan isolat asal India, Cina dan Taiwan. Purnamasari et al., (2012) mengidentifikasi penyakit busuk pangkal batang (BPB) di perkebunan kelapa sawit secara molekuler dengan PCR dan restriction fragment length polymorphism (RFLP), hasil analisis penyakit BPB disebabkan oleh jamur *Ganoderma* spp. Mahaeni & Parwata (2024) mendeteksi penyebab penyakit Citrus vein phloem degeneration (CPVD) pada jeruk siam dengan metode molekuler. Hasil menunjukkan jeruk siam yang bergejala penyakit CPVD ataupun tidak bergejala telah terinfeksi bakteri *Liberobacter asiaticum*. Dini et al., (2015) mengemukakan bahwa identifikasi penyakit kerdil tanaman padi dengan pengamatan gejala di lapangan dan analisis sampel gejala penyakit menggunakan metode RT-

PCR, hasilnya yakni Rice ragged stunt virus (RRSV) dan Rice grassy stunt virus (RGSV) yang homologinya sama dengan isolat asal Vietnam, Filipina dan Thailand. Metode molekuler memudahkan dalam deteksi patogen yang tidak dapat dikenali melalui pengamatan visual atau gejala fisik tanaman, serta membantu mengidentifikasi spesies patogen dengan presisi tinggi. Selain itu, dapat mengidentifikasi variasi genetik dalam patogen, yang berguna untuk mempelajari resistensi tanaman atau perubahan patogen.

5.6.4 Sistem Internet of Things (IoT) untuk Pemantauan Penyakit

Sistem Internet of Things (IoT) untuk pemantauan penyakit tanaman memungkinkan pemantauan kondisi tanaman secara real-time melalui perangkat yang terhubung secara online, memberikan data yang sangat berguna untuk deteksi dini dan pengelolaan penyakit. Dengan menggunakan berbagai sensor, seperti sensor kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, dan sensor optik, sistem IoT dapat mengumpulkan informasi penting mengenai lingkungan dan kesehatan tanaman.

Data yang dikumpulkan kemudian dikirim ke cloud atau platform analitik untuk dianalisis, memungkinkan petani atau ahli agronomi untuk memantau kondisi tanaman dari jarak jauh dan mengidentifikasi potensi gejala penyakit sebelum menyebar lebih luas. Pancono et al., (2024) melakukan pemantauan dan deteksi penyakit daun tomat berbasis IoT dan CNN dengan implementasi dalam aplikasi Android, dan hasil pengujian dalam deteksi penyakit daun tomat menunjukkan tingkat keakuratan 92% sehingga pemantauan kondisi tanaman yang terserang penyakit dapat dilakukan secara cepat.

5.6.5 Integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geografis (GIS)

Integrasi Big Data dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam deteksi penyakit tanaman menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dan akurat dalam memantau dan menganalisis pola penyebaran penyakit. Big

Data memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar dari berbagai sumber, seperti citra satelit, sensor lapangan, dan laporan cuaca, yang dapat memberikan gambaran lengkap mengenai kondisi lingkungan dan kesehatan tanaman. Sementara itu, SIG memungkinkan visualisasi data tersebut dalam bentuk peta geografis yang mempermudah identifikasi lokasi dan pola penyebaran penyakit tanaman.

Saputra et al., (2023) melakukan klasifikasi kesehatan tanaman padi menggunakan teknologi Unmanned aerial vehicle (UAV) dengan metode Convolutional neural networks (CNN) dan menunjukkan penerapan CNN dapat membedakan tanaman sakit dan tanaman sehat padi. Wicaksono et al., (2022) mendeteksi serangan penyakit kelapa sawit dengan menggunakan drone citra UAV dengan algoritma Convolutional Neural Network (CNN). Hasil deteksi diperoleh bahwa metode tersebut dapat mendeteksi serangan *Ganoderma* pada tanaman kelapa sawit yang terinfeksi maupun tidak terinfeksi.

5.6.6 Pengembangan Aplikasi Digital untuk Identifikasi Penyakit

Pengembangan aplikasi digital untuk mengidentifikasi penyakit tanaman semakin penting dalam menghadapi tantangan pertanian modern. Aplikasi ini memanfaatkan teknologi seperti kecerdasan buatan (AI), pemrosesan citra, dan mesin pembelajaran untuk menganalisis gambar atau foto tanaman yang diunggah oleh pengguna, sehingga dapat mendeteksi gejala penyakit secara akurat. Febrinanto et al., (2018) melakukan identifikasi penyakit pada daun jeruk dengan implementasi algoritma K-Means sebagai metode segmentasi citra menghasilkan identifikasi penyakit daun jeruk yang meliputi Downy Mildew, jamur Jelaga, dan CVPD (Citrus Vein Phloem Degeneration) dengan nilai akurasi terbaik sebesar 90 %.

Aplikasi digital berbasis web dan mobile telah dikembangkan untuk membantu petani dan peneliti dalam mendeteksi penyakit tanaman. Lihawa et al., (2024) melakukan pengembangan sistem pakar berbasis android dalam deteksi dini penyakit tanaman jagung, hasil pengujian

diperoleh 4 jenis penyakit jagung yaitu karat, hawar daun, bercak daun, dan hawar pelepah dengan tingkat akurasi sebesar 90 %. Selain deteksi dini dan diagnosis, aplikasi ini juga sering menawarkan rekomendasi pengobatan, penggunaan pestisida yang tepat, dan tips perawatan untuk mencegah penyebaran penyakit lebih lanjut.

Bab 6

Teknik Pengendalian Biologis

6.1 Pengendalian Biologis dalam Pengelolaan Terpadu Hama Penyakit Tanaman

6.1.1 Pendahuluan

Pengendalian biologis adalah metode pengelolaan hama dan penyakit yang memanfaatkan organisme hidup seperti predator, parasitoid, dan patogen untuk menekan populasi hama dan penyakit hingga berada pada tingkat yang tidak merugikan secara ekonomi. Teknik ini berprinsip pada keseimbangan ekosistem, di mana musuh alami dibiarkan atau diperkenalkan ke dalam suatu lingkungan untuk mengontrol perkembangan hama dan penyakit secara alami (Wibowo, 2023). Dibandingkan dengan pengendalian kimiawi yang sering menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, pengendalian

biologis lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida sintetis.

Pengendalian biologis telah digunakan sejak lebih dari 1.000 tahun yang lalu. Salah satu contoh awal yang terkenal adalah penggunaan semut *Oecophylla smaragdina* di kebun jeruk di Tiongkok sekitar abad ke-4 Masehi untuk mengendalikan hama serangga. Pada abad ke-19, pendekatan pengendalian biologis mulai berkembang secara ilmiah, terutama setelah keberhasilan introduksi kepik *Rodolia cardinalis* dari Australia ke Amerika Serikat pada tahun 1888 untuk mengendalikan hama kutu putih (*Icerya purchasi*) di kebun jeruk California (Beattie & Huang, 1995). Keberhasilan ini memicu penelitian lebih lanjut mengenai teknik pengendalian hayati, termasuk penggunaan parasitoid dan mikroorganisme patogen. Dalam pengendalian penyakit tanaman, berbagai mikroorganisme antagonis telah digunakan secara efektif. Misalnya, jamur *Trichoderma* spp. banyak dimanfaatkan untuk menekan perkembangan penyakit yang disebabkan oleh jamur patogen tanah seperti *Fusarium* spp. dan *Rhizoctonia solani* pada tanaman hortikultura dan Perkebunan (Meena & Singhal, 2021). Selain itu, bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* telah terbukti mampu menghambat pertumbuhan berbagai patogen tanaman melalui produksi senyawa antibiotik dan kompetisi ruang serta nutrisi di zona perakaran (Kumar, et al., 2022). Seiring berkembangnya ilmu ekologi dan bioteknologi, teknik pengendalian biologis terus mengalami inovasi dan kini menjadi bagian penting dalam praktik pertanian berkelanjutan di berbagai belahan dunia.

Pengendalian biologis merupakan salah satu komponen utama dalam strategi Pengelolaan Hama Terpadu (PHT), yang bertujuan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman secara berkelanjutan dengan dampak negatif seminimal mungkin terhadap lingkungan. Dalam sistem PHT, pengendalian biologis digunakan untuk menekan populasi hama dan patogen secara alami melalui interaksi antara musuh alami dan organisme target.

Pengendalian biologis unggul karena ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan metode kimiawi. Penggunaan musuh alami atau mikroorganisme antagonis tidak meninggalkan residu berbahaya, sehingga lebih aman bagi manusia dan ekosistem. Selain itu, metode ini membantu menghambat resistensi hama terhadap pestisida. Namun, efektivitasnya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan ketersediaan makanan bagi musuh alami. Kendala lain termasuk produksi, penyimpanan, dan distribusi agen hayati yang masih terbatas di beberapa daerah. Oleh karena itu, kombinasi pengendalian biologis dengan metode lain, seperti teknik kultur dan mekanis, diperlukan untuk hasil yang optimal dalam pertanian berkelanjutan. Integrasi antara pengendalian biologis dan praktik kultur, seperti penanaman tumpangsari dan pengelolaan nutrisi tanah, untuk mengoptimalkan pengendalian hama dalam pertanian berkelanjutan. Hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi pengendalian hama dan produktivitas tanaman (Deguine, et al., 2021).

6.1.2 Prinsip Dasar Pengendalian Biologis

Konsep keseimbangan ekosistem yang merupakan prinsip dasar dalam pengendalian biologis didasarkan pada interaksi alami antara organisme dalam suatu lingkungan, di mana setiap spesies memiliki peran dalam menjaga stabilitas populasi. Dalam ekosistem yang seimbang, musuh alami seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis secara alami mengendalikan populasi hama dan patogen sehingga tidak berkembang secara berlebihan dan merugikan tanaman. Penggunaan pengendalian biologis bertujuan untuk memperkuat mekanisme alami ini dengan memperkenalkan atau melestarikan agen hayati agar tetap efektif dalam menekan hama dan penyakit. Berbeda dengan penggunaan pestisida kimia yang dapat mengganggu keseimbangan dengan membunuh organisme bukan target, pengendalian biologis menjaga keberlanjutan ekosistem dengan mendukung keanekaragaman hayati dan mencegah ledakan populasi hama akibat hilangnya musuh alami. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap

lingkungan tetapi juga menciptakan sistem pertanian yang lebih stabil dan berkelanjutan (Eilenberg, et al., 2001).

Dalam pengendalian biologis, interaksi antara organisme pengendali, hama, penyakit, dan tanaman membentuk suatu keseimbangan alami yang mendukung sistem pertanian berkelanjutan. Organisme pengendali, seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis, berperan dalam menekan populasi hama dan patogen yang menyerang tanaman. Misalnya, kepik pemangsa (*Coccinellidae*) memangsa kutu daun yang merusak tanaman, sementara parasitoid seperti *Trichogramma* spp. menginfeksi telur serangga hama untuk mencegah perkembangannya. Mikroorganisme antagonis, seperti *Trichoderma* spp. dan *Pseudomonas fluorescens*, bersaing dengan patogen tanaman atau menghasilkan senyawa yang menghambat pertumbuhan penyakit. Di sisi lain, tanaman tidak hanya menjadi inang bagi hama dan patogen tetapi juga dapat berperan aktif dalam pengendalian biologis dengan menghasilkan senyawa alelopati atau menarik musuh alami melalui nektar dan senyawa volatil. Interaksi kompleks ini membentuk sistem alami yang saling mengontrol sehingga populasi hama dan penyakit tetap dalam batas yang tidak merugikan. (Heimpel & Mills, 2017).

Efektivitas pengendalian biologis bergantung pada faktor lingkungan yang memengaruhi interaksi antara hama, penyakit, inang, dan agen hayati. Suhu, kelembaban, dan ketersediaan sumber daya dapat mendukung atau menghambat keseimbangan ekosistem ini. Rakes et al. (2024) menunjukkan bahwa suhu memengaruhi tingkat kematian dan efektivitas parasitoid *Telenomus podisi* dalam mengendalikan hama pada tanaman kedelai *Beauveria bassiana* lebih efektif menginfeksi hama dalam kelembaban tinggi, tetapi pertumbuhannya terhambat saat kelembaban rendah (Ullah, et al., 2022). Suhu ekstrem dan penggunaan pestisida berlebihan dapat menekan musuh alami, menyebabkan hama berkembang tanpa kendali. Keanekaragaman habitat juga berperan penting; vegetasi refugia mendukung musuh alami, sementara monokultur dan deforestasi melemahkan pengendalian hayati. Oleh karena itu, keberhasilan pengendalian biologis bergantung pada pemahaman interaksi ekologis dan

pengelolaan lingkungan yang menjaga keseimbangan alami dalam pertanian.

6.2 Jenis Pengendali Biologis dan Teknik Implementasi

Dalam pengendalian biologis, keberhasilan pengendalian hama dan penyakit sangat bergantung pada jenis agen hayati yang digunakan serta cara penerapannya di lapangan. Berbagai organisme seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis memiliki mekanisme berbeda dalam menekan populasi hama dan patogen. Oleh karena itu, pemahaman tentang jenis agen pengendali biologis serta teknik implementasinya menjadi kunci dalam mencapai efektivitas dan keberlanjutan pengendalian hayati di berbagai sistem pertanian.

6.2.1 Jenis Agen Pengendali Biologis

Berbagai jenis mikroorganisme yang efektif sebagai agen pengendali hayati untuk hama diantaranya dari golongan bakteri, jamur, virus, protozoa dan nematoda. Masing-masing bekerja secara spesifik dengan mekanisme berbeda antar jenis mikroba. Mekanisme kerjanya antara lain menginfeksi langsung pada hama, memproduksi toksin atau gangguan pada perilaku hama.

Agen pengendali biologis ini dapat dikategorikan menjadi beberapa kelompok utama Lorito, et al., 2010, Mascarin & Jaronski, 2016, Wang, et al., 2020).

1. Predator – Organisme yang memangsa hama secara langsung, seperti kepik (Coccinellidae) yang memakan kutu daun, laba-laba yang menangkap serangga kecil, dan belalang sembah yang memangsa berbagai jenis serangga hama.

2. Parasitoid – Serangga yang bertelur di dalam atau pada tubuh inangnya, kemudian larva yang menetas akan memakan inang dari dalam hingga mati. Contoh parasitoid yang banyak digunakan adalah tawon *Trichogramma* spp., yang menyerang telur serangga hama seperti lepidoptera, serta *Aphidius* spp. yang menginfeksi kutu daun.
3. Mikroorganisme Entomopatogen – Patogen yang menginfeksi dan membunuh hama, meliputi:
 - a. Bakteri seperti *Bacillus thuringiensis* (Bt) yang menghasilkan toksin khusus untuk serangga tertentu.
 - b. Jamur entomopatogen seperti *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* yang menginfeksi serangga dengan spora yang menembus kutikula dan menyebabkan kematian.
 - c. Virus entomopatogen seperti Nucleopolyhedrovirus (NPV) dan Granulovirus (GV) yang menyerang hama lepidoptera.
4. Mikroorganisme Antagonis untuk Penyakit Tanaman – Mikroba yang menekan patogen tanaman dengan berbagai mekanisme seperti kompetisi, antibiosis, dan induksi ketahanan tanaman. Contohnya:
 - a. Jamur antagonis seperti *Trichoderma* spp. yang menghambat pertumbuhan patogen tanah seperti *Fusarium* spp. dan *Rhizoctonia solani*.
 - b. Bakteri antagonis seperti *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* yang menghasilkan senyawa antibiotik dan bersaing dengan patogen dalam memperoleh nutrisi.
5. Tanaman pengendali hama (allelopati dan tanaman refugia – tanaman yang memiliki sifat allelopati dan tanaman refugia bersifat sebagai habitat dan tempat mencari makan bagi hama.

- a. tanaman yang memiliki sifat allelopati seperti nimba (*Azadirachta indica*) dan tagetes (*Tagetes* spp.), mengandung senyawa kimia yang dapat menghambat pertumbuhan atau aktivitas hama dan patogen, sehingga membantu melindungi tanaman utama
- b. tanaman refugia, seperti bunga kenikir (*Cosmos* spp.) dan bayam duri (*Amaranthus spinosus*), berfungsi sebagai habitat alternatif bagi musuh alami hama, seperti predator dan parasitoid, sehingga dapat meningkatkan keseimbangan ekosistem pertanian secara alami.

Setiap agen pengendali biologis memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, sehingga dalam PHT, kombinasi beberapa agen sering digunakan untuk meningkatkan efektivitas pengendalian dan mempertahankan keseimbangan ekosistem pertanian

6.2.2 Teknik Implementasi Pengendalian Biologis

Pengendalian biologis merupakan salah satu pendekatan berkelanjutan dalam manajemen hama dan penyakit yang mengandalkan pemanfaatan musuh alami dan mikroorganisme untuk menekan populasi hama dan penyakit secara alami. Keberhasilan strategi ini bergantung pada penerapan teknik yang tepat sesuai dengan kondisi ekosistem pertanian. Teknik implementasi pengendalian biologis dapat dilakukan melalui berbagai metode, mulai dari pelepasan agen pengendali, aplikasi biopestisida berbasis mikroba, hingga pemanfaatan tanaman perangkap dan refugia untuk mendukung keberlanjutan populasi musuh alami. Selain itu, rekayasa habitat pertanian juga berperan penting dalam menciptakan lingkungan yang mendukung efektivitas agen hayati.

Berikut ini adalah berbagai teknik yang dapat diterapkan dalam pengendalian biologis:

1. Pelepasan Agen Pengendali

Pelepasan agen pengendali merupakan salah satu strategi utama dalam pengendalian biologis yang bertujuan untuk menekan populasi hama secara alami. Pendekatan ini dapat dilakukan melalui introduksi, yaitu pelepasan agen pengendali baru ke suatu ekosistem, augmentasi, yaitu peningkatan populasi musuh alami secara buatan, serta konservasi, yang berfokus pada perlindungan dan penguatan populasi agen hayati yang sudah ada di lingkungan.

Introduksi

Introduksi dalam pengendalian biologis merupakan strategi pelepasan agen pengendali yang sebelumnya tidak ada dalam suatu ekosistem dengan tujuan menekan populasi hama yang telah menjadi masalah. Metode ini umumnya diterapkan ketika musuh alami lokal tidak cukup efektif dalam mengendalikan hama tertentu, sehingga diperlukan spesies baru yang lebih sesuai. Introduksi sering kali dilakukan dalam konteks pengendalian biologis klasik, yaitu dengan mendatangkan dan melepas musuh alami dari daerah asal hama ke wilayah baru di mana hama telah menjadi ancaman serius. Proses ini memerlukan penelitian mendalam untuk memastikan agen yang diperkenalkan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem setempat.

Salah satu contoh sukses penerapan introduksi dalam pengendalian biologis adalah pengendalian hama kutu putih (*Icerya purchasi*) di Amerika Serikat, yang merupakan spesies invasif dari Australia dan menyerang tanaman jeruk. Untuk mengatasi masalah ini, para ahli memperkenalkan kumbang *Rodolia cardinalis* dari Australia

ke California pada akhir abad ke-19, yang terbukti efektif dalam menekan populasi kutu putih secara signifikan, menjadikannya salah satu keberhasilan awal dalam pengendalian biologis klasik (DeBach & Rosen, 1991). Contoh lain adalah pengendalian hama wereng (*Phenacoccus manihoti*) pada tanaman singkong di Afrika, di mana peneliti memperkenalkan tawon parasitoid *Anagyrus lopezi* dari Amerika Selatan untuk mengendalikan hama ini. Introduksi ini terbukti berhasil dalam mengurangi kerusakan tanaman dan meningkatkan produksi singkong tanpa ketergantungan pada insektisida kimia (Zeddies, et al, 2001). Meskipun metode ini ramah lingkungan, penerapannya harus diawasi dengan ketat karena kesalahan dalam memperkenalkan agen pengendali yang tidak spesifik dapat berdampak negatif terhadap spesies non-target dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan uji coba laboratorium dan kajian ekologis sebelum agen pengendali dilepaskan ke lingkungan agar pengendalian biologis berjalan efektif dan aman bagi ekosistem setempat (Hajek, et al., 2016).

Dalam bidang penyakit tanaman, salah satu contoh sukses adalah penggunaan *Agrobacterium radiobacter* strain K84 untuk mengendalikan penyakit bengkak akar (crown gall disease) yang disebabkan oleh *Agrobacterium tumefaciens* pada tanaman apel, pir, dan anggur (Penyalver, et al., 2000). Strain K84 ini menghasilkan agrocin 84, suatu antibiotik alami yang mampu menghambat pertumbuhan strain patogenik *A. tumefaciens*, sehingga penyakit dapat ditekan tanpa perlu penggunaan bahan kimia sintetik. Contoh lain adalah *Pseudomonas fluorescens*, yang digunakan sebagai agen pengendali penyakit busuk akar akibat *Fusarium* spp. dan *Pythium* spp. pada tanaman seperti tomat

(Siddiqui & Shaukat, 2003). Bakteri ini bekerja dengan cara bersaing dalam pengambilan sumber daya serta menghasilkan senyawa antimikroba yang efektif melawan patogen di tanah. Introduksi mikroorganisme ini telah membantu mengurangi ketergantungan pada fungisida kimia serta meningkatkan kesehatan tanah dalam sistem pertanian berkelanjutan di berbagai negara.

2. Aplikasi Biopestisida berbasis Mikroba

Biopestisida berbasis mikroba merupakan salah satu inovasi dalam pengendalian hayati yang memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, virus, dan protozoa untuk menekan populasi hama dan patogen tanaman secara alami. Keunggulan biopestisida mikroba terletak pada spesifisitas tinggi terhadap target hama atau penyakit, mekanisme kerja yang bervariasi, serta kemampuannya dalam meningkatkan kesehatan ekosistem pertanian. Aplikasi biopestisida mikroba mencakup berbagai teknik, mulai dari pengembangan formulasi cair dan padat hingga teknik aplikasi di lapangan yang disesuaikan dengan karakteristik patogen dan kondisi lingkungan untuk mencapai efektivitas optimal dalam pengendalian penyakit tanaman.

Salah satu contoh sukses aplikasi biopestisida berbasis mikroba dalam pengendalian hama adalah penggunaan *Bacillus thuringiensis* (Bt) sebagai biopestisida untuk mengendalikan larva serangga lepidoptera, seperti ulat grayak (*Spodoptera litura*) dan penggerek batang padi (*Scirpophaga incertulas*) (Kaur & Padmaja, 2020). *B. thuringiensis* menghasilkan toksin delta-endotoksin, yang ketika dikonsumsi oleh larva hama, akan merusak saluran pencernaan mereka sehingga menyebabkan kematian. Biopestisida berbasis Bt telah digunakan secara luas dalam pertanian

hortikultura dan pangan, termasuk pada tanaman jagung, kapas, dan sayuran, serta menjadi komponen utama dalam pengembangan tanaman transgenik yang resisten terhadap serangan hama (Bt crops).

Dalam pengendalian penyakit tanaman, *Trichoderma* spp. telah banyak digunakan sebagai biopestisida untuk menekan pertumbuhan patogen tular tanah seperti *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, dan *Phytophthora* spp. yang menyebabkan busuk akar dan penyakit layu pada berbagai tanaman hortikultura dan perkebunan. *Trichoderma* bekerja melalui berbagai mekanisme, termasuk kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, serta parasitisme terhadap patogen (Iswati, et al., 2024). Contoh penerapannya di lapangan adalah penggunaan *Trichoderma harzianum* pada tanaman cabai dan tomat untuk mencegah serangan busuk akar akibat *Fusarium* (Sopialena & Wati, 2016; Rahayu, et al., 2020). Selain itu, biopestisida berbasis bakteri *Pseudomonas fluorescens* juga telah berhasil diterapkan dalam mengendalikan penyakit hawar daun dan bercak daun pada padi, dengan cara menghasilkan senyawa antibiotik dan merangsang ketahanan tanaman.

Biopestisida berbasis mikroba terus dikembangkan untuk meningkatkan efektivitasnya di lapangan, dengan berbagai formulasi cair dan padat yang disesuaikan dengan jenis patogen atau hama sasaran. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah keamanannya terhadap lingkungan dan organisme non-target, serta kemampuannya dalam mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

3. Penggunaan Tanaman Perangkap dan Refugia

Tanaman perangkap dan refugia merupakan salah satu teknik dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman secara ekologis dengan memanfaatkan tanaman lain sebagai pendukung sistem pertanian yang lebih seimbang. Tanaman perangkap digunakan untuk menarik dan mengalihkan hama dari tanaman utama, sehingga mengurangi tingkat kerusakan pada tanaman budidaya. Sementara itu, tanaman refugia berfungsi sebagai habitat bagi musuh alami, seperti predator dan parasitoid, yang berperan dalam menekan populasi hama secara alami. Metode ini efektif meningkatkan keanekaragaman hayati di lahan pertanian.

Di lapangan, teknik tanaman perangkap telah berhasil diterapkan dalam pengendalian hama pada tanaman tembakau Nurindah, et al. (2009) mengevaluasi penggunaan tanaman jarak kepyar (*is*) *Ricinus commun*, sorgum (*Sorghum bicolor*), dan kacang hijau (*Vigna radiata*) sebagai tanaman perangkap untuk mengendalikan serangga hama pada tembakau cerutu Besuki. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan tanaman perangkap tersebut dapat menekan populasi hama hingga 50% dan meningkatkan produksi serta mutu tembakau dibandingkan dengan kontrol tanpa pengendalian. Contoh lain adalah penggunaan tanaman kenikir (*Cosmos caudatus*) dan bunga matahari (*Helianthus annuus*) sebagai refugia di lahan cabai. Tanaman ini menarik serangga predator seperti laba-laba, kepik (*Coccinellidae*), dan parasitoid yang memangsa hama kutu daun dan thrips (Septariani, et al., 2019). Dengan meningkatnya populasi musuh alami, serangan hama pada tanaman cabai dapat ditekan tanpa perlu aplikasi pestisida kimia berlebihan.

Selain untuk hama, tanaman perangkap juga digunakan dalam pengendalian penyakit tanaman. Contohnya adalah penggunaan gulma gulma liar sebagai tanaman perangkap untuk nematoda yang menyerang akar tanaman hortikultura seperti tomat dan wortel. Zurmia dan Rahmi (2023) mengkaji penggunaan ekstrak air dari beberapa gulma, seperti *Gleichenia linearis*, *Portulaca oleracea* L., *Oldenlandia corymbosa* L., *Cynodon dactylon*, dan *Tithonia diversifolia*, dalam mengendalikan nematoda bengkal akar (*Meloidogyne* spp.) pada tanaman tomat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak gulma *Tithonia diversifolia* memiliki efektivitas tertinggi, dengan kemampuan menekan perkembangan nematoda hingga 56,18%. Beberapa jenis gulma mampu menarik nematoda parasit, sehingga mengurangi serangan pada tanaman utama.

4. Rekayasa Habitat untuk Mendukung Agen Hayati

Rekayasa habitat merupakan pendekatan dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung populasi musuh alami, seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis. Teknik ini mencakup berbagai strategi, termasuk pengelolaan lanskap pertanian, diversifikasi tanaman, penggunaan agroforestri, serta penerapan vegetasi alami yang berfungsi sebagai tempat berlindung dan sumber makanan bagi agen hayati. Dengan menciptakan ekosistem yang lebih beragam, rekayasa habitat dapat meningkatkan efektivitas agen pengendali biologis dalam menekan populasi hama secara alami, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan meningkatkan ketahanan pertanian terhadap gangguan hama dan penyakit.

Salah satu contoh aplikasi di lapangan adalah penggunaan vegetasi berbunga sebagai habitat bagi serangga parasitoid dan predator. Di lahan pertanian padi, keberadaan tanaman refugia seperti kenikir (*Cosmos caudatus*), bunga matahari (*Helianthus annuus*), dan marigold (*Tagetes erecta*) telah terbukti menarik musuh alami seperti tawon parasitoid (*Trichogramma* spp.) dan kepik (*Coccinellidae*) yang berperan dalam mengendalikan hama seperti wereng dan penggerek batang. Selain itu, dalam sistem agroforestri, penanaman pohon seperti *Gliricidia sepium* dan *Erythrina* spp. di sekitar lahan kopi dan kakao dapat meningkatkan populasi predator alami, seperti laba-laba dan burung pemangsa, yang membantu mengurangi serangan hama penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella*) (Oke, et al., 2021).

Dalam pengendalian penyakit tanaman, rekayasa habitat juga diterapkan melalui pengelolaan lanskap dan rotasi tanaman untuk mengurangi inokulum patogen di tanah. Misalnya, dalam sistem pertanian organik, penerapan tanaman penutup tanah (cover crops) seperti kacang-kacangan dapat menghambat perkembangan patogen tular tanah seperti *Fusarium* dan *Phytophthora* dengan meningkatkan keanekaragaman mikroba antagonis di tanah (Wang, et al., 2021). Selain itu, praktik mulsa organik dengan jerami atau serasah tanaman telah diterapkan untuk meningkatkan populasi jamur antagonis seperti *Trichoderma* spp., yang efektif dalam menghambat pertumbuhan patogen penyebab penyakit busuk akar dan layu pada tanaman hortikultura. (Kumar, et al., 2020). Dengan strategi rekayasa habitat yang tepat, ekosistem pertanian dapat menjadi lebih seimbang dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan hama dan penyakit tanaman.

6.3 Prospek dan Tantangan Pengendalian Biologis

Pengendalian biologis memiliki prospek yang sangat menjanjikan sebagai solusi ramah lingkungan dalam mengelola hama dan penyakit tanaman, terutama dalam menghadapi tantangan pertanian berkelanjutan dan pengurangan ketergantungan pada pestisida kimia. Dengan semakin berkembangnya penelitian di bidang mikrobiologi, ekologi, dan bioteknologi, penggunaan agen hayati seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis semakin dioptimalkan untuk meningkatkan efektivitas pengendalian.

Namun, penerapan pengendalian biologis juga menghadapi berbagai tantangan, seperti efektivitas yang bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan, keterbatasan dalam ketersediaan dan produksi massal agen hayati, serta resistensi hama terhadap agen pengendali tertentu. Selain itu, keberhasilan pengendalian biologis memerlukan pendekatan terpadu yang melibatkan pengelolaan ekosistem secara berkelanjutan serta dukungan regulasi dan kebijakan yang mendorong adopsi metode ini di kalangan petani. Oleh karena itu, pengembangan pengendalian biologis harus terus didorong dengan inovasi teknologi, peningkatan edukasi bagi petani, serta integrasi dengan metode pengelolaan hama lainnya untuk mencapai hasil yang optimal dan berkelanjutan.

6.3.1 Prospek

1. Regulasi dan kebijakan dalam penerapan pengendalian biologis

Pengendalian biologis sebagai alternatif ramah lingkungan dalam mengelola hama dan penyakit tanaman memerlukan regulasi dan kebijakan yang jelas untuk memastikan efektivitas dan keamanannya. Regulasi yang ada umumnya mencakup aspek pengembangan, produksi, distribusi, serta penggunaan agen hayati agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem. Di

banyak negara, termasuk Indonesia, pengendalian biologis diatur dalam regulasi tentang agroinput hayati, registrasi biopestisida, serta pelepasan organisme pengendali hayati (OPH). Misalnya, di Indonesia, Badan Karantina Pertanian dan Kementerian Pertanian mengawasi registrasi dan peredaran agensia hayati agar hanya produk yang telah teruji keamanannya yang dapat digunakan di lapangan. Regulasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa agen biologis yang dilepaskan tidak berpotensi menjadi spesies invasif atau mengganggu keseimbangan ekosistem lokal.

Di tingkat global, berbagai organisasi seperti FAO (Food and Agriculture Organization) dan IPPC (International Plant Protection Convention) telah menetapkan pedoman dalam penerapan pengendalian biologis untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Negara-negara dengan sistem pertanian maju seperti Uni Eropa dan Amerika Serikat telah mengembangkan regulasi ketat terkait uji keamanan, efektivitas, serta dampak lingkungan dari agen hayati sebelum diperbolehkan untuk digunakan secara luas. Salah satu tantangan utama dalam kebijakan ini adalah proses perizinan yang panjang dan biaya registrasi yang tinggi, sehingga dapat membatasi akses petani kecil terhadap teknologi pengendalian biologis. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang lebih fleksibel dan berbasis risiko untuk mendukung inovasi dalam pengembangan produk pengendalian hayati, tanpa mengorbankan aspek keamanan lingkungan.

Selain aspek regulasi, keberhasilan penerapan pengendalian biologis juga sangat bergantung pada dukungan kebijakan pemerintah dalam bentuk insentif, penyuluhan, serta integrasi dengan program pertanian berkelanjutan. Kebijakan yang mendukung adopsi pengendalian biologis dapat berupa subsidi

bagi petani yang menggunakan agen hayati, kemudahan dalam perizinan produk biopestisida, serta program edukasi bagi petani untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam memanfaatkan pengendalian hayati.

Selain itu, integrasi pengendalian biologis dalam strategi Pengelolaan Hama Terpadu (PHT) perlu diperkuat agar penggunaannya dapat berjalan beriringan dengan metode pengendalian lain, seperti kultur teknis dan penggunaan varietas tahan hama. Dengan regulasi dan kebijakan yang mendukung, pengendalian biologis dapat menjadi bagian penting dalam sistem pertanian modern yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan menguntungkan bagi petani.

2. Potensi inovasi berbasis bioteknologi dan kecerdasan buatan dalam pengendalian hama biologis

Kemajuan bioteknologi telah membuka peluang besar dalam pengembangan metode pengendalian hama biologis yang lebih efektif dan presisi. Melalui rekayasa genetika, ilmuwan dapat meningkatkan kemampuan mikroorganisme antagonis, parasitoid, atau predator alami untuk mengendalikan hama secara lebih efisien. Contohnya adalah pengembangan strain *Bacillus thuringiensis* (Bt) yang lebih spesifik terhadap jenis hama tertentu atau pemanfaatan RNA interference (RNAi) untuk menghambat ekspresi gen yang berperan dalam perkembangan hama tanpa merugikan spesies non-target (Zhang & Miao, 2013). Selain itu, pemanfaatan metagenomik dan teknologi mikrobioma tanah memungkinkan identifikasi mikroorganisme baru yang memiliki potensi sebagai agen pengendali hayati (Mendes, et al., 2013.). Dengan adanya inovasi ini, pengendalian biologis dapat semakin

ditingkatkan, baik dari segi efikasi maupun keberlanjutan, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia sintetis. Di sisi lain, penerapan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) dalam pengendalian hama memungkinkan pemantauan dan pengelolaan ekosistem pertanian yang lebih cerdas. Teknologi AI dapat digunakan dalam deteksi penyakit karat kuning secara otomatis melalui citra drone dan sistem pengenalan pola berbasis machine learning. Dengan sistem ini, petani dapat mengetahui sebaran penyakit secara real-time dan menyesuaikan strategi pengendalian hayati dengan lebih presisi (Zhang, et al., 2020.). Selain itu, algoritma AI juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan pelepasan agen hayati, seperti menentukan waktu dan lokasi terbaik untuk pelepasan *Trichogramma* spp. atau predator lainnya berdasarkan kondisi lingkungan dan pola migrasi hama. Dengan integrasi bioteknologi dan AI, pengendalian hama biologis dapat menjadi lebih adaptif, efisien, dan berkontribusi dalam sistem pertanian berbasis data yang berkelanjutan

6.3.2 Tantangan Pengendalian Biologis

1. Keberlanjutan pengendalian biologis di tengah perubahan iklim
Perubahan iklim membawa tantangan besar dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman, termasuk dalam penerapan pengendalian biologis. Peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan perubahan ekosistem dapat memengaruhi dinamika populasi hama serta efektivitas agen hayati seperti predator, parasitoid, dan mikroorganisme antagonis. Misalnya, kenaikan suhu dapat mempercepat siklus hidup beberapa spesies hama, yang berpotensi meningkatkan tingkat serangan dan mengurangi efektivitas musuh alami. Selain itu, perubahan iklim juga dapat

menggeser sebaran geografis hama dan patogen tanaman, sehingga menuntut adaptasi strategi pengendalian biologis agar tetap efektif dalam kondisi lingkungan yang berubah. Untuk mengatasi tantangan ini, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai toleransi agen hayati terhadap kondisi lingkungan ekstrem, serta pengembangan teknik pelepasan dan formulasi biopestisida yang lebih tahan terhadap perubahan iklim.

Keberlanjutan pengendalian biologis dalam menghadapi perubahan iklim juga memerlukan pendekatan ekosistem yang lebih holistik, seperti penerapan agroforestri, peningkatan biodiversitas, dan restorasi ekosistem alami untuk menjaga keseimbangan antara hama dan musuh alaminya. Penggunaan teknologi seperti model prediksi berbasis kecerdasan buatan (AI) dan sistem peringatan dini dapat membantu petani mengantisipasi perubahan populasi hama serta menentukan strategi pengendalian biologis yang tepat waktu dan lokasi. Selain itu, kebijakan yang mendukung pengurangan emisi karbon di sektor pertanian serta insentif bagi petani yang mengadopsi metode pengendalian hayati juga dapat mendorong keberlanjutan sistem ini. Dengan pendekatan yang adaptif dan berbasis ilmu pengetahuan, pengendalian biologis dapat terus menjadi solusi utama dalam pertanian berkelanjutan meskipun menghadapi tantangan akibat perubahan iklim

2. Kendala dalam produksi dan distribusi agen hayati

Produksi agen hayati menghadapi berbagai kendala, mulai dari proses perbanyakan yang kompleks, kestabilan formulasi, hingga keterbatasan infrastruktur laboratorium dan fasilitas produksi. Agen hayati seperti bakteri, jamur, virus, dan parasitoid memerlukan media kultur yang sesuai serta kondisi lingkungan

yang terkontrol agar dapat berkembang secara optimal tanpa kehilangan efektivitasnya. Selain itu, menjaga viabilitas dan stabilitas agen hayati dalam formulasi menjadi tantangan besar, terutama dalam pengembangan biopestisida berbasis mikroba yang harus tetap aktif dalam jangka waktu tertentu. Kendala lainnya adalah biaya produksi yang relatif tinggi, terutama untuk metode produksi skala besar yang memerlukan teknologi fermentasi dan sterilisasi yang canggih agar produk yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi dan bebas dari kontaminasi.

Di sisi distribusi, keterbatasan rantai pasok dan aksesibilitas bagi petani menjadi tantangan utama dalam pemanfaatan agen hayati secara luas. Banyak agen hayati memiliki umur simpan yang pendek, sehingga memerlukan sistem penyimpanan dan transportasi yang sesuai, seperti penyimpanan dalam kondisi dingin atau kemasan khusus yang dapat menjaga stabilitasnya. Selain itu, tidak semua daerah memiliki akses terhadap produk agen hayati berkualitas, terutama bagi petani kecil di wilayah terpencil yang masih bergantung pada distribusi konvensional. Faktor regulasi juga menjadi kendala, di mana proses perizinan yang panjang dan biaya registrasi yang tinggi dapat menghambat inovasi dan komersialisasi produk agen hayati. Oleh karena itu, diperlukan dukungan kebijakan dan investasi dalam infrastruktur produksi serta sistem distribusi yang lebih efisien agar pengendalian hayati dapat lebih mudah diadopsi oleh petani secara luas.

Bab 7

Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Menggunakan Teknik Budidaya

Pengelolaan hama dan penyakit tanaman secara berkelanjutan sangat penting untuk ketahanan pangan global dan kesehatan lingkungan. Ketergantungan tradisional pada pestisida kimia telah menyebabkan dampak negatif, termasuk pencemaran lingkungan, risiko kesehatan, serta berkembangnya strain hama dan patogen yang resisten. Tinjauan ini membahas berbagai teknik budidaya yang menawarkan alternatif efektif untuk pengendalian hama dan penyakit. Metode tersebut mencakup rotasi tanaman, tumpangsari, penggunaan varietas tahan, pengelolaan tanah, praktik sanitasi, serta integrasi teknologi modern seperti Internet of Things (IoT) dan RNA interference (RNAi). Dengan menerapkan strategi ini, petani dapat mengurangi ketergantungan pada intervensi kimia, menjaga keseimbangan ekologi, dan meningkatkan ketahanan tanaman (Stenberg, 2017).

7.1 Pendahuluan

Pertanian memainkan peran fundamental dalam memastikan ketahanan pangan global. Namun, penyakit dan hama tanaman tetap menjadi ancaman signifikan bagi produksi tanaman, menyebabkan kerugian hasil panen yang besar di seluruh dunia. Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) memperkirakan bahwa hama dan penyakit menyebabkan kerugian hasil pertanian global sebesar 20-40% setiap tahun (Malik., 2024). Metode tradisional untuk mengatasi tantangan ini, seperti penggunaan pestisida kimia, telah banyak diterapkan tetapi memiliki kelemahan yang signifikan, termasuk pencemaran lingkungan, risiko kesehatan, dan munculnya populasi hama yang resisten. Oleh karena itu, teknik budidaya berkelanjutan semakin mendapat perhatian sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengatasi masalah hama dan penyakit. Pendekatan ini memanfaatkan interaksi biologis alami, mengoptimalkan ketahanan tanaman, dan meningkatkan kesehatan tanah, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis sambil mempertahankan produktivitas pertanian (Stenberg, 2017).

7.1.1 Teknik Budidaya Tanaman dalam Pertanian Modern

Pertanian modern telah mengalami kemajuan signifikan dalam teknik budidaya tanaman untuk meningkatkan produktivitas, ketahanan, dan keberlanjutan hasil pertanian. Salah satu perkembangan penting adalah integrasi teknologi canggih seperti drone, robot, kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), pembelajaran mesin (Machine Learning/ML), dan Internet of Things (IoT) dalam pertanian presisi. Teknologi-teknologi ini telah merevolusi budidaya tanaman dengan memungkinkan pemantauan dan pengelolaan pertumbuhan tanaman secara akurat, sehingga meningkatkan hasil panen serta efisiensi penggunaan sumber daya (Dhanaraju et al., 2022).

Selain integrasi teknologi, teknik pemuliaan tanaman modern juga memainkan peran penting dalam peningkatan varietas tanaman. Metode seperti seleksi berbasis marka (marker-assisted selection), fenotiping

berkecepatan tinggi, penyuntingan genom, dan penerapan kecerdasan buatan telah berkontribusi dalam menciptakan keragaman genetik tanaman. Teknik-teknik ini telah menghasilkan varietas tanaman dengan sifat yang lebih unggul, seperti ketahanan terhadap penyakit, toleransi terhadap kekeringan, serta peningkatan nilai gizi (Sun et al., 2024).

Namun, meskipun teknik budidaya modern menawarkan berbagai keuntungan, terdapat pula beberapa dampak negatif yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah peningkatan ketergantungan pada teknologi yang dapat menimbulkan kesenjangan akses antara petani kecil dan petani besar. Petani di daerah pedesaan dengan sumber daya terbatas sering kali kesulitan mengadopsi teknologi mahal seperti drone, sensor, dan sistem otomatisasi pertanian (Huang et al., 2024).

Selain itu, penggunaan intensif pupuk sintetis dan pestisida dalam pertanian modern dapat menyebabkan degradasi lingkungan. Polusi tanah dan air akibat residu bahan kimia ini dapat berdampak negatif pada ekosistem lokal, mengurangi keanekaragaman hayati, serta berkontribusi terhadap resistensi hama dan penyakit tanaman. Penggunaan teknologi penyuntingan genom juga masih menuai kontroversi terkait keamanan pangan dan dampaknya terhadap keanekaragaman genetik tanaman (Tudi et al., 2021).

Adopsi sistem budidaya tanpa tanah, seperti hidroponik dan aeroponik, juga memiliki tantangan tersendiri. Meskipun metode ini lebih efisien dalam penggunaan air dan lahan, biaya investasi awal yang tinggi serta ketergantungan pada energi listrik menjadi hambatan dalam penerapannya secara luas. Jika tidak dikelola dengan baik, sistem ini juga dapat mengalami kegagalan total akibat gangguan teknis atau pemadaman listrik (Pomoni et al., 2023).

Secara keseluruhan, kemajuan dalam teknik budidaya tanaman modern membuka jalan bagi sistem pertanian yang lebih tangguh dan efisien. Namun, penting bagi para pemangku kepentingan untuk mempertimbangkan keseimbangan antara keuntungan dan dampak negatifnya. Dengan pendekatan yang berkelanjutan dan inklusif, pertanian

modern dapat berkembang tanpa mengorbankan lingkungan maupun kesejahteraan petani kecil.

7.2 Pengelolaan Hama dan Penyakit

Pertanian yang berkelanjutan memerlukan teknik budidaya yang tepat untuk mengelola hama dan penyakit tanaman secara efektif. Serangan hama dan penyakit dapat menyebabkan penurunan produksi, bahkan gagal panen, jika tidak ditangani dengan baik. Oleh karena itu, penerapan metode budidaya yang ramah lingkungan dan efisien sangat penting dalam menjaga kesehatan tanaman serta meningkatkan hasil pertanian. Dalam pengelolaan hama dan penyakit, pendekatan yang digunakan tidak hanya terbatas pada penggunaan pestisida kimia, tetapi juga melibatkan praktik budidaya yang baik. Pendekatan terpadu ini bertujuan untuk menekan populasi hama dan penyakit secara alami tanpa merusak keseimbangan ekosistem pertanian.

Berikut beberapa pendekatan guna pengelolaan hama dan penyakit tanaman melalui teknik budidaya:

1. Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman adalah praktik agronomi fundamental yang melibatkan penanaman berbagai jenis tanaman secara bergiliran di lahan yang sama selama beberapa musim tanam. Teknik ini banyak digunakan untuk mengganggu siklus hidup hama dan penyakit, sehingga mengurangi prevalensinya dan meningkatkan kesehatan tanah dalam jangka panjang. Sebagai contoh, merotasi tanaman sereal seperti gandum atau jagung dengan tanaman legum seperti kedelai atau kacang tanah dapat secara signifikan mengurangi patogen tanah, termasuk *Rhizoctonia solani* yang menyebabkan busuk akar. Selain penekanan penyakit, tanaman yang berbeda memiliki pola serapan dan pengendapan nutrisi yang

bervariasi, yang dapat meningkatkan kesuburan dan struktur tanah seiring waktu (Venter et al., 2016). Legum, misalnya, mampu mengikat nitrogen dari atmosfer ke dalam tanah, sehingga mengurangi kebutuhan pupuk sintetis dalam siklus tanam berikutnya.

Penelitian menunjukkan bahwa memasukkan tanaman bukan inang ke dalam sistem rotasi secara signifikan dapat mengurangi keberlanjutan hama tertentu, seperti nematoda. Tanaman mustard dan marigold, misalnya, melepaskan biofumigan alami yang menekan populasi nematoda, sehingga menjadikannya tambahan yang berharga dalam strategi pengelolaan hama terpadu (Zhang et al., 2022). Demikian pula, tanaman dengan akar dalam seperti alfalfa dan bunga matahari membantu memecah tanah yang padat, meningkatkan aerasi, dan memperbaiki infiltrasi air, yang semuanya berkontribusi terhadap perkembangan akar yang lebih baik dan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Selain itu, integrasi tanaman penutup seperti semanggi atau gandum hitam ke dalam siklus rotasi dapat meningkatkan kandungan bahan organik, mendorong aktivitas mikroba yang bermanfaat, dan secara alami menekan patogen tanah (Krupinsky et al., 2002).

Di luar manfaat agronomisnya, rotasi tanaman juga memiliki keuntungan ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Dengan mengurangi tekanan penyakit dan hama, petani dapat menekan ketergantungan pada pestisida dan fungisida kimia, sehingga menurunkan biaya produksi sekaligus meminimalkan kontaminasi lingkungan. Peningkatan kesuburan tanah akibat diversifikasi tanaman juga mengurangi kebutuhan akan pupuk sintetis, yang pada akhirnya menekan biaya input dan mengurangi limpasan nutrisi ke badan air. Selain itu, rotasi tanaman yang direncanakan

dengan baik dapat meningkatkan ketahanan terhadap cuaca ekstrem, seperti kekeringan dan curah hujan tinggi, dengan memperbaiki struktur tanah dan kapasitas retensi air.

Pertimbangan regional memainkan peran penting dalam menentukan strategi rotasi tanaman yang efektif. Di wilayah beriklim sedang, rotasi umum yang diterapkan meliputi siklus jagung-kedelai-gandum, yang mengoptimalkan keseimbangan nutrisi dan pengendalian penyakit. Di daerah tropis, rotasi berbasis padi dengan legum atau tanaman penutup seperti kacang hijau efektif dalam mengembalikan nutrisi tanah sekaligus mengurangi risiko infeksi jamur yang umum terjadi di lingkungan lembap. Sistem pertanian lahan kering sering kali menggabungkan tanaman tahan kekeringan seperti sorgum atau millet dalam rotasi dengan legum pengikat nitrogen untuk menjaga produktivitas tanah dalam kondisi ketersediaan air yang terbatas.

Sebagai kesimpulan, rotasi tanaman adalah alat yang ampuh dalam pertanian berkelanjutan, dengan manfaat yang melampaui pengendalian penyakit. Dengan menggilir tanaman secara strategis berdasarkan siklus hama, kebutuhan nutrisi, dan kondisi lingkungan, petani dapat meningkatkan kesehatan tanah, meningkatkan hasil panen, dan menjaga keseimbangan ekologi, sekaligus mengurangi ketergantungan pada input kimia. Integrasi rotasi dengan tanaman penutup dan pengolahan tanah konservatif semakin memperkuat manfaat ini, menjadikannya praktik yang sangat penting untuk produktivitas pertanian jangka panjang.

2. Tumpangsari dan Tanaman Pendamping

Tumpangsari adalah praktik pertanian strategis yang melibatkan penanaman dua atau lebih jenis tanaman secara bersamaan di lahan yang sama untuk meningkatkan keanekaragaman hayati,

mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, dan mengurangi serangan hama serta penyakit. Teknik ini secara efektif menghambat pergerakan hama dan membatasi penyebaran penyakit dengan menciptakan lingkungan yang lebih kompleks dan kurang mendukung bagi patogen serta serangga hama. Beberapa kombinasi tanaman sangat menguntungkan karena dapat secara alami mengusir hama berbahaya sekaligus menarik serangga menguntungkan yang membantu pengendalian hama secara biologis. Sebagai contoh, tumpangsari jagung dengan tanaman legum seperti kacang tunggak atau kacang gude tidak hanya mengusir penggerek batang dan kutu daun, tetapi juga meningkatkan fiksasi nitrogen, sehingga memperkaya kesuburan tanah dan meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan (Moreira, 2024). Selain itu, menanam bunga matahari di antara tanaman sayuran dapat menarik penyerbuk dan serangga predator seperti kepik dan lacewing, yang membantu mengendalikan populasi kutu daun dan hama bertubuh lunak lainnya.

Tanaman pendamping, yang merupakan bentuk khusus dari tumpangsari, melibatkan penempatan spesifik spesies tanaman yang saling memberikan manfaat, seperti mengusir hama, meningkatkan penyerapan nutrisi, dan memperbaiki kondisi pertumbuhan. Beberapa kombinasi tanaman telah terbukti secara efektif mengurangi infestasi hama dan prevalensi penyakit. Misalnya, menanam basil di dekat tomat diketahui dapat mengurangi serangan thrips karena aroma kuatnya yang membingungkan dan mengusir hama tersebut. Demikian pula, bawang putih mengeluarkan senyawa sulfur yang secara alami mengusir kutu daun, tungau laba-laba, dan lalat putih, menjadikannya tanaman pendamping yang efektif untuk sayuran

seperti selada, paprika, dan wortel. Selain itu, tanaman aromatik seperti mint, rosemary, dan marigold bertindak sebagai pengusir alami terhadap hama pertanian umum, termasuk lalat putih, nematoda, dan ulat kubis. Beberapa tanaman pendamping bahkan melepaskan senyawa biokimia yang meningkatkan ketahanan tanaman. Marigold, misalnya, menghasilkan tiopen—senyawa alami yang bersifat racun bagi nematoda puru akar—sehingga menjadi tanaman pendamping yang sangat baik untuk tomat, kentang, dan mentimun (Parker et al., 2013).

Selain pengendalian hama dan penyakit, tumpangsari dan tanaman pendamping menawarkan keuntungan ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Dengan menekan populasi hama secara alami, teknik ini mengurangi ketergantungan petani pada pestisida sintetis, sehingga menurunkan biaya produksi dan meminimalkan pencemaran lingkungan akibat limpasan agrokimia. Selain itu, peningkatan keanekaragaman tanaman di lahan pertanian meningkatkan kesehatan tanah dengan mencegah kehabisan nutrisi, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan kandungan bahan organik. Beberapa sistem tumpangsari juga berkontribusi terhadap pengelolaan air yang lebih baik, karena tutupan tanaman yang rapat membantu mengurangi penguapan dan meningkatkan retensi kelembaban tanah. Lebih jauh, tumpangsari memungkinkan petani memaksimalkan efisiensi penggunaan lahan dengan menghasilkan beberapa jenis tanaman dalam satu musim tanam, sehingga meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan serta ketahanan terhadap fluktuasi pasar.

Namun, efektivitas tumpangsari dan tanaman pendamping bergantung pada berbagai faktor, termasuk pemilihan tanaman, kepadatan tanam, dan kondisi lingkungan. Pertimbangan regional

memainkan peran penting dalam menentukan strategi tumpangsari yang sesuai. Di iklim tropis, tumpangsari jagung dan legum banyak diterapkan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan menghalau serangga hama, sementara di daerah beriklim sedang, tumpangsari tanaman brassica dengan allium (misalnya, kubis dengan bawang) membantu mengurangi serangan ulat. Di lingkungan kering dan semi-kering, kombinasi tanaman tahan kekeringan seperti sorgum dan kacang gude mendukung efisiensi penggunaan air sekaligus memberikan manfaat agronomi yang saling menguntungkan. Selain itu, keberhasilan tumpangsari memerlukan perencanaan yang cermat untuk memastikan bahwa tanaman tidak bersaing secara berlebihan dalam hal sinar matahari, air, atau nutrisi, yang dapat berdampak negatif pada hasil panen.

Sebagai kesimpulan, tumpangsari dan tanaman pendamping merupakan strategi ekologi yang berharga dalam mendorong pertanian berkelanjutan dengan meningkatkan keanekaragaman hayati, mengurangi tekanan hama dan penyakit, serta memperbaiki kesehatan tanah. Dengan memilih spesies tanaman yang kompatibel berdasarkan interaksi ekologis dan adaptasi lingkungan, petani dapat mengoptimalkan produktivitas sekaligus mengurangi ketergantungan pada input kimia. Integrasi praktik ini dalam sistem pertanian modern dapat berkontribusi secara signifikan terhadap produksi pangan yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Namun, penerapan yang efektif memerlukan pemahaman mendalam tentang hubungan antar tanaman, faktor lingkungan, serta teknik manajemen yang tepat guna memaksimalkan manfaat dan memastikan keberlanjutan pertanian jangka Panjang

3. Penggunaan Varietas Tahan Penyakit

Pembiakan dan seleksi varietas tanaman yang tahan penyakit merupakan strategi yang sangat efektif untuk mengurangi dampak patogen tanaman. Varietas tahan penyakit memiliki sifat genetik yang meningkatkan kemampuan mereka dalam menahan infeksi, sehingga mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia dan mendukung pertanian yang berkelanjutan secara lingkungan. Kemajuan dalam bioteknologi, khususnya modifikasi genetik (GM) dan seleksi berbasis penanda (marker-assisted selection), telah memungkinkan para ilmuwan mengembangkan tanaman dengan ketahanan yang lebih baik terhadap berbagai patogen, termasuk virus, jamur, dan bakteri (Gai et al., 2024).

Sebagai contoh, kemajuan terbaru dalam budidaya pisang telah menghasilkan pengembangan hibrida Yellowway One, yang menunjukkan ketahanan terhadap ancaman utama seperti penyakit layu *Fusarium* (Penyakit Panama) dan Black Sigatoka. Dalam produksi padi, varietas modern seperti IR64 dan IRRI 154 telah direkayasa untuk tahan terhadap penyakit hawar daun bakteri dan penyakit blast, sehingga menjamin hasil panen yang stabil bahkan di daerah yang rentan terhadap penyakit. Selain itu, varietas pepaya transgenik seperti Rainbow dan SunUp telah berhasil dikembangkan untuk melawan virus Papaya Ringspot Virus (PRSV) yang menghancurkan, sehingga meningkatkan produksi pepaya secara global (Olivares et al., 2021).

Di luar contoh tersebut, berbagai tanaman lain juga telah mendapatkan manfaat dari program pemuliaan varietas tahan penyakit, di antaranya (Abbas, 2018)

- a. Bt Cotton: Direkayasa secara genetik untuk menghasilkan toksin *Bacillus thuringiensis* (Bt), yang memberikan ketahanan

terhadap hama ulat penggerek kapas sekaligus mengurangi penggunaan insektisida.

- b. Apel Golden Delicious dan Honeycrisp: Varietas baru yang dikembangkan kini memiliki ketahanan terhadap fire blight, penyakit bakteri yang telah menyebabkan kerugian besar pada kebun apel.
 - c. Varietas Gandum Tahan Ug99 Stem Rust: Kultivar gandum baru telah dikembangkan untuk melawan Ug99, strain karat batang yang sangat virulen dan mengancam produksi gandum global.
 - d. Kentang Tahan Hawar Daun: Varietas seperti Fortuna dan Simplot Innate telah dikembangkan untuk melawan *Phytophthora infestans*, patogen yang bertanggung jawab atas Kelaparan Besar Irlandia.
4. Adopsi luas varietas tanaman tahan penyakit menawarkan banyak manfaat di luar pengendalian patogen. Selain meminimalkan kehilangan hasil panen, varietas ini mengurangi biaya input bagi petani dan meningkatkan keberlanjutan ekonomi dengan menekan ketergantungan pada perlakuan kimia. Selain itu, penggunaan varietas tahan penyakit berkontribusi pada konservasi lingkungan dengan mengurangi penggunaan pestisida, yang membantu menjaga kualitas tanah dan air serta mendukung organisme menguntungkan dalam ekosistem pertanian (Scortichini, 2022).

Seiring dengan kemajuan penelitian pemuliaan tanaman, integrasi antara teknik pemuliaan tradisional dan rekayasa genetika modern akan semakin meningkatkan ketahanan tanaman, memastikan ketahanan pangan global di tengah ancaman penyakit tanaman yang terus berkembang. Inovasi terbaru dalam pengeditan gen

CRISPR, RNA interference (RNAi), dan pemuliaan hibrida berpotensi mempercepat pengembangan tanaman tahan penyakit, yang akan membentuk masa depan pertanian berkelanjutan (Hamdan et al., 2024)

5. Manajemen Tanah untuk Kesehatan Tanaman

Tanah yang sehat merupakan dasar bagi tanaman yang tangguh serta pengelolaan hama dan penyakit yang efektif. Teknik manajemen tanah yang tepat dapat meningkatkan keanekaragaman mikroba, menekan patogen yang hidup di tanah, dan meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Praktik seperti penambahan bahan organik, pengomposan, dan pengolahan tanah yang minimal berkontribusi pada kesehatan tanah (Tahat et al., 2020). Amandemen organik, seperti kompos dan biochar, memperkenalkan mikroorganisme menguntungkan yang bersaing dengan patogen berbahaya, serta meningkatkan struktur tanah dan retensi air. Selain itu, biochar meningkatkan porositas tanah dan menyediakan habitat bagi mikroba menguntungkan, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih stabil dan kaya nutrisi bagi tanaman.

Penggunaan tanaman penutup tanah seperti semanggi (clover) atau vetch membantu mempertahankan kelembaban, mencegah erosi, dan meningkatkan kandungan organik tanah. Tanaman ini juga mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer, sehingga secara alami memperkaya tanah sekaligus menyediakan habitat bagi serangga dan mikroba yang bermanfaat. Selain itu, pengolahan tanah konservasi yang meminimalkan gangguan mekanis dapat mempertahankan populasi mikroba menguntungkan yang berperan dalam penekanan hama secara alami (Jalli et al., 2021). Dengan mengurangi gangguan tanah, teknik ini menjaga agregat

tanah serta kandungan bahan organik, meningkatkan infiltrasi air, dan mengurangi erosi.

Sebagai contoh, sebuah studi di lahan jagung di Kenya menemukan bahwa mengintegrasikan pengolahan tanah konservasi dengan tanaman penutup tanah secara signifikan meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan meningkatkan hasil panen jagung sebesar 30% dalam lima tahun dibandingkan dengan metode pengolahan tanah konvensional. Kombinasi antara gangguan tanah minimal dan tanaman penutup nitrogen seperti vetch dan lablab meningkatkan aktivitas mikroba, mengurangi tekanan gulma, serta menekan penyakit yang berasal dari tanah (Sileshi et al., 2008). Ketika dipadukan dengan manajemen kesuburan tanah terpadu, termasuk pemupukan seimbang dan rotasi tanaman, praktik ini menciptakan pendekatan berkelanjutan terhadap kesehatan tanah, memastikan produktivitas pertanian jangka panjang sekaligus meminimalkan ketergantungan pada input kimia.

6. Sanitasi dan Higiene

Menerapkan langkah-langkah sanitasi yang efektif di lahan pertanian sangat penting untuk mengurangi penyebaran hama dan penyakit, sehingga meningkatkan kesehatan tanaman dan hasil panen. Menghilangkan sisa tanaman, gulma, dan material tanaman yang terinfeksi dapat mengurangi habitat potensial bagi hama dan patogen, serta menekan kelangsungan hidup mereka dari satu musim ke musim berikutnya. Praktik ini mengganggu siklus hidup berbagai hama dan meminimalkan sumber inokulum bagi penyakit. Sebagai contoh, tindakan sanitasi seperti membersihkan gulma di dalam dan sekitar rumah kaca, membuang sisa tanaman dan media tanam dari dalam rumah kaca, serta mengelola

pertumbuhan alga di lingkungan rumah kaca telah terbukti secara signifikan mengurangi populasi hama (Cloyd, 2022).

Membersihkan dan mendisinfeksi peralatan pertanian, mesin, dan struktur rumah kaca lebih lanjut dapat mengurangi penularan penyakit. Peralatan yang terkontaminasi dapat berfungsi sebagai vektor patogen, membantu penyebarannya ke seluruh lahan dan tanaman. Oleh karena itu, sanitasi rutin pada alat-alat pertanian sangat penting untuk mencegah kontaminasi silang dan penyebaran penyakit. Selain itu, praktik sanitasi dapat meningkatkan efektivitas strategi Pengelolaan Hama Terpadu (Integrated Pest Management atau IPM) dengan mengurangi populasi awal hama serta membatasi ketergantungan pada pengendalian kimia (Angon et al., 2023).

Mengintegrasikan sanitasi ke dalam program IPM tidak hanya membantu dalam pengelolaan populasi hama tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi kebutuhan akan intervensi kimia. Meningkatkan kesadaran dan mendidik pekerja pertanian tentang praktik higiene terbaik, termasuk pembuangan yang benar terhadap material yang terinfeksi serta langkah-langkah perlindungan pribadi, dapat semakin meningkatkan keamanan hayati dan mengurangi risiko kontaminasi silang. Secara keseluruhan, sanitasi merupakan komponen mendasar dalam pertanian berkelanjutan yang berkontribusi terhadap kesehatan dan produktivitas sistem pertanian dalam jangka panjang.

7. Manajemen Air

Manajemen air yang efisien sangat penting dalam mengendalikan penyakit tanaman, terutama yang disebabkan oleh jamur dan bakteri. Kelebihan kelembapan, baik akibat penyiraman

berlebihan, drainase yang buruk, maupun genangan air, menciptakan lingkungan yang sangat mendukung bagi patogen penyebab busuk akar, bercak daun, embun tepung, dan infeksi lainnya. Untuk mengurangi risiko ini, penerapan teknik irigasi yang tepat menjadi sangat penting. Irigasi tetes adalah salah satu metode paling efektif karena mengalirkan air langsung ke zona akar, sehingga mengurangi kelembapan berlebih pada daun dan meminimalkan kondisi yang mendukung pertumbuhan jamur. Selain itu, penggunaan mulsa membantu mencegah penyakit dengan mempertahankan kelembapan tanah, mengatur suhu, dan mencegah percikan air yang dapat menyebarkan patogen tanah ke daun tanaman (Stenberg, 2017).

Selain itu, waktu penyiraman berperan penting dalam pengendalian penyakit. Menyiram tanaman pada pagi hari memungkinkan kelebihan air di daun menguap sepanjang hari, sehingga mengurangi tingkat kelembapan yang mendukung infeksi jamur. Sebaliknya, penyiraman pada sore atau malam hari dapat menyebabkan kelembapan bertahan lebih lama di daun, menciptakan kondisi ideal bagi patogen seperti embun bulu dan embun tepung untuk berkembang.

Peningkatan drainase tanah juga merupakan strategi utama dalam mencegah penyakit tanaman yang berhubungan dengan air. Penambahan bahan organik, seperti kompos atau pupuk kandang yang telah terurai dengan baik, dapat meningkatkan struktur tanah, memungkinkan infiltrasi air yang lebih baik, dan mengurangi risiko tanah tergenang. Selain itu, penggunaan bedengan atau sistem tanam gundukan dapat membantu mengalihkan kelebihan air dari akar tanaman, sehingga mencegah

kondisi yang menyebabkan penyakit seperti busuk akar *Phytophthora* dan *Pythium damping-off*.

Sanitasi dan pemeliharaan sistem irigasi juga sangat penting dalam pengelolaan penyakit tanaman. Air irigasi atau peralatan yang terkontaminasi dapat menyebarkan spora bakteri dan jamur, memperparah wabah penyakit. Pembersihan rutin pada saluran irigasi, emitor tetes, dan alat penyiram membantu mengurangi penumpukan patogen. Selain itu, menghindari penyiraman dari atas (*overhead watering*), terutama di area dengan tanaman yang tumbuh rapat, dapat mengurangi risiko penularan penyakit dengan membatasi kontak langsung antara air dan daun tanaman.

Memantau tingkat kelembapan tanah adalah pendekatan proaktif untuk memastikan tanaman menerima jumlah air yang sesuai. Penggunaan sensor kelembapan tanah atau pemeriksaan manual sebelum penyiraman dapat membantu mencegah penyiraman berlebihan maupun kekurangan air. Kondisi yang terlalu basah dapat menyebabkan akar kekurangan oksigen dan mempercepat penyebaran penyakit, sementara stres akibat kekeringan dapat melemahkan tanaman, membuatnya lebih rentan terhadap infeksi. Dengan mengintegrasikan strategi manajemen air ini—teknik irigasi yang tepat, pengaturan waktu penyiraman, peningkatan drainase tanah, sanitasi, dan pemantauan kelembapan—petani dan pekebun dapat secara signifikan mengurangi risiko penyakit tanaman. Praktik-praktik ini tidak hanya meningkatkan kesehatan dan hasil panen tetapi juga mengurangi ketergantungan pada fungisida kimia, sehingga mendukung pendekatan pengendalian penyakit yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Millan et al. 2019)

8. Integrasi Teknologi Modern

Integrasi teknologi modern, khususnya Internet of Things (IoT), telah secara signifikan mengubah pengelolaan hama dan penyakit dalam bidang pertanian. IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time, sehingga mendukung deteksi dini dan penerapan langkah-langkah pengendalian yang lebih presisi. Misalnya, sensor pintar dapat mendeteksi tingkat kelembapan dan memprediksi wabah penyakit sebelum gejala muncul, memungkinkan intervensi yang lebih proaktif (Dhanaraju, 2022). Dengan mengumpulkan dan menganalisis data secara berkelanjutan tentang faktor-faktor seperti kelembapan, suhu, dan kadar air tanah, sistem IoT dapat memprediksi potensi serangan hama atau kejadian penyakit, sehingga petani dapat mengambil tindakan pencegahan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar. Sebuah studi oleh Wang et al. (2024) mengembangkan sistem pencegahan dan pengendalian penyakit tanaman berbasis IoT, yang mengintegrasikan perangkat perlindungan tanaman dengan sensor yang memantau kondisi lingkungan secara real-time. Sistem ini meningkatkan pengambilan keputusan dan mengurangi penggunaan pestisida secara berlebihan dengan menyediakan rekomendasi berbasis data yang akurat.

Lebih lanjut, (Mooy et al., 2022) menerangkan bahwa penerapan teknologi informasi berkontribusi terhadap pertanian presisi dengan mengoptimalkan strategi pengendalian hama, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan hasil panen. Kemajuan ini menunjukkan bagaimana integrasi teknologi modern dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan hama dan penyakit, yang pada akhirnya mengarah pada praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

9. Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati adalah pendekatan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam mengelola populasi hama dengan memanfaatkan musuh alaminya, termasuk predator, parasitoid, dan patogen. Metode ini menjadi alternatif bagi pestisida kimia, dengan tujuan mengurangi dampak lingkungan serta mendukung keberlanjutan pertanian dalam jangka panjang (Baker et al., 2020). Salah satu contoh penerapan yang menonjol adalah penggunaan jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae*, yang terbukti sangat efektif dalam mengendalikan ulat tentara (*Spodoptera frugiperda*), hama utama pada tanaman jagung (Dessie et al., 2024). Studi menunjukkan bahwa aplikasi *M. anisopliae* dapat secara signifikan menekan populasi ulat tentara, sehingga mengurangi kerusakan tanaman dan kehilangan hasil panen.

Selain jamur, penggunaan serangga predator juga terbukti efektif dalam pengendalian hama. Sebagai contoh, pelepasan kumbang koksii (*Coccinellidae*) dan serangga lacewing (*Chrysopidae*) di lahan pertanian telah berhasil mengendalikan populasi kutu daun. Predator ini memangsa kutu daun sehingga menekan jumlahnya tanpa memerlukan intervensi kimia (Evans, 2009). Salah satu contoh sukses pengendalian hayati adalah pengelolaan hama kutu putih singkong (*Phenacoccus manihoti*) di Afrika. Pengenalan tawon parasitoid *Anagyrus lopezi* menyebabkan penurunan signifikan dalam populasi kutu putih, yang berdampak pada peningkatan hasil panen singkong dan peningkatan ketahanan pangan di wilayah tersebut (Neuenschwander, 2001).

Keunggulan pengendalian hayati meliputi spesifisitasnya terhadap hama target, sehingga mengurangi dampak pada organisme non-target, serta potensinya dalam menekan populasi hama dalam

jangka panjang melalui pembentukan populasi musuh alami yang berkelanjutan. Namun, tantangan seperti perlunya studi ekologi yang mendalam untuk mencegah dampak yang tidak diinginkan serta efektivitas yang bervariasi akibat faktor lingkungan harus diperhitungkan (Baker et al., 2020). Secara keseluruhan, integrasi metode pengendalian hayati dalam strategi pengelolaan hama menawarkan jalur yang menjanjikan menuju pertanian berkelanjutan, dengan mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan mendukung keseimbangan ekologi (Zhou et al., 2024).

Mengadopsi teknik budidaya berkelanjutan sangat penting untuk pengelolaan hama dan penyakit yang efektif dalam pertanian. Dengan mengintegrasikan praktik tradisional dan kemajuan teknologi modern, petani dapat meningkatkan ketahanan tanaman, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, dan menjaga kesehatan lingkungan. Penelitian dan inovasi yang berkelanjutan dalam bidang ini sangat diperlukan untuk menghadapi tantangan yang muncul dan memastikan ketahanan pangan global.

Bab 8

Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit

8.1 Pendahuluan

Ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit merupakan salah satu elemen penting dalam menjaga produktivitas pertanian. Tanaman yang memiliki ketahanan yang baik dapat lebih efektif menghadapi serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), sehingga mengurangi ketergantungan pada penggunaan pestisida dan meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan. Dalam era pertanian modern, pemahaman tentang mekanisme ketahanan tanaman menjadi sangat penting untuk pengembangan varietas unggul dan penerapan strategi pengendalian yang lebih ramah lingkungan.

Ketahanan tanaman dapat bersifat alami atau diperoleh melalui rekayasa genetika dan pemuliaan. Ketahanan alami berasal dari sifat genetik yang diturunkan dari generasi ke generasi, sedangkan ketahanan yang dihasilkan

dari pemuliaan dicapai melalui berbagai teknik seleksi dan modifikasi genetik untuk menciptakan varietas yang lebih tahan terhadap hama dan penyakit. Selain itu, faktor lingkungan seperti kondisi tanah, iklim, dan keberadaan musuh alami hama juga berperan dalam menentukan tingkat ketahanan tanaman.

Bab ini akan mengulas berbagai aspek ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit, mulai dari jenis-jenis ketahanan, mekanisme pertahanan tanaman, hingga strategi pengelolaan yang berbasis ketahanan. Dengan pemahaman yang mendalam tentang konsep ini, diharapkan pembaca dapat menerapkan metode yang lebih efektif untuk melindungi tanaman dari ancaman hama dan penyakit, serta mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

8.1.1 Jenis-jenis ketahanan

Ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit melibatkan berbagai mekanisme yang memungkinkan tanaman untuk melindungi diri dari organisme berbahaya. Berikut adalah beberapa jenis utama ketahanan tanaman (Berlinger, 2008; Pathania et al., 2021; Siah et al., 2018; Singh, 1986a, 1986b, 1986c):

8.2 Ketahanan Struktural

Ketahanan struktural mencakup adanya penghalang fisik yang berfungsi untuk mencegah atau mengurangi masuknya patogen dan serangan hama. Contohnya termasuk dinding sel yang lebih tebal, kutikula lilin, dan trikoma (struktur mirip rambut) yang dapat menghalangi serangan serta mencegah penetrasi patogen. Ciri-ciri fisik ini berfungsi sebagai garis pertahanan pertama dalam menghadapi ancaman potensial. Pertahanan struktural ini dapat bersifat bawaan atau diinduksi sebagai respons terhadap ancaman yang dihadapi. Memahami mekanisme ini sangat penting untuk mengembangkan varietas tanaman dengan ketahanan yang lebih baik.

Berikut beberapa contoh ketahanan struktural tanaman (Biswas et al., 2025; Mitchell et al., 2016; Sood et al., 2021):

Dinding Sel yang Menebal: Tanaman seringkali memperkuat dinding selnya dengan lignin, sehingga patogen kesulitan untuk menembus dinding sel tersebut. Penguatan ini berfungsi sebagai mekanisme pertahanan utama terhadap berbagai jenis patogen.

Kutikula Lilin: Lapisan lilin yang terdapat pada permukaan daun dan batang berfungsi sebagai penghalang yang mencegah masuknya patogen serta mengurangi kehilangan air. Adaptasi ini umum dijumpai pada berbagai spesies tanaman.

Trikoma (Rambut Tanaman): Struktur yang menyerupai rambut ini dapat menghalangi herbivora dan menghambat pergerakan serangga, sehingga memberikan perlindungan fisik terhadap hama. Trikoma dapat ditemukan pada banyak spesies tanaman.



Gambar 8.1: Duri pada kaktus merupakan hasil modifikasi ekstrem dari daun.

Duri: Modifikasi morfologis seperti duri berfungsi untuk melindungi tanaman dengan cara menghalangi herbivora. Sebagai contoh, spesies *Acacia* memiliki stipula besar yang menyerupai duri, yang menyediakan tempat berlindung bagi semut, yang pada gilirannya melindungi tanaman

dari serangan herbivora. Contoh lainnya, sebagian besar spesies kaktus tidak memiliki daun atau cabang yang sejati. Kaktus memiliki cabang yang telah mengalami modifikasi besar yang disebut areoles, yaitu tonjolan kecil yang menjadi tempat tumbuhnya duri. Duri pada kaktus merupakan hasil modifikasi ekstrem dari daun (gambar 8.1).

Kulit Pohon: Lapisan luar pohon yang tebal dan bersifat protektif berfungsi sebagai pertahanan terhadap ancaman lingkungan dan patogen. Kulit pohon bertindak sebagai penghalang fisik yang melindungi jaringan bagian dalam.

Absisi Daun: Beberapa tanaman memiliki kemampuan untuk menggugurkan daun yang terinfeksi guna mencegah penyebaran patogen ke jaringan yang sehat. Mekanisme ini berkontribusi dalam menahan infeksi.

Pembentukan Tilosa: Sebagai respons terhadap serangan patogen vaskular, tanaman dapat membentuk tilosa, yakni adanya pertumbuhan yang menyumbat pembuluh xilem, sehingga menghambat pergerakan patogen. Respons ini dapat diamati pada spesies tanaman tertentu.

Pembentukan Suberin: Akumulasi suberin di dinding sel menciptakan penghalang hidrofobik yang membatasi masuknya patogen. Suberin adalah makromolekul lipofilik yang ditemukan di dinding sel tanaman tertentu, yang membutuhkan perlindungan atau isolasi dari lingkungan. Sel-sel yang mengandung suberin membentuk periderm, jaringan yang melapisi batang sekunder sebagai bagian dari kulit kayu, serta berkembang sebagai jaringan penyegel setelah terjadinya luka atau saat daun jatuh. Suberin merupakan poliester kompleks yang terdiri dari asam suberin dan gliserol.

Pembentukan Lapisan Gabus: Tanaman dapat mengembangkan lapisan gabus di sekitar area yang terinfeksi, yang berfungsi untuk mengisolasi patogen dan mencegah penyebaran lebih lanjut. Adaptasi struktural ini merupakan bagian dari strategi pertahanan tanaman.

Pembentukan kalus: Sebagai respons terhadap serangan patogen, tanaman dapat membentuk kalus (polisakarida) yang memperkuat dinding sel dan

menghambat perkembangan patogen. Respons ini merupakan bagian dari mekanisme pertahanan tanaman.

Berbagai pertahanan struktural ini sangat penting untuk kelangsungan hidup tanaman dan memiliki implikasi signifikan bagi sektor pertanian, khususnya dalam program pemuliaan yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit.

8.3 Ketahanan Biokimia

Tumbuhan telah mengembangkan mekanisme pertahanan biokimia yang kompleks untuk melindungi diri dari serangan patogen dan herbivora. Ketahanan biokimia merujuk pada kemampuan tanaman untuk memproduksi senyawa kimia yang bersifat racun atau dapat menghalangi hama dan patogen. Pertahanan ini melibatkan produksi berbagai senyawa kimia yang berfungsi untuk menghalangi, menghambat, atau menetralkan ancaman yang mungkin muncul.

Contoh Mekanisme Pertahanan Biokimia pada Tumbuhan (Chowdhary and Tank, 2023; Iqbal et al., 2021; Nishad et al., 2020; Yactayo-Chang et al., 2020):

1. **Produksi Fitoaleksin:** Tumbuhan memproduksi senyawa antimikroba yang dikenal sebagai fitoaleksin sebagai respons terhadap invasi patogen. Sebagai contoh, tanaman anggur menghasilkan resveratrol, yang merupakan fitoaleksin dari kelompok stilbena, setelah terinfeksi oleh jamur.
2. **Inhibitor Enzim:** Beberapa tumbuhan menghasilkan inhibitor protease yang mengganggu enzim pencernaan pada herbivora, sehingga mengurangi kemampuan mereka untuk memanfaatkan protein dari tumbuhan. Contohnya, tomat memproduksi inhibitor yang memengaruhi protease di usus serangga.

3. Sintesis Alkaloid: Alkaloid adalah senyawa yang mengandung nitrogen dan dapat bersifat racun bagi herbivora serta patogen. Nikotin yang terdapat dalam tanaman tembakau berfungsi sebagai neurotoksin bagi serangga, sehingga menghalangi aktivitas herbivora.
4. Senyawa Fenolik: Senyawa ini, seperti tanin yang ditemukan pada pohon ek, dapat mengikat protein dan mengurangi daya cerna, sehingga mencegah herbivora untuk mengonsumsi tumbuhan tersebut.
5. Terpenoid: Terpenoid memiliki berbagai peran defensif, termasuk mencegah serangan herbivora dan menarik predator alami mereka. Piretrin yang dihasilkan dari bunga krisan berfungsi sebagai insektisida alami yang memengaruhi sistem saraf serangga.
6. Lektin: Protein pengikat karbohidrat ini dapat mengikat sel usus serangga, mengganggu penyerapan nutrisi, dan menyebabkan toksisitas. Contohnya, lektin dari tetesan salju memiliki sifat insektisida.
7. Protein Terkait Patogenesis: Setelah serangan patogen, tanaman menghasilkan protein ini yang memiliki sifat antimikroba. Kitinase, misalnya, berfungsi untuk mendegradasi kitin yang terdapat di dinding sel jamur, sehingga menghambat pertumbuhan jamur.
8. Glukosinolat: Ditemukan pada tanaman seperti sawi dan kubis, glukosinolat dapat dihidrolisis menjadi senyawa yang beracun bagi herbivora dan patogen, berfungsi sebagai mekanisme pertahanan kimiawi.
9. Glikosida Sianogenik: Senyawa ini melepaskan hidrogen sianida ketika jaringan tanaman mengalami kerusakan, sehingga menghalangi herbivora. Singkong mengandung linamarin, yang

merupakan glikosida sianogenik yang melepaskan sianida saat jaringan terganggu.

10. Enzim Oksidatif: Tanaman menghasilkan enzim seperti peroksidase yang menghasilkan Reactive Oxygen Species di lokasi infeksi, yang dapat menyebabkan kerusakan pada sel patogen.

Mekanisme pertahanan biokimia ini sangat penting untuk kelangsungan hidup tanaman, memberikan perlindungan terhadap berbagai tekanan biotik yang dihadapi.

8.4 Ketahanan Induksi

Ketahanan induksi adalah kondisi di mana tanaman meningkatkan kemampuan pertahanannya setelah terpapar rangsangan tertentu, seperti serangan patogen atau perlakuan dengan bahan kimia tertentu. Jenis ketahanan ini dapat bersifat sistemik, memberikan perlindungan yang lebih tahan lama terhadap berbagai patogen dan hama. Mekanisme resistensi yang terinduksi sering kali melibatkan jalur sinyal yang kompleks, yang mempersiapkan tanaman untuk memberikan respons pertahanan yang lebih baik pada serangan berikutnya.

Mekanisme adaptif ini sangat penting dalam konteks pertanian berkelanjutan, karena menyediakan alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia.

Jenis-jenis Ketahanan induksi (Hartman et al., 2016; Huang et al., 2023; Iqbal et al., 2021; Nishad et al., 2020):

1. Systemic Acquired Resistance (SAR): Dipicu oleh paparan patogen lokal, SAR menyebabkan respons imun yang bersifat sistemik di seluruh bagian tanaman. Respons ini sering kali terkait dengan akumulasi asam salisilat dan aktivasi protein yang berhubungan

dengan patogenesis, memberikan resistensi yang luas terhadap berbagai patogen.

2. Induced Systemic Resistance (ISR): Dimediasi oleh mikroba bermanfaat seperti rhizobacteria pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR), ISR meningkatkan kapasitas pertahanan tanaman tanpa adanya serangan patogen langsung. Berbeda dengan SAR, ISR terutama bergantung pada jalur pensinyalan asam jasmonat dan etilen, dan biasanya tidak melibatkan akumulasi protein terkait patogenesis.
3. Berikut adalah beberapa contoh ISR pada berbagai tanaman:
4. Tanaman Tomat: Perlakuan dengan strain PGPR tertentu telah terbukti menginduksi pertahanan pada tanaman tomat sehingga meningkatkan ketahanan terhadap penyakit bercak bakteri yang disebabkan oleh *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (El-Hendawy et al., 2005)
5. Arabidopsis: Paparan terhadap rhizobacteria non-patogen seperti *Pseudomonas fluorescens* dapat memicu ISR pada *Arabidopsis thaliana*, yang mengarah pada peningkatan ketahanan terhadap patogen seperti *Pseudomonas syringae* pv. *tomat* (Weller et al., 2012)
6. Padi: Perlakuan dengan jamur endofit tertentu telah ditemukan dapat menginduksi resistensi pada tanaman padi sehingga mampu mempertahankan diri dari serangan jamur blast padi *Magnaporthe oryzae* (Velmurugan et al., 2023)
7. Gandum: Aplikasi induktor kimia seperti benzothiadiazole telah terbukti mengaktifkan SAR pada gandum sehingga memberikan peningkatan ketahanan terhadap penyakit bulai tepung yang disebabkan oleh *Blumeria graminis* f. sp. *Tritici* (Stadnik and Buchenauer, 2000)

8. Kentang: Paparan terhadap pemicu induced resistance seperti asam β -aminobutyric dapat menginduksi ketahanan pada tanaman kentang sehingga mampu bertahan dari serangan penyakit busuk daun yang disebabkan oleh *Phytophthora infestans* (Bengtsson et al., 2014).
9. Kedelai: Inokulasi dengan strain *Bacillus simplex* tertentu telah terbukti menginduksi ISR pada tanaman kedelai sehingga meningkatkan ketahanan terhadap nematoda kista kedelai (*Heterodera glycines*) (Xing et al., 2020).
10. Tanaman Anggur: Aplikasi kitosan, yang merupakan polisakarida alami, telah dilaporkan dapat menginduksi ketahanan pada tanaman anggur sehingga mampu bertahan dari serangan penyakit bulai berbulu yang disebabkan oleh *Plasmopara viticola* (Mian et al., 2023).
11. Tembakau: Perlakuan dengan analog asam salisilat dapat mengaktifkan SAR pada tanaman tembakau sehingga memberikan ketahanan terhadap virus mosaik tembakau (TMV) (Fodor et al., 1997).
12. Barley: Paparan terhadap stress mekanis dan biologis tertentu telah terbukti memicu resistensi pada barley sehingga mampu bertahan menghadapi penyakit bulai tepung yang disebabkan oleh *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* (Matsuo et al., 2001).

Dengan memahami dan memanfaatkan mekanisme resistensi yang diinduksi ini memberikan peluang yang menjanjikan untuk mengembangkan strategi perlindungan tanaman yang berkelanjutan, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai tekanan biotik.

8.5 Modifikasi Genetik untuk meningkatkan Ketahanan terhadap Penyakit pada Tanaman

Patogen tanaman, yang mencakup virus, bakteri, jamur, dan nematoda, merupakan ancaman serius bagi pertanian global, menyebabkan kerugian hasil panen yang signifikan. Metode tradisional, seperti penggunaan pestisida kimia dan pemuliaan konvensional, telah diterapkan untuk mengatasi masalah ini. Namun, pendekatan tersebut sering kali tidak efektif karena evolusi cepat patogen dan proses pemuliaan yang memakan waktu. Penerapan teknologi rekayasa genetika dan penyuntingan genom sebagai alternatif yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit banyak direkomendasikan (van Esse et al., 2020).

8.5.1 Strategi Intervensi

Beberapa strategi intervensi yang didukung oleh modifikasi genetik adalah sebagai berikut:

1. Pengenalan Patogen dan Efektor:

Tanaman memiliki sistem imun bawaan yang dapat mengenali pola molekuler terkait patogen (Pathogen-associated molecular patterns, PAMP) melalui reseptor pengenalan pola (pattern-recognition receptors, PRR). Rekayasa genetika dapat meningkatkan kemampuan pengenalan ini dengan memperkenalkan atau memodifikasi PRR, sehingga memperkuat respons imun tanaman. Sebagai contoh, pemindahan PRR dari spesies yang resisten ke spesies yang rentan telah terbukti meningkatkan ketahanan.

2. Modifikasi Sinyal Pertahanan dan Regulasi:

Jalur sinyal pertahanan, yang dimediasi oleh asam salisilat, asam jasmonat, dan etilen, memainkan peran penting dalam kekebalan tanaman. Modifikasi genetik dapat mengoptimalkan jalur ini, menghasilkan mekanisme pertahanan yang lebih kuat. Misalnya, peningkatan ekspresi faktor transkripsi tertentu dapat mengaktifkan gen pertahanan hilir, sehingga meningkatkan ketahanan.

3. Menargetkan Gen Kerentanan:

Beberapa gen tanaman, yang dikenal sebagai gen kerentanan (S), dieksploitasi oleh patogen untuk memfasilitasi infeksi. Dengan melumpuhkan atau memodifikasi gen S ini menggunakan alat genome editing seperti CRISPR-Cas9, kerentanan tanaman terhadap patogen tertentu menjadi berkurang. Pendekatan ini telah berhasil diterapkan pada tanaman seperti padi dan gandum untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit bakteri dan jamur.

4. Pengenalan Peptida Antimikroba:

Peptida antimikroba (Antimicrobial peptides, AMP) adalah protein yang memiliki aktivitas penghambatan terhadap berbagai patogen seperti jamur, bakteri dan virus. Ekspresi transgenik AMP dalam tanaman dapat memberikan lapisan pertahanan tambahan. Sebagai contoh, pengenalan gen yang mengkode AMP dari spesies lain telah menghasilkan peningkatan ketahanan pada berbagai tanaman.

5. Interferensi RNA (RNAi):

RNAi adalah mekanisme yang dapat digunakan untuk menargetkan gen penting dalam patogen. Dengan mengekspresikan RNA untai ganda yang sesuai dengan gen

patogen, tanaman dapat secara efektif mengurangi viabilitas patogen. Strategi ini telah diterapkan untuk memberikan ketahanan terhadap virus, serangga, dan nematoda.

8.6 Gen Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit

Pengetahuan dan pemahaman terhadap gen ketahanan penyakit tanaman (Resistance genes, R) sangat diperlukan untuk meningkatkan perlindungan tanaman. Berikut adalah klasifikasi, mekanisme, dan aplikasi gen R, serta penekanan pentingnya gen ini dalam konteks pertanian berkelanjutan.

Penyakit tanaman yang disebabkan oleh berbagai patogen, termasuk bakteri, jamur, virus, dan nematoda, merupakan ancaman serius bagi ketahanan pangan global. Metode pengendalian penyakit tradisional, seperti penggunaan pestisida kimia, memiliki keterbatasan akibat dampak lingkungan dan munculnya galur patogen yang resisten. Oleh karena itu, pemahaman dan pemanfaatan kekebalan bawaan tanaman, khususnya melalui gen R, telah menjadi fokus utama dalam strategi peningkatan tanaman.

8.6.1 Klasifikasi Gen R

Gen R merupakan komponen kunci dari sistem kekebalan tanaman, yang memungkinkan pengenalan efektor patogen tertentu dan memicu respons pertahanan (Mehdi et al., 2025).

Kategori gen R berdasarkan fitur struktural dan mekanisme kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Protein nucleotide-binding site-leucine-rich repeat (NBS-LRR):

Kelas gen R yang paling umum, ditandai dengan kemampuannya untuk mengenali efektor patogen secara langsung atau tidak langsung, yang memicu respons imun.

2. Receptor-like kinase (RLK) dan receptor-like protein (RLP):
Terletak di permukaan sel, protein ini mendeteksi pola molekuler terkait patogen (PAMP) dan mengaktifkan jalur sinyal pertahanan.
3. Gen R lainnya:
Kategori ini mencakup gen yang mengkode protein dengan domain atau fungsi unik, yang berkontribusi terhadap resistensi penyakit melalui berbagai mekanisme.

8.6.2 Mekanisme Resistensi yang Dimediasi Gen R

Beberapa mekanisme molekuler yang digunakan oleh gen R untuk memberikan resistensi meliputi pengenalan efektor, yakni protein R dapat mendeteksi efektor patogen baik secara langsung dengan mengikatnya atau secara tidak langsung dengan modifikasi pada protein inang yang ditargetkan oleh efektor tersebut. Mekanisme lainnya yaitu melalui transduksi sinyal, yakni setelah pengenalan efektor, protein R memulai serangkaian peristiwa pensinyalan yang melibatkan molekul seperti mitogen-activated protein kinase (MAPK), yang mengarah pada aktivasi gen pertahanan. Selain itu, mekanisme respons hipersensitif juga banyak terjadi, yakni kematian sel lokal di lokasi infeksi, yang sering kali dipicu untuk membatasi penyebaran patogen (Mehdi et al., 2025).

8.6.3 Teknologi dalam Identifikasi dan Pemanfaatan Gen R

Kemajuan teknologi terkini telah mempercepat penemuan dan penerapan gen R. Beberapa teknologi yang digunakan antara lain genomik dan bioinformatika, yakni menggunakan alat sequencing dan alat komputasi sehingga mampu mengidentifikasi gen R di berbagai spesies tanaman. Teknologi lainnya yaitu genome editing, yakni menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah seperti CRISPR-Cas9 yang memungkinkan

modifikasi gen R yang tepat, meningkatkan efektivitasnya atau memperluas spektrum pengenalannya. Selain itu, pendekatan transgenik juga dapat digunakan, yaitu memperkenalkan gen R dari spesies yang resisten ke tanaman yang rentan. Penumpukan beberapa gen R dalam satu kultivar juga dapat memberikan ketahanan yang lebih tahan lama terhadap berbagai patogen, metode ini disebut pembentukan piramida gen R (Mehdi et al., 2025).

8.6.4 Tantangan dan Perspektif Masa Depan

Meskipun telah terjadi kemajuan yang signifikan, beberapa tantangan yang masih dihadapi antara lain adanya evolusi patogen, yaitu patogen dapat berevolusi untuk menghindari pengenalan oleh protein R, sehingga memerlukan pemantauan dan pengembangan gen R baru secara berkelanjutan. Selain itu, penerapan tanaman yang dimodifikasi secara genetik (GMO) seringkali menghadapi rintangan regulasi dan skeptisisme publik di beberapa wilayah atau negara tertentu. Oleh karena itu, pendekatan terpadu yang menggabungkan penerapan gen R dengan strategi pengelolaan penyakit lainnya untuk mencapai perlindungan tanaman yang berkelanjutan sangat direkomendasikan.

Bab 9

Pengendalian Hama dan Penyakit Menggunakan Agens Hayati

Hama dan penyakit tanaman merupakan salah satu Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Serangan OPT sampai saat ini merupakan salah satu masalah utama dalam pertanian yang dapat menurunkan produksi tanaman. Salah satu upaya pengendalian hama dan penyakit tanaman yang biasa dilakukan oleh petani adalah dengan menggunakan berbagai jenis pestisida yang dinilai lebih praktis efektif dan efisien. Akan tetapi dalam penggunaan pestisida ini oleh petani seringkali kurang bijaksana tanpa memperhatikan aturan penggunaannya. Hal ini tentunya memiliki dampak buruk terhadap kesehatan petani, lingkungan, serta menimbulkan ketidakseimbangan ekosistem, munculnya resistensi, dan juga produk yang dihasilkan menjadi tidak aman untuk dikonsumsi (Mahyuni, 2015). Untuk mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan, maka diperlukan teknik

pengendalian yang ramah lingkungan, salah satunya dengan menggunakan agens hayati.

Pengendalian hama dan penyakit dengan agens hayati adalah pengendalian menggunakan setiap organisme yang dalam semua tahap perkembangannya dapat dipergunakan untuk keperluan pengendalian hama dan penyakit atau Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) (Qisthi et al., 2021). Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 411/ kpts dengan / TP.120/ 6/ 95 tanggal 1 Juni 1995, agens hayati merupakan setiap organisme yang meliputi spesies, subspecies, varietas, semua jenis serangga, nematoda, cendawan (fungi), bakteri, virus, mikroplasma, protozoa serta organisme lainnya yang setiap perkembangannya dapat dipergunakan untuk pengendalian hama dan penyakit.

9.1 Jenis-Jenis Agen Hayati

Dilihat dari kegunaannya, agens pengendali hayati dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu parasitoid, predator dan patogen.

9.1.1 Parasitoid

Parasitoid adalah organisme yang hidup dengan cara menumpang pada inang atau organisme lain dan mengambil nutrisi atau makan dari tubuh inang tersebut, sehingga dapat menyebabkan inang yang ditumpangnya mati (Solichah et al., 2022). Parasitoid hanya membutuhkan satu inang saja untuk mencapai fase dewasa. Selanjutnya inang tersebut akan mati jika perkembangan hidup parasitoid telah sempurna. Parasitoid dapat menyerang semua stadia inang mulai dari telur, larva, pupa dan imago yang hidup bebas di alam (Kartohardjono, 2011). Parasitoid yang telah banyak dipelajari maupun dimanfaatkan sebagai agens hayati pengendali hama di Indonesia adalah dari famili Trichogrammatidae yaitu dari genus *Trichogramma* dan *Trichogrammatoidea* (Buchori et al., 2010).

Berdasarkan banyaknya parasitoid pra dewasa per individu inang, parasitoid dibedakan menjadi:

1. Parasitoid soliter yaitu spesies parasitoid yang dapat melengkapi siklus hidupnya sampai fase dewasa pada satu inang, di mana satu inang diparasit oleh satu individu parasitoid. Contohnya antara lain adalah *Charops* sp.
2. Parasitoid Gregarios yaitu parasitoid yang dapat hidup beberapa individu dalam tubuh satu inang secara bersama-sama. Contohnya adalah *Tetrastichus scoenobii* (Sopialena, 2018).

Berdasarkan posisi makan pada inangnya, parasitoid dibedakan menjadi:

1. Ektoparasitoid, yaitu parasitoid yang masa siklus hidupnya berada di luar tubuh inang dengan cara menempel pada tubuh inang. Contohnya adalah *Exopolis* sp.
2. Endoparasitoid, yaitu parasitoid yang berkembang dalam tubuh inang. Contohnya adalah *Trichogramma* sp. (Muliani & Rafika, 2022).

9.1.2 Predator

Predator atau biasa disebut sebagai pemangsa, yaitu organisme yang hidup bebas dengan memakan, membunuh atau memangsa binatang atau serangga lain. Predator biasanya berukuran lebih besar dari pada mangsanya. Namun beberapa predator ada juga yang memiliki ukuran lebih kecil daripada mangsanya, misalnya semut (Hendrival et al., 2011).

Predator dapat digolongkan menjadi:

1. Serangga (Insecta), merupakan predator dengan jumlah spesies yang sangat banyak. Predator serangga yang paling banyak adalah ordo Coleoptera (Kumbang), Odonata (Capung), Diptera (Lalat).

2. Laba-laba, merupakan predator serangga dan hama penting seperti penggerek batang, belalang sembah, wereng dan spesies lainnya.
3. Burung (Aves), beberapa jenis burung seperti dapat digunakan sebagai predator tikus dan ulat daun.
4. Binatang menyusui, merupakan predator hama antara lain kucing sebagai predator hama tikus dan harimau sebagai predator babi (Solichah et al., 2022).

Predator berperan penting dalam menekan perkembangan populasi hama. Predator tidak hanya memakan satu jenis mangsa yang spesifik, akan tetapi juga dapat memakan berbagai jenis serangga pada berbagai stadia perkembangannya. Predator memakan dan membunuh mangsanya secara langsung, sehingga harus memiliki kemampuan berburu yang tinggi, serta memiliki kelebihan fisik yang memungkinkan predator untuk mampu menangkap dan membunuh mangsanya (Sopialena, 2018).

9.1.3 Patogen Serangga (Hama)

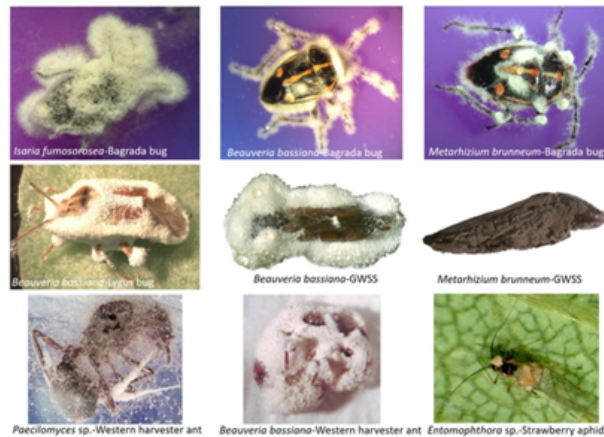
Patogen serangga merupakan mikroorganisme yang menginfeksi dan menyebabkan penyakit pada serangga sehingga dapat membunuh serangga atau inangnya. Patogen serangga terdiri dari kelompok virus, bakteri, jamur, protozoa dan nematoda. Patogen yang dapat menginfeksi serangga disebut dengan entomopatogen. Entomopatogen ini pada umumnya dapat menginfeksi beberapa spesies dari Ordo Orthoptera, Homoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Diptera atau Hymenoptera (Herlinda & Irsan, 2015). Secara umum patogen masuk ke dalam tubuh inangnya melalui dua cara yaitu 1) Passive entry, yaitu patogen masuk ke dalam tubuh inang ketika inang menelan patogen pada selama proses makan. 2). Active entry, yaitu patogen masuk melalui penetrasi langsung melalui lapisan kutikula inang tersebut (Asril et al., 2023).

1. Jamur Patogen Serangga

Jamur patogen serangga adalah jamur yang hidup, tumbuh dan berkembang dengan mengambil nutrisi dari inang yang

ditumpanginya, sehingga inang yang ditumpanginya menjadi mati karena tidak dapat melakukan metabolisme. Jamur ini dapat menyerang semua perkembangan serangga mulai dari telur, larva, pupa dan dewasa. Jamur yang menginfeksi serangga dinamakan jamur entomopatogen. Ada banyak jamur patogen serangga yang telah ditemukan, namun ada beberapa jenis jamur patogen serangga yang potensial dan efektif diantaranya adalah *Trichoderma* sp., *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium* sp., dan *Hirsutella thompsonii* (Mahr, 2003).

Serangga yang terinfeksi jamur patogen menunjukkan tanda yang khas yaitu adanya miselium di dalam maupun di permukaan tubuh serangga. Pada awal infeksi serangga akan terlihat sakit, tidak makan, lemah, gerakan serangga lambat dan tidak teratur serta terjadi perubahan warna tubuhnya. Kadang-kadang terlihat adanya bercak hitam pada kutikula serangga sebagai tempat penetrasi jamur tersebut (Sari, 2018). Infeksi jamur patogen serangga terjadi karena adanya kontak pasif konidia (konidiospora) dengan bantuan angin. Penetrasi konidia pada kutikula serangga dengan bantuan enzim pengurai. Enzim tersebut antara lain adalah enzim kitinase, lipase, fosfatase, esterase dan protease. Selain enzim, terdapat toksin yang dapat menghambat produksi energi dan protein seperti dari golongan destruksin, beauvisin dan mikotoksin. Gangguan toksin ini dapat mengakibatkan gerakan serangga menjadi lambat, perilaku tidak tenang, kejang dan akhirnya mati. Setelah serangga ini mati, maka jamur akan membentuk konidiospor dalam tubuh serangga tersebut (Tanada & Kaya, 1993).



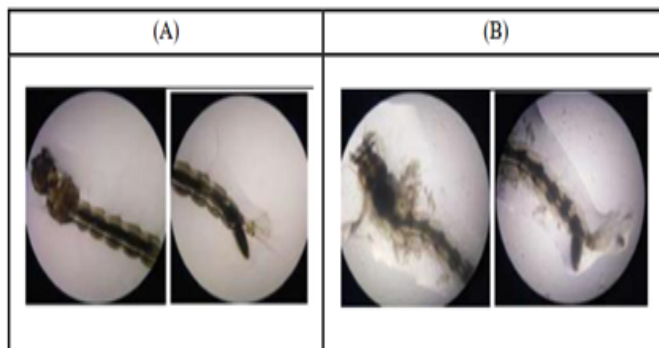
Gambar 9.1: Beberapa spesies serangga yang terserang jamur entomopatogen (Dara, 2017).

2. Bakteri Patogen Serangga

Bakteri patogen serangga adalah bakteri yang hidup, tumbuh dan berkembang dengan mengambil nutrisi dari inang yang ditumpanginya, sehingga inang yang ditumpanginya menjadi mati. Bakteri yang banyak digunakan untuk pengendalian serangga hama diantaranya yaitu *Bacillus* sp.

Bacillus thuringiensis, merupakan salah satu agens hayati yang paling potensial untuk pengendalian patogen serangga. Beberapa serangga hama yang dapat dikendalikan dengan penggunaan agens hayati *B. thuringiensis* adalah *Crociodolomia binotalis*, *Plutella xylostella*, *Thosea asigna*, *Setora nitens*, *Cillo sacchariphagus* dan *Scirpophaga nivela*. Bakteri ini bisa didapatkan di alam seperti pada tanah, pepohonan, debu, serangga mati dan habitat lainnya. *B. thuringiensis* mempunyai kemampuan membentuk badan inklusi parasporal pada saat berspekulasi. Dalam badan inklusi parasporal ini di akumulasikan delta endotoksin berupa protoksin. Apabila termakan oleh serangga, dalam saluran pencernaan

serangga lingkungan basa akan diubah menjadi toksin aktif. Saluran pencernaan larva serangga juga mengandung enzim protease yang berperan dalam pengubahan toksin menjadi toksin aktif (Husniyah, 2024). Apabila kristal endotoksin tertelan oleh larva nyamuk, maka akan menyebabkan terjadinya paralisis usus, kemudian larva nyamuk tersebut akan mati. Kristal protein toksin diproduksi di dalam sel bakteri bersama spora pada saat sel mengalami sporulasi (Blondine & Widyastuti, 1994).



Gambar 9.2: (A) Larva *Aedes aegypti* yang tidak diberi perlakuan, (B) Larva *Aedes aegypti* yang terinfeksi toksin *Bacillus* sp. (Husniyah, 2024).

3. Nematoda Patogen Serangga

Nematoda patogen serangga disebut juga sebagai nematoda entomopatogen, yaitu mikroorganisme berbentuk cacing, berukuran mikron yang berada di dalam tanah. Nematoda entomopatogen ini bersifat parasit obligat yang mampu menginvasi dan membunuh serangga hama pada tanaman sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agens pengendali hayati. Patogenesitas nematoda entomopatogen dimulai dengan penetrasi ke dalam tubuh serangga melalui lubang-lubang alami seperti spirakel, mulut dan anus.



Gambar 9.3: Serangga rayap yang terserang nematoda entomopatogen (Dara, 2017).

9.1.4 Antagonis Patogen Tanaman

Penggunaan agens antagonis untuk pengendalian patogen dihasilkan dari satu atau lebih mekanisme antagonis, tergantung dari jenis agens antagonis yang digunakan. Mekanisme penggunaan agens antagonis yang berpengaruh langsung terhadap patogen seperti kompetisi untuk kolonisasi, kompetisi sumber nitrogen dan karbon, kompetisi besi melalui produksi senyawa pengikat besi, senyawa antimikroba seperti antibiotik dan HCN, serta faktor patogenesitas dan parasitisme (Mirsam et al., 2015).

Jamur Sebagai Agens Hayati Pengendali Penyakit Tanaman

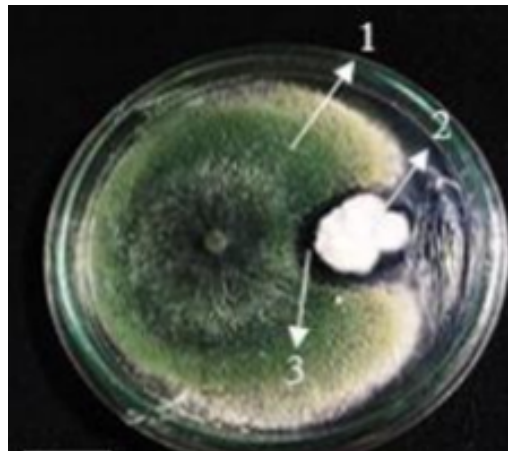
Jamur sebagai agens hayati diketahui dapat menghasilkan senyawa toksik (racun) untuk melawan mikroorganisme lainnya. Kolonisasi jamur dapat menghasilkan senyawa ekstraseluler yang bersifat racun, menghasilkan suatu antibiotik (Nurhayati, 2011).

Trichoderma merupakan salah satu agens hayati yang paling banyak diteliti untuk mengendalikan penyakit tanaman. Beberapa yang sudah di komersilkan yang dapat mengendalikan patogen cendawan tular tanah *Fusarium*, *Rhizoctonia* dan *Pythium* adalah *T. viride* dan *T. harzianum* (Alabouvette et al. 2006). Dalam mengendalikan cendawan patogen,

Trichoderma melakukan mekanisme seperti antibiosis, kompetisi, bersifat mikoparasit serta dapat memproduksi beberapa metabolit sekunder yang berfungsi dalam memacu pertahanan tanaman. Beberapa spesies *Trichoderma* juga bersifat antagonis yang dapat menyebabkan kematian dan menghancurkan hifa inangnya melalui sekresi antibiotik dengan sifat hiperparasit dan persaingan hara maupun ruang. *Trichoderma* menghasilkan enzim kitinase dan β -1,3 glukonase serta selulase yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen (Kurniasari, 2021).



Gambar 9.4: Mekanisme hiperparasitisme *Trichoderma* sp. pada patogen tanaman (Kurniasari, 2021).



Gambar 9.5: Mekanisme antagonis *T. harzianum* terhadap *F. oxysporum* (1) *T. harzianum*, (2) *F. oxysporum*, (3) Zona hambat (Muhibbudin et al., 2021).

Proses antibiosis terjadi apabila nutrisi tercukupi bagi jamur antagonis yang ditandai dengan adanya zona hambat berupa zona bening yang tidak bercampur antara jamur antagonis dan patogen tanaman. Zona bening tersebut terbentuk karena adanya senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan cendawan antagonis. Dengan adanya senyawa metabolit sekunder ini, cendawan patogen tidak dapat tumbuh mendekati cendawan antagonis. Pada awal penghambatan jamur *T. harzianum* menghasilkan enzim dan senyawa antibiosis yang mampu mematikan jamur patogen. Zona hambat pada hanya bersifat sementara, apabila waktu inkubasi lebih lama maka koloni *Trichoderma* mampu tumbuh melewati zona hambat tersebut (Muhibbudin et al., 2021). Bakteri Sebagai Agens Hayati Pengendali Penyakit Tanaman

Beberapa bakteri yang banyak dilaporkan berpotensi sebagai agens hayati adalah bakteri dari kelompok *Pseudomonas* dan *Bacillus*. (Dewi et al. (2020) menemukan enam spesies bakteri sebagai agens hayati yang memiliki potensi menekan patogen penting pada tanaman padi, yaitu *Ralstonia pickettii* TT47, *Chromobacterium* sp. T51118, *Pseudomonas fluorescens* P12, *Streptomyces* sp. T51105, *B. subtilis* EA2 154, *B. subtilis* EB4 451.

Untuk dapat menekan pertumbuhan dan perkembangan suatu jenis patogen, bakteri antagonis biasanya mengeluarkan zat antibiotik. Bakteri kelompok *Pseudomonas* merupakan bakteri yang dapat mengkolonisasi akar dengan agresif dan efektif. Bakteri ini mampu memproduksi hormon pertumbuhan tanaman yang berfungsi sebagai agens pengendali hayati melalui suatu mekanisme induksi ketahanan tanaman dan kompetisi. Selain itu *Pseudomonas* juga memiliki kemampuan sebagai PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*), yang dapat membantu pertumbuhan tanaman serta mampu menghasilkan Siderofor (Danya & Potty, 2007).

Kelompok *Bacillus* sebagai agens hayati terhadap patogen tumbuhan dapat melalui mekanisme antibiosis dengan menghasilkan senyawa penghambat (anti mikroba), diantaranya antibiotik, alakalid, peptide, siderofor, enzim dan senyawa fenol. *Bacillus* juga berperan sebagai PGPR untuk memacu

pertumbuhan tanaman dengan menghasilkan hormon Indole-3-Acetic Acid (IAA). *Bacillus* spp. diketahui dapat menghambat perkembangannya *F. solani* dengan menghasilkan senyawa antibiotik seperti zwittermicin, difficidin, bacilysin, fengycin dan bacillomycin. Untuk pengendalian nematoda, *Bacillus* menghasilkan senyawa volatil yang bersifat nematisidal. Senyawa yang dihasilkan seperti benzeneacetaldehyde, 2-nonanone, decanal, 2-undecanone dan dimethyl disulphide.

Tidak hanya sebagai anti mikroba, kelompok *Pseudomonas* dan *Bacillus* juga dapat digunakan sebagai agens pengendali nematoda. *P. fluorescens* mampu menurunkan populasi nematoda *Meloidogone incognita* melalui reaksi enzimatik diduga karena mampu mendegradasi gelatin yang merupakan selubung telur nematoda. Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan seperti phenazine, indole compound, phenylpyrrole dan peptin bersifat toksik terhadap nematoda (Aljillogba et al., 2013). Selain itu *P. fluorescens* juga berperan sebagai induser yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman, menghasilkan toksin dan mendegradasi eksudat akar yang berperan sebagai senyawa antraktan bagi nematoda, serta menghambat penetrasi nematoda (Lamovsek et al., 2013).

9.1.5 Pemanfaatan Mikroba Endofit Sebagai Pengendali Hama dan Penyakit Tanaman

Mikroba endofit adalah mikroorganisme menguntungkan yang hidup dan berkoloni dalam jaringan inang tanpa menimbulkan gangguan atau kerusakan pada tanaman inang tersebut. Mikroba endofit yang berperan sebagai agens hayati terdiri dari golongan bakteri, jamur dan aktinomisetes. Yulianti, 2013, melaporkan, sebagai agen hayati mikroba endofit dapat mengurangi kerusakan tanaman yang disebabkan oleh patogen maupun hama penyebab penyakit melalui beberapa mekanisme antara lain yaitu:

1. Secara langsung mikroba endofit menghambat pertumbuhan patogen dengan menghasilkan senyawa antibiotik dan enzim litik.
2. Secara tidak langsung mikroba endofit merangsang tanaman untuk membentuk metabolit sekunder seperti etilen, asam salisilat dan

asam jasmonat yang berfungsi meningkatkan ketahanan tanaman terhadap pathogen.

3. Mekanisme dengan kolonisasi jaringan tanaman sehingga patogen sulit untuk penetrasi.
4. Hiperparasit.

Mikroba endofit sebagai agens hayati memiliki beberapa kelebihan antara lain yaitu:

1. Mudah dikembangbiakkan secara in vitro.
2. Mudah diaplikasikan pada tanaman.
3. Dapat mengurangi kerusakan akar lebih awal.
4. Tidak menghasilkan racun bagi tanaman.
5. Dapat menghasilkan hormon yang merangsang pertumbuhan tanaman.
6. Tidak bersaing dengan mikroba lain yang memiliki kemampuan dalam memengaruhi tanaman dalam merespon serangan parasit.
7. Dapat memicu tanaman inang untuk memproduksi fitoaleksin untuk bertahan dalam kondisi stress.

Beberapa mikroba endofit yang dilaporkan untuk pengendalian pengendalian hama dan penyakit tanaman antara lain *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus* spp. yang dapat menekan nematoda *Meloidogyne incognita* pada tanaman lada (Wardhika et al., 2014), *Fusarium* E4, E5 yang menghasilkan metabolit sekunder dan bersifat hiperparasit dalam mengendalikan *Phytophthora palmivora* Butl. pada tanaman kakao (Harni & Khaerati, 2017), *Trichoderma* sp., *Rhizopus* sp., *Gliocladium* sp., *Penicilium* sp. yang bersifat parasitisme terhadap *Trichoderma* sp., *Rhizopus* sp., *Gliocladium* sp., *Penicilium* sp. pada tanaman padi (Sopialena et al., 2020).

9.2 Keuntungan Pengendalian dengan Agens Hayati

1. Dari segi ekonomi penggunaan agens hayati sangat memungkinkan untuk diterapkan oleh petani, karena mikroba antagonis mudah dikembangkan dengan media dari limbah pertanian, mudah di aplikasikan dan biaya yang lebih murah apabila lingkungan telah stabil atau telah terjadi keseimbangan antara agens hayati dengan hama atau penyakit (Syatrawati & Siti, 2017).
2. Dari segi efek samping, penggunaan agens hayati tidak menimbulkan efek negatif, aman bagi lingkungan, organisme bermanfaat dan manusia.
3. Dari segi pengaruh terhadap tanaman yaitu mampu melindungi tanaman atau mendukung pertumbuhan tanaman, sementara itu tanaman menyediakan nutrisi bagi agens pengendali hayati berupa eksudat akar (Sopialena, 2018).
4. Agens hayati dapat mencari musuhnya sendiri, misalnya parasitoid atau predator yang dilepaskan di lapangan dengan aktif akan mencari musuh nya menggunakan kemampuan alat peraba atau pencium.
5. Pengendalian menggunakan agens hayati biasanya bersifat memperbanyak diri, misalnya musuh alami yang dilepaskan di lapangan akan berkembangbiak sendiri tanpa adanya pelepasan yang berulang-ulang mengikuti fluktuasi populasi inangnya (Sembel, 2012).

9.3 Keterbatasan atau Kelemahan Pengendalian dengan Agens Hayati

1. Efektivitas pengendalian dengan agens hayati memerlukan waktu yang lama untuk menekan pertumbuhan patogen dan populasi hama.
2. Daya simpan produk lebih singkat dibandingkan dengan pestisida kimia.
3. Pengendalian dengan agens hayati tidak mungkin dilakukan untuk mengeradikasi hama sasarannya karena kelangsungan hidup agens hayati bergantung pada ketersediaan hama sasarannya sebagai bahan makanan.
4. Pengendalian dengan agens hayati memerlukan waktu yang lama, terutama parasitoid yang membunuh hama secara perlahan-lahan.
5. Pembiakan massal di laboratorium kadang-kadang mengalami kendala karena agens hayati menghendaki kondisi lingkungan khusus dan teknik aplikasi dilapangan yang belum banyak diakui (Sopialena, 2018).

Bab 10

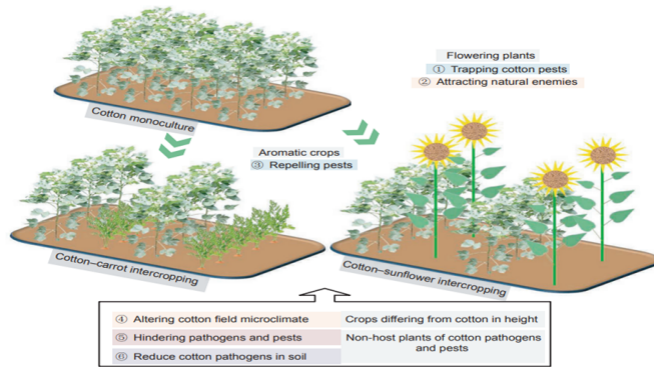
Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman dengan Pemanfaatan Musuh Alami

10.1 Pendahuluan

Hama dan penyakit merupakan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang selalu menjadi masalah penting dan selalu ada pada budidaya tanaman pertanian. Hama dan penyakit dapat menurunkan produktivitas dan kualitas dari produk pertanian, gejala serangan dapat nampak baik dari benih sampai dengan pasca panen. Hal tersebut menjadikan hama dan penyakit penting untuk dikendalikan, agar hama dan penyakit yang berkembang di lahan budidaya tidak memicu kegagalan panen atau puso. Saat ini banyak usaha yang telah dilakukan untuk pengelolaan hama dan penyakit yang menyerang tanaman.

Pengendalian hama dan penyakit dapat dilakukan dengan berbagai macam strategi, mulai dari pengendalian dengan cara kultur teknis dengan cara pengaturan sistem budidaya tanaman seperti penggunaan tanaman penutup (Gambar 10.1), yang dapat mengeluarkan senyawa atraktan yang dapat menarik musuh alami untuk datang, serta menghasilkan senyawa repellen untuk menolak kehadiran hama. Pengendalian lainnya dapat menggunakan varietas tahan, pengendalian fisik dan mekanik, pengendalian menggunakan pestisida, dan pengendalian secara alami. Saat ini banyak petani yang lebih tertarik dengan penggunaan pengendalian menggunakan pestisida sintetik, karena cara kerjanya yang langsung mengendalikan hama di lapangan, namun penggunaan pestisida sintetik secara terus menerus akan mengakibatkan gangguan pada lingkungan sehingga tidak dapat digunakan sebagai pengendalian dalam jangka waktu panjang. Penggunaan musuh alami dengan perpaduan pengendalian lainnya selain penggunaan pengendalian pestisida sintetik dapat dijadikan pilihan alternatif.

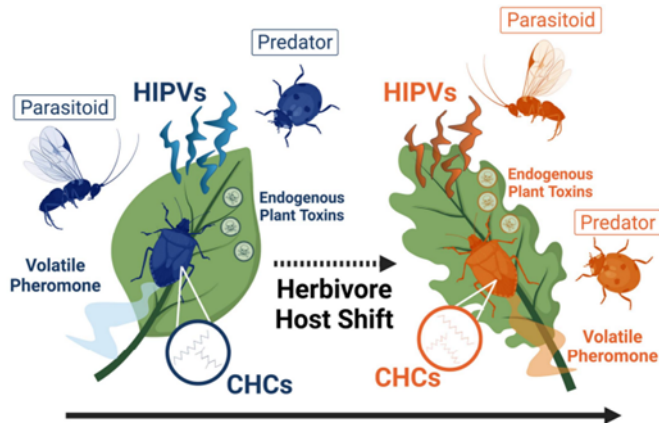
Musuh alami adalah organisme yang tersebar secara alami di lapangan, yang keberadaannya dapat menjadi pengendali untuk pengelolaan hama penyakit yang ada di lapangan pertanian. Saat ini terdapat banyak contoh dari artropoda yang dapat berasal dari serangga dan laba-laba yang dapat berperan sebagai predator, serangga polinator yang juga dapat berperan sebagai parasitoid, jamur dan bakteri entomopatogen yang terdapat di dalam tanah, terbawa udara dan lainnya, untuk pengendalian hama di lapangan. Sedangkan untuk pengendalian penyakit secara alami telah banyak ditemukan jamur antagonis, bakteri antagonis, dan mikroorganisme lainnya yang berperan antagonis bagi pertumbuhan penyakit di lapangan. Pengendalian menggunakan organisme alami ini memberikan sangat banyak keuntungan bagi petani dan konsumen yang mengkonsumsi produk pertanian. Pengendalian menggunakan musuh alami ini cenderung menghasilkan produk pertanian yang lebih sehat, serta minim meninggalkan residu bahan kimia.



Gambar 10.1: Ilustrasi pengelolaan hama dan penyakit menggunakan tanaman penutup (Bao-jie, Dong-mei and He-zhong, 2021)

10.2 Pengendalian Hama Menggunakan Musuh Alami

Hama adalah organisme yang pasti akan hadir pada tanaman budidaya, di mana umumnya berasal dari serangga baik itu pada fase larva, nimfa ataupun imago. Umumnya pengendalian hama dilaksanakan dengan menggunakan pestisida yang bersifat kimia seperti insektisida. Namun penggunaan musuh alami sebagai pengendalian hama juga dapat dilakukan, karena penggunaan musuh alami akan menekan keberadaan hama dan minim meninggalkan residu pada lingkungan pertanian yang diaplikasi. Penggunaan musuh alami yang banyak digunakan saat ini seperti penggunaan predator, parasitoid, jamur entomopatogen, bakteri entomopatogen, nematoda entomopatogen, dan virus entomopatogen.

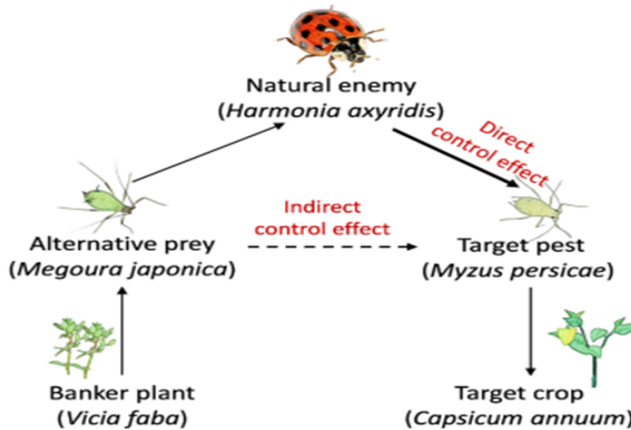


Gambar 10.2: Hubungan antara musuh alami seperti predator dan parasitoid dengan serangga hama yang berevolusi dari waktu ke waktu (Thompson et al., 2022)

10.2.1 Predator

Predator merupakan musuh alami yang sebarannya cukup banyak pada wilayah pertanian, dan sangat potensial digunakan sebagai pengendalian hama yang ada di lapangan. Umumnya predator akan memangsa serangga hama yang ukurannya lebih kecil dibandingkan ukuran tubuh predator tersebut. Macam-macam jenis predator yang umumnya ditemui di lahan pertanian seperti kumbang koksi, belalang sembah, dan lainnya. Pada kumbang koksi dapat merupakan kumbang yang berasal dari ordo Coleoptera, kumbang koksi dapat berperan sebagai predator mulai dari fase larva dan imago dengan cara memangsa langsung inangnya seperti kutu daun, kumbang koksi dewasa juga memangsa kutu daun dan serangga kecil lainnya. kumbang koksi predator memiliki corak tubuh yang mengkilap dibandingkan dengan kumbang koksi hama. Umumnya larva dari kumbang koksi memiliki daya predasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan imagonya. Kemampuannya memangsa kutu daun menjadikan kumbang koksi sebagai predator yang cukup banyak digunakan dalam pengaplikasian pengendalian hama secara alami. Contoh lainnya seperti predator dari *Harmonia axyridis* yang dapat menjadi predator utama bagi

Myzus persicae namun dapat memilih *Megoura japonica* sebagai alternatif serangga yang menjadi mangsanya (Gambar 10.3).



Gambar 10.3: *Harmonia axyridis* predator kutu daun *Myzus persicae* dan alternatif mangsa *Megoura japonica* (Wang et al., 2022)

Predator lainnya yang dapat ditemukan sebagai musuh alami dari serangga hama yaitu kepik predator. Berbeda dengan predator dari ordo Coleoptera yang memiliki tipe alat mulut mandibulata, predator dari ordo Hemiptera memiliki tipe alat mulut houstelata, kepik predator akan memangsa serangga hama pada tahap larva maupun imago dengan cara menghisap cairan mangsanya. Kepik predator memiliki ciri tubuh yang relatif lebih besar dibandingkan dengan kepik hama, bagian punggung yang berbentuk runcing dan memiliki gerakan yang cukup cepat atau gesit dibandingkan dibandingkan dengan kepik hama. Beberapa contoh dari kepik predator seperti dari famili Reduviidae, Anthocoridae. Contoh lainnya seperti *Orius sauteri* yang dapat menjadi predator pada *Spodoptera frugiperda*. *Orius laevi* yang menjadi predator dari *Frankliniella occidentalis*.

Dari ordo Odonata terdapat capung yang memiliki peranan sebagai predator, capung dapat menjadi predator pada fase imagonya. Imago capung dapat memangsa serangga hama seperti nyamuk dan lalat. Selain berperan sebagai predator capung juga memiliki sifat kanibal atau sebagai

pemangsa sesamanya seperti *Orthetrum sabina* (Gambar 10.4). Capung juga dapat berperan sebagai indikator lingkungan atau perairan bersih. Beberapa contoh dari capung yang berperan sebagai predator yaitu, *Diplacodes trivialis*, *O. sabina*, dan masih banyak lagi.



Gambar 10.4: Predator *Orthetrum sabina* (Soendjoto, 2016)

Predator lainnya dapat berasal dari kelas artropoda lainnya seperti laba-laba, laba-laba berperan sebagai predator dari berbagai jenis serangga hama seperti kutu daun. Laba-laba dapat menghasilkan lebih dari 1000 telur dalam satu musim. Salah satu contoh laba-laba yang dapat dijumpai dari famili Salticidae. Laba-laba dapat menjadi predator dari banyak jenis serangga hama seperti kutu daun, dan lainnya. Selain dari artropoda terdapat juga predator dari jenis burung, seperti burung hantu (*Tito alba*) yang biasa dimanfaatkan sebagai predator dari tikus pada ladang pertanian. Secara alami terdapat banyak predator yang dapat memangsa hama yang ada di perkebunan terutama perkebunan kelapa sawit.

Pada jenis komoditi perkebunan yang berbeda biasanya akan mengundang keberadaan predator yang berbeda pula. Seperti predator kumbang koki yang biasanya akan mudah dijumpai pada perkebunan cabai, karena memangsa kutu daun yang menyerang pada tanaman cabai. Saat ini banyak penelitian yang menekankan penggunaan musuh alami untuk pengelolaan hama di lapangan. Adapun hasil pengamatan predator yang dilakukan oleh Khursheed et al., (2021) pada Tabel 10.1 ditemukan berbagai predator yang ditemukan pada budidaya perkebunan apel.

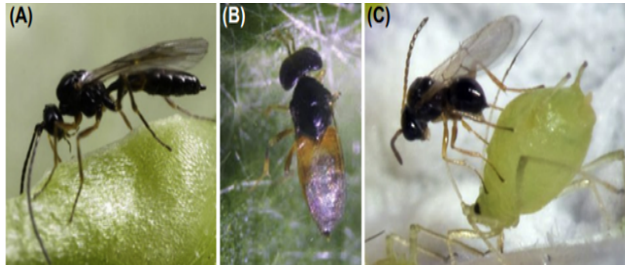
Tabel 10.1: Musuh alami yang banyak ditemui pada ekosistem tanaman apel (Khursheed et al., 2021)

Ordo	Famili	Nama Latin	Inang
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus)	Predator
		<i>Adalia tetraspilota</i> (Hope)	Predator
		<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze)	Predator
		<i>Coccinella undecimpunctata</i> (Linnaeus)	Predator
		<i>Chilocorus infernalis</i> (Mulsant)	Mostly feed on San jose scale
		<i>Coccinella transversalis</i> (Fabricius)	Predator
		<i>Oenopia conglobata</i> (Linnaeus)	Predator
		<i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius)	Predator
		<i>Harmonia dimidiata</i> (Fabricius)	Predator
		<i>Propylea luteopustulata</i> (Mulsant)	Woolly apple aphid
		<i>Stethorus aptus</i> (Kapur)	European red mite
Hymenoptera	Aphelinidae	<i>Aphelinus mali</i>	Endoparasitoid

		<i>(Haldeman)</i>	<i>of woolly apple aphid</i>
		Encarsia perniciosi (Tower)	San jose scale
		<i>Aphytis proclia (De Bach)</i>	<i>San jose scale</i>
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla zastrowi</i> <i>(Stephens)</i>	Predator
Diptera	Syrphidae	<i>Syrphus sp.</i>	Aphid
		<i>Eristalis sp.</i>	Aphid
Acari	Phytoseiidae	<i>Neoscona muketjei</i> <i>(Tikader)</i>	Predator
Araneae	Araneidae	<i>Neoscona sp.</i>	Predator
	Theridiidae	<i>Theridula sp.</i>	Predator

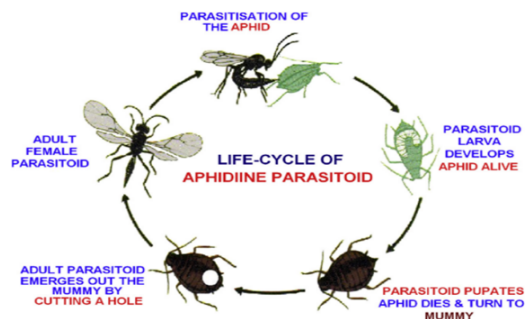
10.2.2 Parasitoid

Parasitoid merupakan bagian dari pengendalian secara alami yang dapat dilakukan oleh serangga, beberapa serangga yang dapat berperan sebagai parasitoid berasal dari ordo Hymenoptera, Diptera dan lainnya. Parasitoid dapat menyerang pada serangga hama dikenal sebagai parasitoid telur, parasitoid larva, parasitoid pupa, sampai parasitoid imago. Parasitoid akan menghabiskan sebagian kehidupannya di tubuh inangnya. Terdapat parasitoid yang memarasit dari luar bagian tubuh serangga inangnya, ada juga yang dapat menyerang dari bagian dalam tubuh inangnya. Selain parasitoid terdapat juga hiperparasitoid yang dapat memarasit inang serangga hama yang telah terparasiti (Gambar 10.5).



Gambar 10.5: Parasitoid dari Braconidae (A), Parasitoid dari Aphelinidae (B), dan Hiperparasitoid kutu daun (C) (Singh and Singh, 2016)

Saat ini telah banyak perkebunan yang menggunakan parasitoid sebagai bagian dari pengendalian hama di lapangan. Seperti penggunaan parasitoid telur dari spesies *Trichogramma* sp. yang telah dikenal lama sebagai parasitoid telur dari berbagai jenis telur dari ngengat hama yang biasanya ditemukan pada perkebunan tebu. Terdapat juga laporan tentang *Trichogramma ostrinae* yang memarasit penggerek batang *Ostrinia furnacalis*. Parasitoid ini telah banyak dibudidayakan pada laboratorium dan siap dilepas saat musim tanam telah dimulai. contoh dari siklus hidup parasitoid pada inangnya dapat dilihat pada Gambar 10.6. Penerapan pengendalian menggunakan parasitoid juga mulai dikombinasikan dengan kemajuan teknologi saat ini seperti menggunakan unmanned aerial vehicle (UAV) yang dapat melaporkan hasil dari pengamatan dilapangan tentang keberadaan dari *Trichogramma* (Zhan, Chen and Wang, 2021).



Gambar 10.6: Siklus hidup dari parasitoid Aphidiine (Singh and Singh, 2016)

10.2.3 Jamur Entomopatogen

Jamur entomopatogen merupakan jamur yang keberadaannya sangat melimpah secara alami dapat ditemukan mengendalikan serangga hama di lapangan. Jamur entomopatogen juga dapat ditemukan dengan cara melakukan eksplorasi di sekitar lahan pertanian. Umumnya jamur entomopatogen ini akan menyebabkan kematian pada serangga hama, menjadikan serangga hama yang terserang menjadi kering dengan tubuh yang dilingkupi hifa dari jamur entomopatogen. Salah satu contoh jamur entomopatogen yang banyak ditemukan seperti dari *Beauveria bassiana*, *Cordycep* sp., *Metharizium* sp. dan lainnya. Selain dapat ditemukan secara alami, saat ini telah banyak dilakukan perbanyakan jamur entomopatogen tersebut di laboratorium. Pengaplikasiannya dapat berupa menjadikan jamur entomopatogen ini sebagai insektisida berbahan aktif jamur entomopatogen tersebut. Umumnya jamur entomopatogen merupakan jamur yang selektif ditemukan menyerang hanya pada serangga hama baik larva, pupa maupun imago. Hal tersebut menjadikan jamur entomopatogen ini sebagai pengendali yang selektif menyerang pada target sasaran dengan hanya memilih serangga hama sebagai inangnya.

10.2.4 Bakteri Entomopatogen

Bakteri entomopatogen juga dapat dijumpai menyerang pada berbagai tahapan hidup dari serangga hama, namun laporan paling banyak adalah sebagai pengendali serangga hama pada fase larva. Serangga hama yang terserang bakteri entomopatogen akan menunjukkan gejala berupa perlambatan gerak, nafsu makan yang berkurang, bagian tubuh yang perlahan akan melunak atau melembek, warna yang akan berubah menjadi coklat-kehitaman dan lama kelamaan akan mati. Hal tersebut terjadi akibat aktivitas bakteri entomopatogen yang berhasil menyerang serangga hama tersebut. Hampir sama halnya dengan jamur entomopatogen, bakteri entomopatogen juga dapat memilih target inangnya secara selektif yaitu hanya pada serangga hama. salah satu contoh bakteri entomopatogen adalah *Bacillus thuringiensis* yang memiliki banyak jenis toksin atau racun yang biasa disebut sebagai Cry Toksin yang mampu memengaruhi serangga

hama. Bt ditemukan dapat mengendalikan larva serangga hama dari spesies *Oryctes* sp. yang merupakan hama utama pada tanaman kelapa sawit. Terdapat juga larva dari ordo *Lepidoptera* yang dapat dikendalikan oleh bakteri entomopatogen ini.

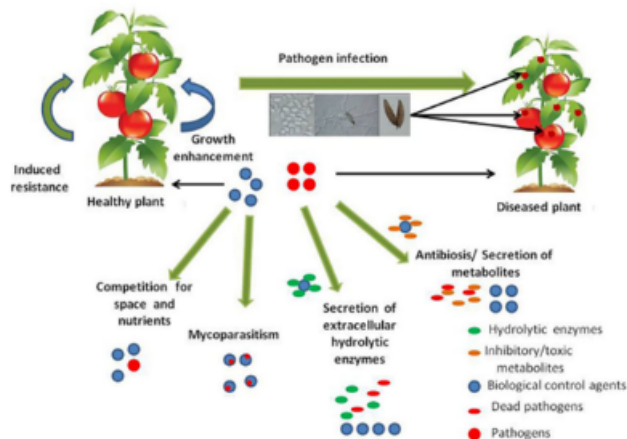
10.3 Pengendalian Penyakit Secara Alami

Penyakit tanaman merupakan salah satu kerugian yang akan mengakibatkan kerugian yang akan sangat berdampak bagi produktivitas tanaman. Terdapat banyak pengendalian yang telah digunakan seperti pengendalian secara kultur teknis, pengendalian fisik dan mekanik, pengendalian dengan varietas tahan, serta pengendalian secara alami. Dalam pengendalian penyakit tumbuhan secara alami dapat terjadi secara kompetisi nutrisi, parasit, antibiosis dan banyak lainnya. Secara alami penyakit tanaman memiliki kemungkinan untuk diserang oleh jamur, bakteri, nematoda ataupun virus yang bersifat sebagai antagonis, hal tersebut akan sangat menguntungkan bagi tanaman. Berikut beberapa pengendalian penyakit tanaman yang dapat terjadi secara alami.

10.3.1 Jamur Antagonis

Jamur antagonis adalah jenis jamur yang banyak ditemukan dapat menyerap nutrisi dari jamur patogen sehingga jamur patogen kehilangan kemampuan untuk berkembang. Terdapat juga jamur antagonis yang dapat menekan pertumbuhan dari jamur penyakit dengan cara melilitkan bagian tubuhnya pada jamur patogen untuk membatasi pertumbuhan jamur patogen. Salah satu contoh dari jamur antagonis yang banyak ditemukan secara alami di lapangan seperti jamur *Trichoderma* sp. jamur antagonis ini memiliki ciri berwarna hijau tentara (army), yang dapat dengan mudah dijumpai di lapangan. Jamur *Trichoderma* sp. ini juga telah banyak dibudidayakan sebagai jamur antagonis, yang dapat diformulasikan baik

dalam bentuk serbuk, padat, sampai cairan. Produknya juga telah dijual dipasaran untuk memudahkan petani dalam penggunaannya di lapangan sebagai pengendali dari banyak jenis jamur penyakit yang dapat menyerang tanaman budidaya saat ini. Mekanisme kerja dari jamur antagonis dapat dilihat pada Gambar 10. 7.



Gambar 10.7: Mekanisme jamur antagonis untuk mengendalikan penyakit jamur pada tanaman (Thambugala et al., 2020)

10.3.2 Bakteri Antagonis

Sama halnya dengan jamur antagonis yang dapat ditemukan secara alami di alam, bakteri antagonis juga banyak ditemukan sebagai pengendali dari berbagai macam patogen penyebab penyakit pada tanaman. Bakteri antagonis umumnya akan banyak ditemui di perakaran tanaman atau biasa dikenal sebagai rhizobacteria yang dapat membuat tanaman resisten dari serangan penyakit. Beberapa contoh dari bakteri antagonis yang telah ditemukan seperti dari *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter calcoaceticus*, *Azotobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Mesorhizobium* spp., dan lainnya. Bakteri antagonis akan memproduksi senyawa yang dibutuhkan tanaman untuk menjadi lebih kebal dan tahan terhadap serangan penyakit, memfiksasi nitrogen dalam tanah, mendegradasi

komponen organik untuk mempercepat pertumbuhan tanaman dan perkembangan tanaman, menjaga kesehatan tanah dari penyakit tanaman (Jaiswal et al., 2022).

10.3.3 Nematoda

Nematoda entomopatogen juga telah banyak digunakan sebagai pengendali dari penyakit tanaman. Sama halnya dengan nematoda parasitik, nematoda entomopatogen juga dapat dijumpai di dalam tanah dan disekitar bagian perakaran tanaman. Salah satu contoh dari nematoda entomopatogen yaitu *Steinernema* yang telah banyak ditemukan dapat menjadi musuh alami dari nematoda parasitik seperti *Meloidogyne*. Secara alami nematoda entomopatogen dapat dijumpai sebagai pengendali penyakit tanaman yang dapat menjadi salah satu pilihan pengendalian. Saat ini telah banyak digunakan pengendalian menggunakan nematoda entomopatogen tersebut.

Bab 11

Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

11.1 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengelolaan Terpadu Hama Penyakit Tanaman

11.1.1 Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor penting dalam kehidupan manusia, yang berperan dalam penyediaan pangan, bahan baku industri, dan mata pencaharian bagi sebagian besar penduduk dunia. Namun, seiring dengan meningkatnya intensifikasi pertanian dan perubahan iklim, berbagai masalah terkait dengan hama dan penyakit tanaman semakin mengancam

ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian. Keberadaan hama dan penyakit dengan tumbuhan di alam saling berinteraksi dan berevolusi, sehingga hal ini menyebabkan adanya interaksi yang kuat antara keduanya sepanjang waktu (J. Warren, C. Lawson and K. Belcher 2008). Serangan hama dan penyakit dapat menyebabkan penurunan hasil panen yang signifikan, merusak kualitas tanaman, dan meningkatkan biaya produksi pertanian.

Pada awalnya, pengendalian hama dan penyakit tanaman sering kali bergantung pada penggunaan pestisida kimia. Meskipun pestisida dapat memberikan hasil yang cepat dalam mengendalikan hama, penggunaan yang berlebihan dan tidak bijaksana dapat menyebabkan sejumlah masalah serius. Beberapa dampak negatif penggunaan pestisida kimia antara lain adalah munculnya resistensi pada hama, pencemaran lingkungan, kerusakan terhadap organisme non-target seperti serangga pollinator dan predator alami, serta dampak buruk terhadap kesehatan manusia dan hewan. Oleh karena itu, pendekatan pengendalian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi semakin penting.

Pengelolaan ekosistem merupakan pendekatan yang menekankan pada integrasi berbagai aspek ekologi dalam pertanian untuk menciptakan keseimbangan alami yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia. Konsep pengelolaan ekosistem dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman bertujuan untuk memanfaatkan prinsip-prinsip ekologi untuk menjaga kestabilan sistem pertanian, dengan memperhatikan keragaman hayati, interaksi antara komponen biotik dan abiotik, serta pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Keanekaragaman hayati yang tinggi dalam suatu ekosistem pertanian dapat memainkan peran penting dalam mengendalikan populasi hama dan penyakit secara alami. Dengan meningkatkan keberadaan predator alami, parasitoid, dan mikroorganisme yang menguntungkan, ekosistem pertanian dapat lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit, terlebih didukung dengan pola tanam polikultur (Altieri, M. A., and Clara Ines Nicholls, 2004). Selain itu, pengelolaan habitat yang tepat, seperti rotasi tanaman,

penggunaan tanaman penutup tanah, dan pemeliharaan struktur tanah yang baik, dapat mengurangi penyebaran patogen dan hama. Pendekatan pengelolaan ekosistem ini lebih holistik, dengan memandang ekosistem pertanian sebagai suatu kesatuan yang saling berinteraksi, dan bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara kebutuhan produksi pertanian dan konservasi lingkungan. Penerapan pengelolaan ekosistem dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman tidak hanya mendukung keberlanjutan pertanian, tetapi juga berkontribusi pada perlindungan keanekaragaman hayati, pemeliharaan kualitas tanah dan air, serta kesejahteraan petani dan konsumen. Ekosistem suatu kondisi yang di dalamnya saling berhubungan, sama seperti spesies di dalamnya yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem yang sangat kompleks (Schowalter T. D., 2006).

11.1.2 Pengertian Ekosistem

Ekosistem adalah suatu sistem yang terdiri dari interaksi antara komponen-komponen biotik (makhluk hidup) dan komponen-komponen abiotik (lingkungan fisik) yang saling memengaruhi dan membentuk suatu kesatuan fungsional. Dalam ekosistem, berbagai komponen biotik (seperti tumbuhan, hewan, mikroorganisme) berinteraksi satu sama lain serta dengan komponen abiotik (seperti air, udara, tanah, suhu, cahaya matahari) untuk menciptakan keseimbangan dan kelangsungan hidup (Schowalter T. D., 2006). Ekosistem dapat ditemukan di berbagai skala, mulai dari ekosistem mikro seperti kolam kecil atau lubang tanah, hingga ekosistem makro seperti hutan hujan tropis atau samudra. Semua bagian dalam ekosistem memiliki peran dan fungsi tertentu yang penting untuk mendukung keberlanjutan hidup di dalamnya.

11.2 Komponen Ekosistem

Komponen ekosistem adalah bagian-bagian atau unsur-unsur yang saling berinteraksi dalam suatu ekosistem, baik yang bersifat biotik (hidup) maupun abiotik (non-hidup). Komponen-komponen ini bekerja sama untuk menciptakan keseimbangan yang mendukung kelangsungan hidup semua makhluk yang ada di dalamnya.

11.2.1 Komponen Biotik

Komponen ini terdiri dari semua makhluk hidup yang ada dalam ekosistem, seperti tumbuhan, hewan, jamur, bakteri, dan mikroorganisme lainnya. Makhluk hidup ini dapat digolongkan berdasarkan peran ekologis:

1. Produsen (Tumbuhan Hijau) adalah organisme yang menghasilkan bahan organik dari bahan anorganik melalui proses fotosintesis. Tumbuhan ini berfungsi sebagai produsen karena tumbuhan dapat menghasilkan makanan sendiri melalui proses fotosintesis. Tumbuhan menggunakan energi matahari, air, dan karbon dioksida untuk menghasilkan oksigen dan glukosa (makanan).
2. Konsumen adalah organisme yang memakan produsen atau konsumen lainnya untuk mendapatkan energi. Misalnya herbivora adalah konsumen primer (pemakan tumbuhan), predator/pemangsa dan parasitoid adalah konsumen sekunder yang memakan konsumen primer. Untuk pengenalan habitat mangsa dan inang oleh musuh alami sangat penting untuk memudahkan predator dan parasitoid menemukan mangsa dan inang (Jervis Mark A. , 2005) .
3. Dekomposer (Pengurai) adalah mikroorganisme seperti jamur, bakteri yang berperan sebagai pengurai yang akan menguraikan bahan organik dari organisme yang mati menjadi senyawa yang lebih sederhana, yang dapat digunakan kembali oleh produsen.

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur ini yang memecah bahan organik dari makhluk mati menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dekomposer/Pengurai ini memainkan peran penting dalam daur ulang unsur-unsur dalam ekosistem.

4. Mikroorganisme Antagonis untuk Penyakit Tanaman – Mikroba yang menekan patogen tanaman dengan berbagai mekanisme seperti kompetisi, antibiosis, dan induksi ketahanan tanaman. Contohnya:

11.2.2 Komponen Abiotik

Komponen abiotik dalam ekosistem adalah unsur-unsur yang tidak hidup tetapi sangat penting untuk mendukung kehidupan organisme biotik (makhluk hidup) dalam suatu ekosistem. Komponen abiotik mencakup semua faktor fisik dan kimia yang memengaruhi kelangsungan hidup, distribusi, dan interaksi organisme dalam ekosistem. Tanpa komponen abiotik, kehidupan biotik tidak akan dapat bertahan atau berkembang dengan baik. Berikut adalah penjelasan lengkap tentang komponen abiotik dalam ekosistem.

Komponen ini mencakup faktor-faktor fisik dan kimia yang memengaruhi kehidupan di dalam ekosistem:

1. Tanah adalah tempat tumbuhnya tanaman dan sumber daya bagi organisme lainnya. Komponen tanah yang berperan dalam ekosistem antara lain:
 - a. Mineral dan unsur kimia: Tanah mengandung mineral dan unsur-unsur penting seperti nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, dan magnesium yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk tumbuh dan berkembang.
 - b. Struktur tanah: Struktur tanah (misalnya, tekstur, kepadatan, porositas) memengaruhi kemampuan tanah untuk menahan air dan menyediakan oksigen untuk akar tanaman.

- c. pH tanah: Keasaman atau kebasaan tanah juga memengaruhi jenis tanaman yang dapat tumbuh, serta ketersediaan nutrisi.
 - d. Mikroorganisme tanah: Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur juga hidup di dalam tanah dan berperan dalam proses dekomposisi dan siklus nutrisi.
2. Air adalah yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup untuk berbagai proses kehidupan. Air memiliki berbagai fungsi dalam ekosistem:
- a. Medium untuk reaksi biokimia: Semua proses metabolisme dalam tubuh makhluk hidup, seperti fotosintesis pada tumbuhan dan respirasi pada hewan, terjadi dalam medium air.
 - b. Transportasi nutrisi: Dalam tubuh organisme, air digunakan untuk mengangkut nutrisi dan oksigen ke seluruh bagian tubuh.
 - c. Habitat bagi organisme akuatik: Ekosistem perairan, seperti sungai, laut, dan danau, sangat bergantung pada ketersediaan air untuk mendukung kehidupan berbagai spesies.
 - d. Siklus air: Air juga terlibat dalam siklus air (proses penguapan, kondensasi, presipitasi), yang mengatur distribusi air di permukaan bumi.
3. Suhu adalah faktor abiotik yang sangat penting yang memengaruhi laju reaksi metabolisme organisme dan distribusi spesies. Setiap organisme memiliki rentang suhu tertentu yang mendukung kehidupan mereka. Beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait suhu adalah:
- a. Rentang suhu optimal: Setiap spesies memiliki rentang suhu di mana mereka dapat bertahan hidup dengan baik. Misalnya,

suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mengganggu proses metabolisme.

- b. Pengaruh terhadap distribusi organisme: Suhu yang sangat dingin atau sangat panas membatasi jenis organisme yang dapat hidup di suatu wilayah. Organisme yang hidup di daerah tropis berbeda dengan yang hidup di daerah kutub.
 - c. Pengaruh terhadap siklus hidup: Suhu juga memengaruhi waktu berkembang biak dan pola hidup beberapa spesies, seperti tumbuhan yang berbunga atau hewan yang berkembang biak pada musim tertentu.
4. Kelembaban adalah jumlah uap air yang terkandung dalam udara. Kelembaban memengaruhi laju transpirasi pada tumbuhan (penguapan air dari tumbuhan), serta proses respirasi pada organisme. Di daerah yang sangat kering, kelembaban rendah memengaruhi kelangsungan hidup tumbuhan dan hewan yang memerlukan kelembaban tinggi.
 5. Cahaya Matahari merupakan sumber energi yang utama bagi tumbuhan untuk dapat melakukan fotosintesis. Cahaya matahari adalah sumber energi utama bagi kehidupan di bumi. Cahaya matahari mendukung proses fotosintesis pada tumbuhan dan organisme autotrof lainnya, yang menghasilkan oksigen dan makanan yang diperlukan oleh organisme heterotrof (seperti hewan). Beberapa peran cahaya matahari dalam ekosistem adalah:
 - a. Fotosintesis: Tumbuhan menggunakan Cahaya matahari sebagai energi untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi glukosa (makanan) dan oksigen.
 - b. Pemanasan atmosfer dan permukaan bumi: Cahaya matahari juga memengaruhi suhu bumi dan memengaruhi iklim global serta suhu lokal di ekosistem tertentu.

- c. Pengaruh terhadap siklus harian: Perubahan intensitas cahaya matahari sepanjang hari (siang dan malam) memengaruhi perilaku organisme, seperti pola migrasi dan sebaran, waktu tidur, dan aktivitas mencari mangsa.
- 6. Udara adalah sebagai penyedia oksigen dan karbon dioksida yang dibutuhkan oleh semua organisme. Udara adalah campuran gas yang menyelimuti bumi dan memainkan peran penting dalam ekosistem. Beberapa gas yang terkandung dalam udara, seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), berperan dalam proses-proses penting dalam ekosistem:
 - a. Oksigen (O_2): Oksigen diperlukan oleh hampir semua organisme untuk bernapas (respirasi). Hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme memerlukan oksigen untuk proses metabolisme mereka.
 - b. Karbon dioksida (CO_2): Karbon dioksida digunakan oleh tumbuhan dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan makanan. Karbon dioksida juga berperan dalam proses respirasi pada organisme hidup.
 - c. Gas-gas lain: Selain oksigen dan karbon dioksida, udara juga mengandung nitrogen (N_2) yang tidak dapat digunakan langsung oleh sebagian besar organisme, tetapi sangat penting dalam siklus nitrogen.

Di dalam ekosistem itu terjadi suatu aliran energi yang mengalir melalui rantai makanan. Hal ini dapat dilihat dari energi matahari diserap oleh tumbuhan (produsen) melalui fotosintesis; kemudian berpindah ke konsumen (hewan) dan akhirnya ke pengurai setelah organisme tersebut mengalami kematian (E.A. Bernays and R.E Chapman, 1994). Selain itu juga terjadi peredaran materi yaitu bahan-bahan seperti karbon, nitrogen, dan air berputar dalam ekosistem melalui proses-proses seperti sirkulasi karbon, nitrogen, dan transpirasi pada tanaman.

11.2.3 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

Pengelolaan ekosistem dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman merujuk pada pendekatan yang mengutamakan keseimbangan ekosistem dan pemanfaatan prinsip-prinsip alami untuk mengurangi atau mengendalikan serangan hama dan penyakit pada tanaman. Tujuan utama dari pengelolaan ini adalah untuk menciptakan lingkungan yang mendukung keberlanjutan pertanian yang ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia, serta menjaga kelestarian keanekaragaman hayati.

Pengelolaan ekosistem berfokus pada pengendalian hama dan penyakit dengan cara yang lebih holistik dan berkelanjutan, yang melibatkan beberapa pendekatan sebagai berikut:

1. Pengelolaan Tanaman Secara Terpadu (Integrated Pest Management/IPM)

IPM adalah pendekatan pengelolaan hama yang menggabungkan berbagai metode pengendalian hama secara terpadu dan rasional, berdasarkan pemahaman terhadap ekosistem. Pendekatan ini mengutamakan pengendalian yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan pengendalian alami dan hanya menggunakan bahan kimia jika diperlukan.

Beberapa prinsip IPM dalam pengelolaan ekosistem adalah:

- a. Pemantauan dan identifikasi hama dan penyakit: Melakukan pemantauan secara teratur untuk mengetahui jenis hama dan penyakit yang menyerang tanaman. Identifikasi yang akurat membantu dalam memilih tindakan pengendalian yang tepat. Sekarang dengan kemajuan Ilmu dan Teknologi, maka pemantauan hama dan penyakit sudah bisa dilakukan sedini mungkin dengan menggunakan program yang bisa di instal pada handphone. Hal ini sudah di lakukan dengan

menerapkannya pada hama dan penyakit tanaman jagung (Lihawa, M., dkk., 2024).

- b. Pencegahan: Menggunakan tanaman yang tahan terhadap hama dan penyakit, serta memilih bibit berkualitas. Penyuluhan dan edukasi kepada petani mengenai praktik pertanian yang baik juga penting untuk mencegah perkembangan hama dan penyakit.
 - c. Pengendalian biologis: Penggunaan musuh alami hama (seperti predator dan parasitoid) untuk mengendalikan populasi hama. Contohnya adalah pemanfaatan serangga pemangsa, seperti ladybird beetles untuk mengendalikan kutu daun, .
 - d. Pengendalian mekanis dan fisik: Penggunaan jebakan, perangkap, atau pembatas fisik seperti jaring atau pelindung tanaman untuk mencegah hama dan penyakit.
 - e. Pengendalian kimia secara selektif: Ketika pengendalian alami dan mekanis tidak cukup efektif, pestisida yang lebih ramah lingkungan dan selektif dapat digunakan sebagai langkah terakhir.
2. Diversifikasi Tanaman dan Pola Tanam
- Diversifikasi tanaman adalah praktik menanam berbagai jenis tanaman dalam satu area untuk menciptakan keberagaman yang bisa mencegah penyebaran hama dan penyakit. Ini dapat dilakukan dengan cara berikut:
- a. Rotasi tanaman: Mengganti jenis tanaman yang ditanam pada musim berikutnya untuk mencegah hama dan penyakit yang spesifik pada tanaman tertentu berkembang biak di area tersebut. Misalnya, menanam tanaman legum setelah tanaman yang rentan terhadap hama serangga.

- b. Polikultur: Menanam berbagai jenis tanaman dalam satu area yang mengurangi konsentrasi satu jenis tanaman yang rentan terhadap serangan hama atau penyakit. Keanekaragaman tanaman dapat menarik predator alami hama dan mengurangi peluang bagi hama untuk berkembang biak.

3. Pengelolaan Tanah yang Sehat

Tanah yang sehat dan subur merupakan dasar penting bagi pertumbuhan tanaman yang kuat, yang lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Beberapa cara untuk mengelola tanah yang sehat adalah:

- a. Pengomposan dan peningkatan kesuburan tanah: Menggunakan kompos atau bahan organik lainnya untuk memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan kelembaban, dan menyediakan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman.
- b. Pengelolaan kelembaban tanah: Menjaga kelembaban tanah pada level yang optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman, tanpa memberikan kondisi yang ideal bagi perkembangan penyakit jamur dan bakteri.
- c. Penyuluhan pertanian berkelanjutan: Melakukan pelatihan kepada petani tentang cara menjaga keseimbangan tanah, misalnya dengan menghindari penggunaan pestisida yang berlebihan yang dapat merusak mikroorganisme tanah.

4. Pengendalian Hama dan Penyakit Secara Biologis

Pengendalian biologis melibatkan penggunaan organisme hidup untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Ini adalah bagian dari pengelolaan ekosistem yang berfokus pada prinsip alami dalam mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh hama dan penyakit. Beberapa cara pengendalian biologis antara lain:

- a. Musuh alami: Pemanfaatan predator alami, parasit, atau patogen untuk mengendalikan hama. Contohnya adalah menggunakan bakteri *Bacillus thuringiensis* untuk mengendalikan larva serangga atau memperkenalkan parasitoid telur seperti *Trichogramma* untuk mengendalikan telur serangga hama.
 - b. Mikroorganisme yang bermanfaat: Penggunaan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri yang dapat melawan penyakit tanaman, seperti *Trichoderma* untuk mengendalikan penyakit jamur atau *Pseudomonas fluorescens* yang dapat melawan patogen tanah.
5. Pengelolaan Sumber Daya Alam secara Berkelanjutan

Sumber daya alam seperti air, tanah, dan keanekaragaman hayati perlu dikelola dengan bijaksana untuk menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Praktik pengelolaan yang bijaksana akan mengurangi stres lingkungan dan memperkuat ketahanan ekosistem terhadap serangan hama dan penyakit. Beberapa langkah yang dapat diambil antara lain:

 - a. Pengelolaan irigasi yang efisien: Mengatur penggunaan air secara tepat agar tanaman tetap sehat tanpa memberikan kondisi yang mendukung pertumbuhan penyakit seperti jamur atau bakteri.
 - b. Penyuluhan konservasi sumber daya alam: Mengajarkan petani untuk menggunakan sumber daya alam secara berkelanjutan, misalnya dengan menghindari pembakaran ladang yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengundang hama.
6. Penggunaan Pestisida Secara Selektif dan Terbatas

Meskipun pengelolaan ekosistem mengutamakan pendekatan alami, dalam beberapa kasus, penggunaan pestisida kimia dapat

diperlukan. Namun, penggunaan pestisida harus dilakukan secara selektif dan terbatas untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan organisme non-target. Prinsip-prinsip yang perlu diperhatikan adalah:

- a. Penggunaan pestisida ramah lingkungan: Memilih pestisida yang lebih selektif dan tidak berbahaya bagi organisme lain, serta menggunakan dosis yang tepat dan sesuai dengan rekomendasi. Misalnya memanfaatkan pestisida nabati (ekstrak tumbuhan) maupun biopestisida yang berasal dari mikroorganisme antagonis maupun entomopatogen (
 - b. Pemilihan waktu aplikasi yang tepat: Menggunakan pestisida pada waktu yang tepat, misalnya saat populasi hama berada pada tahap paling rentan, agar efisiensi pengendalian dapat maksimal dan dampaknya minimal terhadap lingkungan.
7. Edukasi dan Penyuluhan Kepada Petani
- Pendidikan dan penyuluhan kepada petani tentang prinsip-prinsip pengelolaan ekosistem sangat penting dalam menciptakan kesadaran dan keterampilan dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman secara berkelanjutan. Melalui pelatihan, petani dapat lebih memahami pentingnya keseimbangan ekosistem, pengelolaan tanaman yang baik, serta penggunaan metode alami dalam mengendalikan hama dan penyakit.

Daftar Pustaka

- Abbas, M.S.T. (2018) Genetically engineered (modified) crops (*Bacillus thuringiensis* crops) and the world controversy on their safety. *Egypt J Biol Pest Control* 28, 52 (2018). <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0051-2>
- Ajilogba, C.F., Babalola, O.O., & Ahmad, F. (2013). Antaginistic Effect of *Bacillus* Species in Biocontrol of Tomato Fusarium Wilt. *Ethno Medicine*. 7: 205-216.
- Alabouvette, C., Olivain, C., & Steinberg, C. (2006). Biological Control of Plant Diseases: The Euopean Situation. *Eur J. Plant Pathol*. 114: 329:341.
- Altieri, M. A., and Clara Ines Nicholls, (2004). Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Second Edition. Food Products Press® An Imprint of The Haworth Press, Inc. New York • London • Oxford. 236 p.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Dinelli, G., & Negri, L. (2024). Towards an agroecological approach to crop health: reducing pest incidence through synergies between plant diversity and soil microbial ecology. *Sustainable Agriculture*, 2(6), 1-6. <https://doi.org/10.1038/s44264-024-00016-2>
- Ameur, F., Amichi, H., & Leauthaud, C. (2020). Agroecology in North African irrigated plains. Mapping promising practices and

characterizing farmers' underlying logics. . Regional Environmental Change.

- Angon, P.B., Sujit M., Israt, J., Mitu, D., Uttam, B. A., Famin, J. A., and Shafiul, M. I. (2023) Advanced in Agriculture : Integrated Pest Management (IPM) in Agriculture and Its Role in Maintaining Ecological Balance and Biodiversity. First published: 12 August 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5546373>
- Anshary, A. (2023). Pengelolaan Hama Terpadu. Politeknik Pertanian Negeri Kupang.
- Arnold, S. E. J., Elisante, F., Mkenda, P. A., Tembo, Y. L. B., Ndakidemi, P. A., Gurr, G. M., Darbyshire, I. A., Belmain, S. R., & Stevenson, P. C. (2021). Beneficial insects are associated with botanically rich margins with trees on small farms. *Scientific Reports*, 11(1), 15190. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94536-3>
- Arora, P., Singh, P., Wang, Y., Yadav, A., Pawar, K., Singh, A., & Chowdhary, A. (2021). Environmental isolation of *Candida auris* from the coastal wetlands of Andaman Islands, India. *Mbio*, 12(2).
- Asril, M., Lismaini, Ginting, M. S., Suryanti, E., Wati, C., Aksan, M., & Joeniarti, E. (2022). Pengelolaan Hama Terpadu (1, Ed.). Yayasan Kita Menulis.
- Asril, M., Ohiwal, M., Sepe, M., Bulawan, J.A., Lestari, W., Arsi., Sari, S.P., Windriyati, S.D.H. Ramdan, E.P, & Apriliyanto, E. (2023). Pengendalian Hayati. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Asyari, M. S., & Mutawally, F. W. (2019). Identifikasi *Ganoderma* pada tanaman kelapa sawit berbasis reflektansi gelombang multispektral. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(3), 193-200. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.3.193-200>
- Baker, B.P., Thomas A., Green, A., and Loker, J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems.

- Biological Control, Volume 140, 2020, 104095, ISSN 1049-9644, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.
- Bani, P. W., Daryono, B. S., & Purnomo, P. (2017). Penanda molekuler inter simple sequence repeat untuk menentukan ketahanan tanaman jagung terhadap penyakit bulai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 13, 127–127. <https://doi.org/10.14692/jfi.13.4.127>
- Bao-jie, C., Dong-mei, Z. and He-zhong, D. (2021) ‘Control of cotton pests and diseases by intercropping: A review’, *Journal of Integrative Agriculture*, 20(12), pp. 3089–3100. doi: 10.1016/S2095-3119(20)63318-4.
- Beattie, G. A. C., & Huang, M. D. (1995). Biological control in ancient China: A review and prospects for the future. *Biocontrol Science and Technology*, 5(3), 387-399. <https://doi.org/10.1080/09583159550039414>
- Belmain, S. R., Amoah, B. A., Nyirenda, S. P., Kamanula, J. F., & Stevenson, P. C. (2012). Highly variable insect control efficacy of *Tephrosia Vogellii* chemotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(40), 10055–10063. <https://doi.org/10.1021/jf3032217>
- Bengtsson, T., Holefors, A., Witzell, J., Andreasson, E., & Liljeroth, E. (2014). Activation of defence responses to *Phytophthora infestans* in potato by BABA. *Plant Pathology*, 63(3), 193–202. <https://doi.org/10.1111/ppa.12069>
- Berlinger, M. J. (2008). Plant resistance to insects. In J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of entomology* (pp. 2930–2935). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_2989
- Biswas, A. P., Insha, R. A. N., Mazed, M. K., Rahman, M. M., & Hossain, M. M. (2025). Unraveling the mechanisms of plant structural defenses against insect pests. *OJBS*, 25, 186–199. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2025.186.199>

- Blondine, C.P., & Widyastuti, U. (1994). Pencarian dan Isolasi Patogen Serta Pengujian Potensinya sebagai Pengendali Jentik Nyamuk. *Indonesian Bulletin of Health Research*. 22(1): 18-24.
- Buchori, D., A. Meillin, P., Hidayat, B., & Sahari. (2010). Species Distribution of Trichogramma and Trichogrammatoidea Genus (Trichogrammatoidea: Hymenoptera) in Java. *J. ISSAA*. 16(1): 83-96.
- Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kwak, M. L., Mammola, S., Noriega, O., Orfinger, A. B., Pedraza, F., Pryke, J. S., & Samways, M. J. (2020). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>
- Cheng, H.H. (2018). 'Pesticides in The Soil Environment : Processes, Impacts, and Modeling', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:140601155>.
- Chowdhary, V. A., & Tank, J. G. (2023). Biomolecules regulating defense mechanisms in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences*, 93, 17-25. <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01387-7>
- Cloyd, R. A. (2022). The case for sanitation as an insect pest management strategy in greenhouses. *Journal of Entomological Science*, 57(3), 267-278. <https://doi.org/10.18474/JES21-57>
- Condro, N., Setame, M., & Nusantara, A. (2020). Identifikasi cendawan penyebab penyakit busuk sulur dan daun tanaman vanili (*Vanilla Planifolia* Andrews). *Dinamis*, 17(1), 129-132. DOI: <https://doi.org/10.58839/jd.v17i1.476>
- COOKE, B. M. (2006). Disease assessment and yield loss. In B. M. COOKE, D. G. JONES, & B. KAYE (Eds.), *The Epidemiology of Plant Diseases* (pp. 43-80). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4581-6_2

- D'Annolfo, R., Gemmill-Herren, B., Graeub, B., & Garibaldi, L. A. (2017). A review of social and economic performance of agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(6), 632–644. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1398123>
- Danya, M.K., & Potty, V.P. (2007). Sideriphore Production by *Pseudomonas fluorescens* isolated from Rhizosphere of *Solestemon rotundifolius*. *Journal of Root Crop*. 33: 138-140.
- Dara, S.K. (2017). Entomopathogenic Micoorganism: Modes of Action and Role in IPM. *E-Journal of Entomology and Biologycal*: 1-7.
- Dara, S.K. (2019) 'The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age', *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), p. 12. Available at: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>.
- Darmawan, A., Arminudin, A. T., & Rahmadani, E. (2024). Identifikasi Nematoda Di Perkebunan Kelapa Sawit PTPN V SEI PAGAR. *Jurnal Agroteknologi*, 15(1), 37-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.24014/ja.v15i1.30846>
- DeBach, P., & Rosen, D. (1991). *Biological control by natural enemies* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Defitri, Y. (2013). Identifikasi Jamur Patogen Penyebab Penyakit Pada Tanaman Padi (*Oryza Sativa*) Di Lubuk Ruso Kecamatan Pelayung Kabupaten Batang Hari Jambi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 13 (4), 113 – 117. DOI: <http://dx.doi.org/10.33087/jiubj.v13i4.331>
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 38.
- Dessie, B., Ferede, B., Taye, W., and Shimelash, D. (2024) Field infestation of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in Southern Ethiopia. *Crop Protection*. Volume

- 178, 106587,. ISSN 0261-2194,
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106587>.
- Dewi, R. S., Giyanto, Sinaga, M. S., Dadang, & Nuryanto, B. (2020). Bakteri Agens Hayati Potensial terhadap Patogen Penting Padi. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 16(1): 37-48.
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., and Kaliaperumal, R. (2022) Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture* 2022, 12, 1745. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Dini, A. F. B., Winasa, I. W., & Hidayat, S. H. (2015). Identifikasi virus penyebab penyakit kerdil pada tanaman padi di Sukamandi, Jawa Barat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 11(6), 205-205. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.11.6.205>
- Djamaluddin, R. R., Sukmawaty, E., Masriany, M., & Hafsan, H. (2022). Identifikasi gejala penyakit dan cendawan patogen tanaman bawang merah (*Allium ascolonicum*) di Kecamatan Buntu Batu Kabupaten Enrekang. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 16(1), 81-92. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v16i1.26027>
- Dong, Y., Huang, W., Lin, K., Han, L., Giovanni, L., & Zhang, J. (2024). Editorial: Pests and diseases monitoring and forecasting algorithms, technologies, and applications. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1518814. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1518814>
- Dumaria, T., Hidayat, S. H., & Hidayat, P. (2023). Metode Termografi Inframerah untuk Deteksi Dini Pepper yellow leaf curl virus pada Tanaman Cabai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 19(1).

- Dun-chun, H., Jia-sui, Z., & Lian-hui, X. (2016). Problems, challenges and future of plant disease management: from an ecological point of view. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(4), 705-715. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61300-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61300-4)
- Dwisatria, N. & Ramadhani, F. (2023) 'Spesies Serangga Hama Padi dan Jagung serta Intensitas Serangannya di Kabupaten Lahat', *JURNAL AGRI-TEK : Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Eksakta*, 24(1), pp. 30–34. Available at: <https://doi.org/10.33319/agtek.v25i1.137>.
- E.A. Bernays and R.E Chapman, (1994). *HOST-PLANT SELECTION BY PHYTOPHAGOUS INSECTS. Contemporary Topics in Entomology 2. CHAPMAN & HALL I[~]P* An International Thomson Publishing Company. 312 p.
- Effendi, S. (2016). 'Analisis Keanekaragaman Coccinellidae Predator dan Kutu Daun (Aphididae Spp) pada Ekosistem Pertanian Cabai di Sumatera Barat', *Jurnal BiBieT*, 1, pp. 67–80. Available at: <https://doi.org/10.22216/jbbt.v1i2.1697>.
- Effendi, M.J., & Triawan, M. T. (2019). Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Tanaman Kopi Berbasis Web. *Jusikom: Jurnal Sistem Komputer Musirawas*, 4(1), 25-32.
- Ehler, L. E. (2006). Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science*, 62, 787–789. <https://doi.org/10.1002/ps.1247>
- Eilenberg, J., Hajek, A. E., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387–400.
- El-Hendawy, H. H., Osman, M. E., & Sorour, N. M. (2005). Biological control of bacterial spot of tomato caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* by *Rahnella aquatilis*. *Microbiological Research*, 160, 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.02.008>
- Evans, E. (2009). Lady beetles as predators of insects other than Hemiptera. *Biological Control*. 51. 255-267. [10.1016/j.biocontrol.2009.05.011](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.011).

- Fanadzo, M., Dalicuba, M., & Dube, E. (2018). Application of conservation agriculture principles for the management of field crops pests. In S. Gaba, B. Smith, & E. Lichtfouse (Eds.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 125–152). https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_4
- Febrinanto, F. G., Dewi, C., & Wiratno, A. T. (2018). Implementasi Algoritme K-Means Sebagai Metode Segmentasi Citra Dalam Identifikasi Penyakit Daun Jeruk. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(11), 5375–5383.
- Fodor, J., Gullner, G., Adam, A. L., Barna, B., Komives, T., & Kiraly, Z. (1997). Local and systemic responses of antioxidants to Tobacco Mosaic Virus infection and to salicylic acid in tobacco (Role in systemic acquired resistance). *Plant Physiology*, 114, 1443–1451. <https://doi.org/10.1104/pp.114.4.1443>
- Food and Agriculture Organization. (2018). The 10 elements of agroecology. Rome, Italy. Available at <https://www.fao.org/documents/card/en/c/19037EN/>. Accessed 18 October 2021
- Gai, Y., & Wang, H. (2024). Plant Disease: A Growing Threat to Global Food Security. *Agronomy*, 14(8), 1615. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081615>
- Gerage, J.M., Meira, A.P.G. and da Silva, M.V. (2017). 'Food and nutrition security: pesticide residues in food', *Nutrire*, 42, pp. 1–9.
- Gerwick, B. C., & Sparks, T. C. (2014). Natural products for pest control: An analysis of their role, value and future. *Pest Management Science*, 70(8), 1169–1185. <https://doi.org/10.1002/ps.3744>
- Ginting, C., Prasetyo, J., Dirmawati, S. R., Ivayani, Timotiwu, P. B., Maryono, T., Widyastuti, Chafisa, D. I. R., Asyifa, A., Setyowati, E., & Pasaribu, A. H. Z. (2020). Identification of maize downy mildew pathogen in Lampung and the effects of varieties and metalaxyl on disease incidence. *Annual Research & Review in Biology*, 35, 23–35. <https://doi.org/10.9734/arrb/2020/v35i730244>

- Gougherty, A. V., & Davis, T. J. (2021). Towards a phylogenetic ecology of plant pests and pathogens. *Philosophical Transactions B*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0359>
- Gurgan, J. F., de Thoisy, B., Gomez-Gallego, M., & Jactel, H. (2023). World forests, global change, and emerging pests and pathogens. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101266>
- Hajek, A. E., Hurley, B. P., Kenis, M., Garnas, J. R., Bush, S. J., Wingfield, M. J., van Lenteren, J. C., & Cock, M. J. W. (2016). Exotic biological control agents: A solution or contribution to arthropod invasions? *Biological Invasions*, 18(4), 953–969. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1075-8>
- Hamdan, M.F., and Tan, B.C. (2024) Genetic modification techniques in plant breeding: A comparative review of CRISPR/Cas and GM technologies, *Horticultural Plant Journal*. ISSN 2468-0141. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.02.012>.
- Harni R., & Khaerati. (2017). Potensi Cendawan Endofit sebagai Agens Hayati untuk Mengendalikan Penyakit Busuk Kakao (*Phytophthora palmivora* Butl.). 7(1): 37-50.
- Hartatik, W., & Widowati, L. R. (n.d.). Peranan Pupuk Organik dalam Peningkatan Produktivitas Tanah dan Tanaman Role of Organic Fertilizer to Improving Soil and Crop Productivity.
- Hartman, G. L., Pawlowski, M. L., Chang, H.-X., & Hill, C. B. (2016). Successful technologies and approaches used to develop and manage resistance against crop diseases and pests. In C. Madramootoo (Ed.), *Emerging technologies for promoting food security* (pp. 43–66). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-335-5.00003-2>
- Hatt, S., Artu, S., Brédart, D., Lassois, L., Francis, F., Haubruge, E., Garre, S., Stassart, P. M., Dufrène, M., Monty, A., Boeraeve, F. (2016). Towards sustainable food systems: The concept of agroecology and how it

- questions current research practices. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20, 215–224. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12997D>
- Heimpel, G. E., & Mills, N. J. (2017). *Biological Control: Ecology and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hendriwal, Hidayat, P., & Nurmansyah, A. 2011. Keanekaragaman dan Kelimpahan Musuh Alami Bemisia tabaci (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) pada Pertanaman Cabai Merah di Kecamatan Pakem, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. *J. Entomol, Indon.* 8(2): 96-109.
- Herlinda, S. & Irsan, C. (2015). *Pengendalian Hayati Hama Tumbuhan*. Palembang: Unsri Pres.
- Huang, J., Zhou, K., Zhang, W., Deng, X., van der, W. W., Lu, Y., Wu, K., & Rosegrant, M. W. (2018). Uncovering the economic value of natural enemies and true costs of chemical insecticides to cotton farmers in China. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AABFB0>
- Huang, M., Wu, Z., Li, J., Ding, Y., Chen, S., & Li, X. (2023). Plant protection against viruses: An integrated review of plant immunity agents. *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 4453. <https://doi.org/10.3390/ijms24054453>
- Huang, W., & Wang, X. (2024). The Impact of Technological Innovations on Agricultural Productivity and Environmental Sustainability in China. *Sustainability*, 16(19), 8480. <https://doi.org/10.3390/su16198480>
- Hull, R. (2014). *Virologi Tanaman (edisi ke-5)*. Academic Press.
- Husniyah, H. (2024). Skrining dan Uji Potensi Entomopatogen Lokal (*Bacillus* sp.) dari Larva *Aedes aegypti*. *Jurnal Imu Sains dan Matematika*. 1(1): 43-56.
- Iamba, K., & 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, 7–19.
<https://doi.org/10.9734/ajrcs/2021/v6i430122>
- Inaya, N., Meriem, S., & Masriany, M. (2022). Identifikasi morfologi penyakit tanaman cabai (*Capsicum* sp.) yang disebabkan oleh patogen dan serangan hama lingkup kampus UIN Alauddin Makassar. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 2(1), 8–14.
<https://doi.org/10.24252/filogeni.v2i1.27092>
- Iqbal, Z., Iqbal, M. S., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Ansari, M. I. (2021). Plant defense responses to biotic stress and its interplay with fluctuating dark/light conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.631810>
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- Isman, M. B. (2008). Botanical insecticides: For richer, for poorer. *Pest Management Science*, 64, 8–11. <https://doi.org/10.1002/ps.1470>
- Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century—Fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65(1), 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
- Isman, M. B. M., & Grieneisen, M. L. M. (2013). Botanical insecticide research: Many publications, limited useful data. *Trends in Plant Science*, 19(3), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>
- Iswati, R., Aini, L. Q., Soemarno, & Abadi, A. L. (2024). Exploration and characterization of indigenous *Trichoderma* spp. as antagonist of *Rhizoctonia solani* and plant growth promoter of maize. *Biodiversitas*, 24(4), 1375–1385. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250405>
- Jaiswal, D. K. et al. (2022) ‘Biocontrol strategies: an eco - smart tool for integrated pest and diseases management’, *BMC Microbiology*, 22(324), pp. 1–5. doi: 10.1186/s12866-022-02744-2.

- Jalli, M., Peltonen, S., & Karjalainen, R. (2021). Managing cereal diseases with crop rotation and reduced tillage. *Plant Disease*, 105(4), 947-954. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-20-2020-RE>
- Jervis Mark A., (2005). *INSECTS AS NATURAL ENEMIES. A Practical Perspective*. Published by Springer, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands. 748 p.
- Kartohardjono, A. (2011). Penggunaan Musuh Alami Sebagai Komponen Pengendalian Hama Padi Berbasis Ekologi. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 4: 29-46.
- Kaur, G., & Padmaja, V. (2020). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera litura* and *Scirpophaga incertulas* in rice and cotton crops. *Crop Protection*, 135, 105215. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105215>
- Khursheed, S. et al. (2021) 'Occurrence of insect and mite pests and their natural enemies under high density apple agro-ecosystems in Kashmir', ~ 993 ~ *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(1), pp. 993–998. Available at: <http://www.entomoljournal.com>.
- Krebs, J., & Bach, S. (2018). *Permaculture—Scientific Evidence of Principles for the Agroecological Design of Farming Systems*. .
- Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94(2), 198-209. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0198>
- Kumar, S., Kaushik, N., & Procha, S. (2022). Biocontrol potential of *Trichoderma* and *Pseudomonas*: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 10(1), 01–08.
- Kumar, S., Singh, A., & Pandey, A. (2020). Role of organic mulches in enhancing soil microbial activity and suppressing soilborne pathogens in horticultural crops. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(3), 321–330. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00320-3>

- Kuniasari, S. (2021). Mengenal Agen Hayati *Trichoderma* sp.: Pontianak: Unit Pelaksanaan Teknis Perlindungan Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Kalimantan Barat.
- Kurniawan, A. F., Prasetyo, J., & Suharjo, R. (2017). Identifikasi dan tingkat serangan penyebab penyakit bulai di Lampung Timur, Pesawaran, dan Lampung Selatan. *Jurnal Agrotek Tropika*, 5(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v5i3.1824>
- Lamovsek, J.G., Urek, G., & Trdan. (2013). Biological Control of Root Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.): Microbes Against the Pests. *Acta Agriculture Slovenica*. 101: 263-275.
- Latifah, E. et al. (2018). 'Uji Teknis dan Ekonomis Komponen Pengendalian Hama Penyakit Terpadu pada Usaha Tani Tomat', *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 11, pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v11i1.3507>.
- Lihawa, M., Zulzain Ilahude, Mukhlisulfatih Latief, Mohamad Ikbah Bahua, Hayatiningsih Gubali, Nikmah Musa, dan Salmawaty Tansa, (2024). Development of an Expert System Application for Early Detection of Pests and Diseases of Maize Plants. DOI: <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v24i1.3301> Website: <http://www.jurnal.polinela.ac.id/JPPT>. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* Vol. 24 (1): 67-46.
- Lorito, M., Woo, S. L., & Harman, G. E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: From 'Omics to the field. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 395-417. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114314>
- Maharijaya, A., Mahmud, M., & Purwito, A. (2008). Uji ketahanan in vitro klon-klon kentang hasil persilangan kentang kultivar atlantic dan granola terhadap penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) dan busuk lunak (*Erwinia carotovora*). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 36(2). DOI: <https://doi.org/10.24831/jai.v36i2.20486>

- Mahr, S. (2003). *The Entomophatogen Beauveria bassiana*. Madison: University of Winconsin.
- Mahyuni, E.L. (2015). Faktor Risiko Dalam Penggunaan Pestisida Terhadap Keluhan Kesehatan Pada Petani di Kecamatan Brastagi Kabupaten Karo. *Kesmas*, 9(1): 79-89.
- Malik, M. J. (2024). Implementasi ekonomi Hijau di Sektor Pertanian Guna Penguatan Ketahanan Pangan Nasional. Lembaga Ketahanan Nasional. Taskap, PPRA LXVI Lemhanas RI. 2024
- Manalu, J. N., Sinaga, M. S., & Tondok, E. T. (2024). Tobacco Mosaic Virus: Penularan Mekanis, Kemampuan Bertahan Hidup dan Gejala pada Tembakau. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 1(1), 24-30.
- Manohara, D., Wahyuno, D., & Noveriza, R. (2005). Penyakit busuk pangkal batang tanaman lada dan strategi pengendaliannya. *Perkembangan Teknologi Tanaman Rempah dan Obat*, 17(2), 41-57.
- Marhaeni, K. S., & Parwata, I. P. (2024). Deteksi Molekuler Bakteri *Liberobacter Asiaticum* Penyebab Penyakit Citrus Vein Phloem Degeneration (CVPD) Pada Tanaman Jeruk Siam (*Citrus Nobilis*). *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 13(1), 110-117. DOI: <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v13i1.79556>
- Mascarin, G. M., & Jaronski, S. T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 177. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
- Matsuo, H., Taniguchi, K., Hiramoto, T., Yamada, T., Ichinose, Y., Toyoda, K., Takeda, K., Shiraishi, T. (2001). Gramine increase associated with rapid and transient systemic resistance in barley seedlings induced by mechanical and biological stresses. *Plant and Cell Physiology*, 42, 1103-1111. <https://doi.org/10.1093/pcp/pce139>
- Matthews, REF (1991). *Virologi Tanaman* (edisi ke-3). Academic Press

- McLennon, Dari, B., Jha, G., Sihi, D., & Kankarla, V. (2021). Regenerative Agriculture and Integrative Permaculture for Sustainable and Technology Driven Global Food Production and Security. *Agronomy Journal*, 113(6), 4541–4559.
- Meena, N., & Singhal, S. (2021). Biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas fluorescens* against *Meloidogyne incognita*, *Fusarium oxysporum*, and *Rhizoctonia solani*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, Article 75.
- 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>
- Millán, S., Casadesús, J., Campillo, C., Moñino, M. J., & Prieto, M. H. (2019). Using Soil Moisture Sensors for Automated Irrigation Scheduling in a Plum Crop. *Water*, 11(10), 2061. <https://doi.org/10.3390/w11102061>
- Mirsam, H., Supramana, & Suastiko, G. (2015). Identifikasi Nematoda Parasit pada Tanaman Wotel di Dataran Tinggi Malino, Sulawesi Selatan Berdasarkan pada Ciri Morfologi dan Morfometrik. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 11(3): 85-90.
- Mkenda, P. A., Ndakidemi, P. A., Mbega, E., Stevenson, P. C., Arnold, S. E. J., Gurr, G. M., & Belmain, S. R. (2019). Multiple ecosystem services from field margin vegetation for ecological sustainability in agriculture: Scientific evidence and knowledge gaps. *PeerJ*, 7, e8091. <https://doi.org/10.7717/peerj.8091>
- Mkindi, A. G., Coe, R., Stevenson, P. C., Ndakidemi, P. A., & Belmain, S. R. (2021). Qualitative cost-benefit analysis of using pesticidal plants in smallholder crop protection. *Agriculture*, 11(10), 1007. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101007>
- Mkindi, A. G., Tembo, Y. L. B., Mbega, E. R., Smith, A. K., Farrell, I. W., Ndakidemi, P. A., Stevenson, P. C., & Belmain, S. R. (2020). Extracts of common pesticidal plants increase plant growth and yield in

- common bean plants. *Plants*, 9(2), 149. <https://doi.org/10.3390/plants9020149>
- Mooy, H and Watuwaya, B.K. (2022) The Role of Remote Sensing and GIS in Smart farming industry 4.0. e-ISSN: 2968-254X <https://jurnal.polbangtanyoma.ac.id/pros2023yoma/15>. Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang
- Moreira, B., Gonçalves, A., Pinto, L., Prieto, M. A., Carcho, M., Caleja, C., & Barros, L. (2024). Intercropping Systems: An Opportunity for Environment Conservation within Nut Production. *Agriculture*, 14(7), 1149. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071149>
- Mudjiono, G. (2013). *Pengelolaan Hama Terpadu: Konsep, Taktik, Strategi, Penyusunan Program PHT, dan Implementasinya*. Universitas Brawijaya Press. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=RLljDwAAQBAJ>.
- Muhibbudin, A., Salsabila, A., & Sektiono, A.W. (2021). Kemampuan Antagonis *Trichoderma harzianum* terhadap beberapa Jamur Patogen Penyakit Tanaman. *Agrosaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 4(1): 225-233.
- Muliani, Y., & Rafika, R.S. (2022). *Parasitoid dan Predator Pengendali Serangga Hama*. Sukabumi: CV Jejak.
- Mumford, J. D., & Norton, G. A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29, 157–174. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.29.010184.001105>
- Mwani, C. N., Nyaanga, J., Cheruiyot, E. K., Ogendo, J. O., Bett, P. K., Mulwa, R., Stevenson, P. C., Arnold, S. E. J., & Belmain, S. R. (2021). Intercropping and diverse field margin vegetation suppress bean aphid (Homoptera: Aphididae) infestation in *dolichos* (*Lablab purpureus* L.). *Journal of Plant Protection Research*, 61(3), 290–301. <https://doi.org/10.24425/jppr.2021.137953>

- Nasution, T. A., Herdiyeni, Y., Kusuma, W. A., Tjahjono, B., & Siregar, I. Z. (2023). Kecerdasan buatan untuk monitoring hama dan penyakit pada tanaman Eucalyptus: Systematic Literature Review. *Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika*, 10(2), 224-237. <https://doi.org/10.29244/jika.10.2.224-237>
- Nelson, R., Coe, R., & Haussmann, B. I. G. (2016). Farmer research networks as a strategy for matching diverse options and contexts in smallholder agriculture. *Experimental Agriculture*, 55, 1–20. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000454>
- Neuenschwander, P. (2001). Biological Control of the Cassava Mealybug in Africa: A Review. *Biological Control*, 21, 214-229. [10.1006/bcon.2001.0937](https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0937).
- Nurcholis, M., & Supangkat, G. (2011). Pengembangan Integrated Farming System Untuk Pengendalian Alih Fungsi Lahan Pertanian. Seminar Nasional Budidaya Pertanian.
- Nurhayati, (2011). Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam pengendalian penyakit tanaman secara hayati yang Ramah Lingkungan. Prosiding Semirata. ISBN: 978-979-8389-18.4.
- Nurindah, Sunarto, D. A., & Sujak. (2009). Tanaman perangkap untuk pengendalian serangga hama tembakau. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat dan Minyak Industri*, 1(2), 55–68. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/195767-ID-tanaman-perangkap-untuk-pengendalian-ser.pdf>
- Oke, S. O., Odebiyi, J. A., & Asogwa, E. U. (2021). *Erythrina* spp. and *Gliricidia sepium* as shade trees in cocoa plantations: Effects on pest and disease dynamics. *Crop Protection*, 145, 105678. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105678>
- Olivares, B. O., Rey, J. C., Lobo, D., Navas-Cortés, J. A., Gómez, J. A., & Landa, B. B. (2021). Fusarium Wilt of Bananas: A Review of Agro-Environmental Factors in the Venezuelan Production System

- Affecting Its Development. *Agronomy*, 11(5), 986.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>
- Ouyang, F., Su, W., Zhang, Y., Liu, X., Su, J., Zhang, Q., Men, X., Ju, Q., & Ge, F. (2020). Ecological control service of the predatory natural enemy and its maintaining mechanism in rotation-intercropping ecosystem via wheat-maize-cotton. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107024.
<https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107024>
- Overton, K., Hoffmann, A. A., Reynolds, O. L., & Umina, P. A. (2021). Toxicity of insecticides and miticides to natural enemies in Australian grains: A review. *Insects*, 12(2), 187.
<https://doi.org/10.3390/INSECTS12020187>
- Parker, J.E. , Snyder, William Hamilton, G.C. & Rodriguez-Saona, Cesar. (2013). Companion planting and insect pest control. *Weed and Pest Control - Conventional and New Challenges*. 1-30.
- Pawitrasari, A. L., Putra, A. F. S., Ramdhani, A. F., Suryandari, H. D., Purwani, Y., & Advinda, L. (2022). Nematoda Penyebab Penyakit Pada Tanaman Kacang Tanah (*Arachishypogaea* L.). In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 2, No. 2, pp. 92-105).
- Pedigo, L. P., & Rice, M. E. (2014). *Entomology and Pest Management* (6th ed.). Waveland Pr Inc.
- Penyalver, R., Vicedo, B., & López, M. M. (2000). Use of the *Agrobacterium radiobacter* strain K84 in the biological control of crown gall disease in Spain. *Plant Pathology*, 49(4), 489–497.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2000.00473.x>
- Peraturan Menteri Pertanian (Kementan) Nomor 411/KPTS/TP.120/6/95.
- Permana, I., Anggoro, O., Didi Carsidi, Syamsu Alam, NaniKitti Sihaloho, Yonce M.Killa, Wa Ode Asryanti, & Rivandi Putra. (2023). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan* (Diana Purnama Sari). Get Press Indonesia.

- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies*, 16(4), 1690. <https://doi.org/10.3390/en16041690>
- Praptana, R. H., & Yasin, M. (2008). Peranan bioteknologi dalam pengelolaan penyakit tungro. *Iptek Tanaman Pangan*, 3(1), 98-111.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Vara Prasad, P. V., Reganold, J., Rockström, J., Smith, P., Thorne, P., & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
- Purnamasari, M. I., Prihatna, C., Gunawan, A. W., & Suwanto, A. (2012). Isolasi dan identifikasi secara molekuler *Ganoderma* spp. yang berasosiasi dengan penyakit busuk pangkal batang di kelapa sawit. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 8(1), 9-9. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.8.1.9>
- 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.
- Qisthi, R.T., Novita, K., Husnul, K., Ainun, C., Nadilatul, H., Sisilia, S., Yusra, Z.A., Isti, A., Listi, A., & Panji, S. (2021). Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Pangan dan Hotikultura. Makasar: Jurusan Biologi FMIPA UNM.
- Raderschall, C. A., Bommarco, R., Lindström, S. A. M., Lundin, O. (2021). Landscape crop diversity and seminatural habitat affect crop pollinators, pollination benefit and yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 306, 107189. <https://doi.org/10.1016/j.AGEE.2020.107189>

- Rahayu, W., Brotodjojo, R. R. R., & Nurngini, N. (2020). Perlakuan benih tomat dengan *Trichoderma harzianum* dan *Gliocladium virens* untuk menekan serangan *Fusarium oxysporum* penyebab penyakit layu *Fusarium*. *Agrivet*, 26(2), 133–142.
- Rahman, R. M., Munif, A., & Kurniawati, F. (2018). Deteksi dan identifikasi nematoda *Aphelenchoides besseyi* dari benih padi. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 14(2), 39–39. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.14.2.39>
- Rahmawasih, R., Abadi, A. L., Mudjiono, G., & Rizali, A. (2022). The effect of integrated pest management on *Scirpophaga Innotata* population and natural enemies on rice field in South Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230917>
- Rakes, M., Morais, M. C., Ribeiro, L. P., Palma, G. R., Moral, R. A., Bernardi, D., & Grützmacher, A. D. (2024). The temperature affects the impact levels of synthetic insecticides on a parasitoid wasp used in the biological control of pentatomid pests in soybean crops. *arXiv preprint arXiv:2403.05479*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2403.05479>
- Raven, P. H., & Wagner, D. L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(2). <https://doi.org/10.1073/PNAS.2002548117>
- Richardson, M., Coe, R., Descheemaeker, K., Haussmann, B., Wellard, K., Moore, M., Maland, C., Cady, J., Gubbels, P., Tchuwa, F., Paz, Y. R., & Nelson, R. (2021). Farmer research networks in principle and practice. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1930954>
- Rosset, P. M., & Altieri, M. A. (1997). Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources*, 10(3), 283–295. <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>

- Sagala, E., Hutagalung, J., Kusnasari, S., & Lubis, Z. (2021). Penerapan Sistem Pakar Dalam Mendiagnosis penyakit Tanaman Carica Papaya di UPTD. Perlindungan Tanaman Pangan dan Hortikultura Menggunakan Metode Dempster Shafer. *Jurnal Cyber Tech*, 1(1). DOI: <https://doi.org/10.53513/jct.v1i1.3261>
- Saleem, M., Pervaiz, Z. H., Contreras, J., Lindenberger, J. H., Hupp, B. M., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Iqbal, J., & Twigg, P. (2020). Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*, 16, 100248. <https://doi.org/10.1016/J.RHISPH.2020.100248>
- Santosa, S.J. (2024). *Pengelolaan Hama Penyakit Tanaman*. UnisriPress. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=vI8HEQAAQBAJ>.
- Santoso, H. (2020). Pengamatan dan Pemetaan Penyakit Busuk Pangkal Batang di Perkebunan Kelapa Sawit Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Kamera Multispektral. *Jurnal fitopatologi indonesia*, 16(2), 69-80. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.16.2.69-80>
- Saputra, D. M., Hermawan, E., & Agustian, S. (2023). Klasifikasi kesehatan pada tanaman padi menggunakan citra unmaned aerial vehicle (uav) dengan metode convolutional neural networks (cnn). *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 9(3). DOI: <https://doi.org/10.33197/jitter.vol9.iss3.2023.1044>
- Sara, D. V., Maharani, M. D. D., Amin, H. F., & Triana, Y. S. (2021). Application of artificial intelligence in modern ecology for detecting plant pests and animal diseases. *International Journal of Quantitative Research and Modelling*, 2(2), 83-90. <https://journal.rescollacomm.com/index.php/ijqrm/index>
- Sari, S. P., Ilahude, Z., Sudewi, S., Arsyad, S., Hasna, D., Solihin, A. P., Pulogu, S. I., Husain, I., Apriliani, S. (2025). *Pengelolaan agroekosistem untuk pertanian organik – KITA MENULIS*. Retrieved from <https://kitamenulis.id/2025/01/01/pengelolaan-agroekosistem-untuk-pertanian-organik/>

- Sari, S.P. (2018). Identifikasi Agens Hayati Cendawan Entomophthorales dari Serangga Kutudaun pada Daerah Budidaya Tanaman Cabai di Kota Bogor, Jawa Barat. Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Berbasis Sumberdaya Lokal. ISBN: 978-602-97051-7-1. 131-144.
- Sari, S.P. et al. (2025). Pengelolaan Agroekosistem untuk Pertanian Organik. Yayasan Kita Menulis.
- Schowalter T. D., (2006). Insect Ecology. An Ecosystem Approach. Second Edition. Academic Press is an Imprint Elsevier. 572 p.
- Scortichini, M. (2022). Sustainable Management of Diseases in Horticulture: Conventional and New Options. *Horticulturae*, 8(6), 517. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060517>
- Seiber, J. N., & Kleinschmidt, L. A. (2011). Contributions of pesticide residue chemistry to improving food and environmental safety: Past and present accomplishments and future challenges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(14), 7536–7543. <https://doi.org/10.1021/JF103902T>
- Sembel, D.T. (2012). Dasar-dasar Perlindungan Tanaman. Yogyakarta: Andi
- Septariani, D. N., Herawati, A., & Mujiyo. (2019). Pemanfaatan berbagai tanaman refugia sebagai pengendali hama alami pada tanaman cabai (*Capsicum annum* L.). *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, 1(2), 1–9. Retrieved from <https://jurnal.uns.ac.id/prima/article/download/36106/23286>
- Siddiqui, I. A., & Shaukat, S. S. (2003). Suppression of root-knot disease by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in tomato: Importance of bacterial secondary metabolite, 2,4-diacetylphloroglucinol. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(12), 1615–1623. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.08.006>

- Sileshi, G., Schroth, G., Rao, M., and Hailu, G. (2008). Weeds, Diseases, Insect Pests, and Tri-Trophic Interactions in Tropical Agroforestry. 10.1201/9781420043365.ch5.
- Sinaga, M.S. 2003. Dasar – Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Singh, R. and Singh, G. (2016) Aphids and Their Biocontrol. doi: 10.1016/B978-0-12-803265-7.00003-8.
- Skendzic, S., Zovko, M., Zivkovic, I. P., Lesic, V., & Lemic, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(440), 1-31. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Smith, R. F., Apple, J. L., & Bottrell, D. G. (1976). The origins of integrated pest management concepts for agricultural crops. In J. L. Apple & R. F. Smith (Eds.), *Integrated Pest Management* (pp. 1–16). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7269-5_1
- Soendjoto, M. A. (2016) ‘Capung Predator Cantik Penghuni Perairan’, *Warta Konservasi Lahan Basah*, 24(1), pp. 13–18.
- Solichah, C., Poerwanto, M.E., & Wicaksono, D. (2022). Jamur *Metarhizium* Sebagai Agens Hayati Pengendali Hama Tanaman. Yogyakarta: LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Sopialena, S., & Wati, M. (2016). Uji potensi penggunaan jamur *Trichoderma harzianum* Rifai dan *Gliocladium virens* Miller Giddens & Foster terhadap penyakit antraknosa (*Colletotrichum capsici*) pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 6(1), 61–68.
- Sopialena, Suyadi, Sofian, Tantiani, D., & Fauzi, A.N. (2020). Efektivitas Cendawan Endofit sebagai Pengendali Penyakit Blast pada Tanaman Padi. *Jurnal Agrifor*. 19(2). 355-366.
- Sopialena. (2018). Pengendalian Hayati Dengan Memberdayakan Potensi Mikroba. Samarinda: Mulawarman University Press.

- Stenberg, J. A. (2017). A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in Plant Science*, 22(9), 759-769. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.010>
- Stern, V., Smith, R., van den Bosch, R., & Hagen, K. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. *Hilgardia*, 29, 81–101.
- Stern, V.M. et al. (1959). 'The Integration of Chemical and Biological Control of The Spotted Alfalfa Aphid', *HILGARIA*, 29, p. 2.
- Stevenson, P. C., Belmain, S. R., & Isman, M. B. (2020). Pesticidal plants: From smallholder use to commercialisation. Basel, Switzerland: MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03928-789-5>
- Stevenson, P. C., Isman, M. B., & Belmain, S. R. (2017). Pesticidal plants in Africa: A global vision of new biological control products from local uses. *Industrial Crops and Products*, 110, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.034>
- 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*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>
- Subramanian, S., Rabindra, R. J., & Sathiah, N. (2010). Economic threshold for the management of *Plutella xylostella* with granulovirus in cauliflower ecosystem. *Phytoparasitica*, 38, 5–17. <https://doi.org/10.1007/s12600-009-0066-z>
- Sun, L., Lai, M., Ghouri, F., Nawaz, M. A., Ali, F., Baloch, F. S., Nadeem, M. A., Aasim, M., & Shahid, M. Q. (2024). Modern Plant Breeding Techniques in Crop Improvement and Genetic Diversity: From Molecular Markers and Gene Editing to Artificial Intelligence—A Critical Review. *Plants*, 13(19), 2676. <https://doi.org/10.3390/plants13192676>

- Suprihanto, S., Nurhayati, E., & Harjosudarmo, J. (2013). Virulensi Isolat Rice tungro virus dari beberapa daerah endemis tungro di Indonesia. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(1), 29-29.
- Sutrisno, N., & Hamdani, A. (2019). Optimalisasi Pemanfaatan Sumber Daya Air untuk Meningkatkan Produksi Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 2.
- Syahid, A., Swibawa, I. G., Solikhin, S., & Fitriana, Y. (2021). Identifikasi Berbasis Morfologi Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne* Spp.) Pada Pertanaman Jambu Biji Kristal Di Provinsi Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(1), 35-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v9i1.4781>.
- Syaifudin, A. (2020). Karakterisasi Morfologis Cendawan Patogen Penyebab Layu Fusarium Pada Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L). In *Prosiding Seminar Nasional Indonesian R Summit* (Vol. 1, No. 1).
- Syatravati, & Sitti, I., (2017). Pemberdayaan Petani Dalam Penggunaan Agens Hayati Untuk Pengendalian Hama dan Penyakit Sayur di Kab. Enkerang. *Jurnal Dedikasi Masyarakat*. 1(1): 52-58.
- Tambo, J. A., Kansime, M. K., Mugambi, I., Rwomushana, I., Kenis, M., Day, R. K., & Lamontagne-Godwin, J. (2020). Understanding smallholders' responses to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invasion: Evidence from five African countries. *Science of the Total Environment*, 740, 140015. <https://doi.org/10.1016/j.SCITOTENV.2020.140015>
- Tanada, Y., & Kaya, H.K. (1993). *Insect Pathology*. New York: Academic Press.
- Tarakini, G., Chemura, A., & Musundire, R. (2020). Farmers' knowledge and attitudes toward pollination and bees in a maize-producing region of Zimbabwe: Implications for pollinator conservation. *Tropical Conservation Science*, 13, 1-13. <https://doi.org/10.1177/1940082920918534>

- Taufik, M., Hasan, A., Hidayat, S. H., Parawansa, A. K., & Tasrif, A. (2023). Penilaian keparahan gejala virus pada *Capsicum frutescens* berbasis indeks vegetasi dan pengamatan visual di lapangan. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(1), 7-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v11i1.6063>
- Tembo, Y., Mkindi, A. G., Mkenda, P. A., Mpumi, N., Mwanauta, R., Stevenson, P. C., Ndakidemi, P. A., & Belmain, S. R. (2018). Pesticidal plant extracts improve yield and reduce insect pests on legume crops without harming beneficial arthropods. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1425. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01425>
- Thambugala, K. M. et al. (2020) 'Fungi vs. Fungi in Biocontrol: An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens', *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10(November), pp. 1–19. doi: 10.3389/fcimb.2020.604923.
- Thompson, M. N. et al. (2022) 'Improving Natural Enemy Selection in Biological Control through Greater Attention to Chemical Ecology and Host-Associated Differentiation of Target Arthropod Pests', *Insects*, 13(2), pp. 1–19. doi: 10.3390/insects13020160.
- Tian, X., Wang, C., Bao, X., Wang, P., Li, X., Yang, S., Ding, G., Christie, P., & Li, L. (2019). Crop diversity facilitates soil aggregation in relation to soil microbial community composition driven by intercropping. *Plant Soil*, 436(1), 173–192. <https://doi.org/10.1007/S11104-018-03924-8>
- Timmer, L.W., Garnsey, S.M., & Graham, J.H. (2003). *Kompendium Penyakit Jeruk*. APS Press.
- Tiwari, A. K. (2024). Insect pests in agriculture identifying and overcoming challenges through IPM. *Archives of Current Research International*, 24, 124–130. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i3651>
- Triwidodo, H., Tondok, E. T., & Shiami, D. A. (2020). Pengaruh varietas dan umur tanaman berbeda terhadap jumlah populasi dan tingkat serangan hama dan penyakit pisang (*Musa sp.*) di Kabupaten Sukabumi. *Agrikultura*, 31(2), 68-75. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i2.27077>

- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Ullah, M. S., Haque, M. A., & Gotoh, T. (2022). Effect of relative humidity on the efficacy of entomopathogen *Beauveria bassiana* (strain GHA) against *Tetranychus macfarlanei* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 27(12), 2341–2353.
- Utami, B. S., Supramana, S., & Giyanto, G. (2017). Deteksi dan identifikasi spesies *Meloidogyne* penyebab umbi berbintil pada kentang asal Sulawesi Utara. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 13(3), 98–98.
- Wang, G., Li, X., Xi, X., Cong, W., & Li, L. (2020). Legume cover crops enhance soil microbial diversity and activity in a cereal-based cropping system. *Applied Soil Ecology*, 152, 103573. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103573>
- Wang, J. et al. (2022) 'Direct and indirect effects of banker plants on population establishment of *Harmonia axyridis* and aphid control on pepper crop', *Frontiers in Plant Science*, 13(December), pp. 1–11. doi: 10.3389/fpls.2022.1083848.
- Wang, Z., He, K., Zhang, F., Lu, X., & Babendreier, D. (2020). Parasitoids as effective biological control agents in China: Past, present and future. *Insects*, 11(10), 649. <https://doi.org/10.3390/insects11100649>
- Wang, Z., Qiao, X., Wang, Y., Yu, H., and Mu, C. (2024). IoT-based system of prevention and control for crop diseases and insect pests. *Frontiers in Plant Science*. 15. 1323074. 10.3389/fpls.2024.1323074.
- Wardhika, C.M. (2014). Eksplorasi Bakteri yang Berpotensi sebagai Agens Pengendali Hayati *Fusarium solani* dan *Meloidogyne incognita* pada Lada. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 18(2): 89-94.

- Warren, J., C. Lawson and K. Belcher (2008). *The Agri-Environment*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo. Cambridge University Press. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK. 224 p.
- Wati, C., Paridawati, I., Iswati, R., & Solihin, A. P. (2024). Pengenalan hama dan penyakit tanaman – KITA MENULIS. Retrieved from <https://kitamenulis.id/2024/11/29/pengenalan-hama-dan-penyakit-tanaman/>
- Wenas, M., Manengkey, G. S., & Makal, H. V. (2016). Insidensi Penyakit Layu Bakteri Pada Tanaman Kentang (*Solanum Tuberosum* L) Di Kecamatan Modoinding. In *Cocos*, 7(3).
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503–515. <https://doi.org/10.1051/AGRO/2009004>
- Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Wibowo, J. (2023). Efektivitas pengendali biologis terhadap hama dan penyakit pada tanaman padi (*Oryza sativa*). *Edubiologica: Jurnal Penelitian Ilmu dan Pendidikan Biologi*, 11(2), 45–56. Available at: <https://journal.uniku.ac.id/index.php/edubiologica/article/view/10456> (Accessed: 24 Februari 2025).
- Wicaksono, W., Prilianti, K. R., Setiawan, H., & Mimboro, P. (2022). Metode Deteksi Cepat Serangan *Ganoderma* pada Perkebunan Kelapa Sawit dengan Penginderaan Jauh. *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, 135–142.

- Wu, J. et al. (2020) 'Pesticide-Induced Planthopper Population Resurgence in Rice Cropping Systems.', *Annual review of entomology*, 65, pp. 409–429. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025215>.
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, 14-23.
- Xu, L., Liang, N., & Gao, Q. (2008). An Integrated Approach for Agricultural Ecosystem Management, (Vol. 38, Issue 4). *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.
- Yanti, S., Marlina, M., & Fikrinda, F. (2018). Pengendalian penyakit hawar daun bakteri pada padi sawah menggunakan fungi mikoriza. *Jurnal Agroecotania: Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 1(2), 14-21. DOI: <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v1i2.6337>
- Yudiarti, T. (2007). *Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Yulia, E., Widiyanti, F. & Susanto, A. (2020). 'Manajemen Aplikasi Pestisida Secara Tepat dan Bijak pada Kelompok Tani Komoditas Padi dan Sayuran di SPLPP Arjasari', *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3, p. 310. Available at: <https://doi.org/10.24198/kumawula.v3i2.27459>.
- Yulianti, T. (2013). Pemanfaatan Endofit Sebagai Agensi Pengendali Hayati Hama dan Penyakit Tanaman. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*. 5(1): 40-49.
- Zabel, F., Delzeit, R., Schneider, J. M., Seppelt, R., Mauser, W., & Václavík, T. (2019). Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nature Communications*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z>
- Zeddie, J., Schaab, R. P., Neuenschwander, P., & Herren, H. R. (2001). Economics of biological control of cassava mealybug in Africa.

- Agricultural Economics, 24(2), 209–219.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2001.tb00024.x>
- Zhan, Y., Chen, S. and Wang, G. (2021) 'Biological control technology and application based on agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) intelligent delivery of insect natural enemies (Trichogramma) carrier', (October 2020). doi: 10.1002/ps.6371.
- Zhang, H., Li, H. C., & Miao, X. X. (2013). Feasibility, limitation and possible solutions of RNAi-based technology for insect pest control. *Insect Science*, 20(1), 15–30. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2012.01513.x>
- Zhang, X., Han, L., Dong, Y., Shi, Y., Huang, W., Han, L., & González-Moreno, P. (2020). A deep learning-based approach for automated yellow rust disease detection from high-resolution hyperspectral UAV images. *Remote Sensing*, 12(4), 644. <https://doi.org/10.3390/rs12040644>
- Zhao, J., Wang, Z., Liu, H., Zhao, X., & Zhang, T. (2021). Cover crops improve soil microbial biomass and suppress Fusarium wilt in watermelon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 311, 107326. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107326>
- Zhou W, Arcot Y, Medina R.F, Bernal J, Cisneros-Zevallos L, Akbulut MES. (2024). Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection. *ACS Omega*. 2024 Sep 28;9(40):41130–41147. doi: 10.1021/acsomega.4c06628. PMID: 39398119; PMCID: PMC11465254.
- Zhu, Y., Liu, L., & Zhang, Z. (2023). Dynamics of a non-smooth pest-natural enemy model with the threshold control strategy. *Physica Scripta*, 98, 075208. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/acd96c>
- Zielonka, M. (2021). Biology and integrated management of the light brown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) on the apple tree, *Malus domestica* (Rosales: Rosaceae).

- Zulkifli. (2021). Sistem Pendeteksi Penyakit Tanaman Padi Berbasis Artificial Intelligence. *Jurnal Tika*, 6 (3), 260 – 269. DOI: <https://doi.org/10.51179/tika.v6i03.813>
- Zurmia, Z., & Rahmi, R. (2023). Utilization of aqueous extracts from weeds for controlling root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in tomato plants. *Journal of Plant Protection Research*, 63(2), 123–134.

Biodata Penulis



Novian Dwisatria. Saat ini menjadi PNS sebagai Pengendali Organisme Pengganggu Tumbuhan (POPT) di UPTD Balai Perlindungan Tanaman Pangan dan Hortikultura Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Sumatera Selatan. Sebelumnya lulus Strata 1 dari Program Studi Agroekoteknologi Peminatan Budidaya Pertanian di Universitas Sriwijaya pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan Strata 2 di Program Studi Ilmu Tanaman Bidang Kajian Ilmu (BKU) Proteksi Tanaman Universitas Sriwijaya dan lulus pada tahun 2024.

E-mail: noviands.agro@gmail.com



Makhrani Sari Ginting lahir di Medan, Sumatera Utara pada tanggal 1 Maret 1973. Penulis adalah alumni Biologi FMIPA Universitas Sumatera Utara dan juga merupakan Alumni Fakultas Pertanian University Putra Malaysia. Karir dosen dimulai di Universitas Islam Sumatera Utara sejak tahun 2003, Pada tahun 2012-2017 Penulis berkarir di PT. Hetts Biolestari Medan. Sejak 2020 hingga saat ini penulis aktif sebagai Dosen Tetap di Program Studi Proteksi Tanaman, Institut Teknologi Sawit Indonesia Medan



Angry Pratama Solihin. Merupakan dosen tetap di Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian UNG. Menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tanaman UB dan pendidikan Magister di Program Studi Ilmu Hama Tumbuhan UGM.

Penulis mengampu mata kuliah Dasar Perlindungan Tanaman, Ilmu hama dan Penyakit Tanaman, Pengendalian Hayati, Pestisida dan Teknik Aplikasi dan Pengelolaan Hama dan Penyakit Terpadu. Di samping itu, penulis merupakan anggota organisasi profesi Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI) dan Perhimpunan Agroteknologi Indonesia (PAGI). Penulis juga aktif melakukan penelitian di bidang ekologi, toksikologi dan pengendalian hayati hama tanaman serta taksonomi dan identifikasi serangga. Beberapa karya penulis telah dipublikasi baik jurnal ilmiah maupun buku referensi.

E-mail : angrysolihin@ung.ac.id



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, Sistem Pertanian Ramah Lingkungan, Pertanian Perkotaan, serta Virologi Tumbuhan.

E-mail: dwiwiyatinurul@staff.uns.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



Rida Iswati. Menyelesaikan Program Doktor Ilmu Pertanian, FP UB minat Hama Penyakit Tumbuhan. dengan topik disertasi yakni tentang Trichoderma sebagai Agen Antagonis Rhizoctonia solani, Pemacu Pertumbuhan dan Penginduksi Ketahanan Tanaman Jagung. Sebelumnya mengikuti Pendidikan Program S1 di UNRAM NTB, S2 di IPB Bogor, S3 di UB Malang. Ia adalah dosen tetap Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo.

Mengampu mata kuliah Ilmu Hama Penyakit Tumbuhan, Epidemiologi Penyakit Tanaman, Pengendalian Hayati, dan Pengelolaan Hama Penyakit Terpadu dan aktif sebagai dosen pembimbing MBKM. Penulis aktif sebagai narasumber pelatihan dan bimbingan teknis berkaitan dengan identifikasi penyakit tanaman dan pengendalian hayati di lingkungan Dinas Pertanian Provinsi Gorontalo.

E-mail: rida-iswati@ung.ac.id, ridaiswati567@gmail.com



Herlistin Mooy adalah salah satu tenaga pendidik pada unit pelaksana teknis (UPT) Kementerian Pertanian RI dibawah Badan Penyuluhan dan pengembangan SDM Pertanian, yakni UPT SMK Pertanian Pembangunan Negeri Kupang. Sebagai pendidik, beliau mendapat mandat untuk menghasilkan job creator maupun job seeker yang kompeten serta berjiwa wirausaha.

Menamatkan S1 Pertanian dari Institut Pertanian Malang dengan spesialisasi Sosial Ekonomi Pertanian (2003). Pendidikan S2 dilanjutkan pada Teknologi Pembelajaran, Universitas Negeri Malang (2013). Selanjutnya pada tahun 2018 mendalami bidang agronomi pada Program Pascasarjana Ilmu Pertanian Universitas Padjadjaran Bandung. Berbagai riset terkait ilmu pertanian secara luas telah dihasilkan dengan memadukan bidang ilmu pertanian dengan pendekatan ilmu lainnya.

e-mail: herlistin.academic@gmail.com



Mufidah Afiyanti 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



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.



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



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. Ia adalah dosen tetap 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

PENGANTAR PENGELOLAAN TERPADU HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

Pengelolaan terpadu ialah mengurangi penggunaan pestisida dengan menggabungkan berbagai teknik pengendalian secara efektif. Para pakar hama dan penyakit tanaman di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, telah lama berbicara tentang dampak penggunaan pestisida kimia dan beberapa prinsip dasar serta ambang ekonomi dalam pengelolaan terpadu hama dan penyakit tanaman.

Buku ini membahas:

Bab 1 Konsep Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu

Bab 2 Pengelolaan Ekosistem Pertanian Terpadu

Bab 3 Konsep Ambang Ekonomi Pengendalian Hama dan Penyakit

Bab 4 Ekologi Hama dan Penyakit Tanaman

Bab 5 Identifikasi Penyakit Tanaman

Bab 6 Teknik Pengendalian Biologis

Bab 7 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Menggunakan Teknik Budidaya

Bab 8 Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit

Bab 9 Pengendalian Hama dan Penyakit Menggunakan Agens Hayati

Bab 10 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman dengan Pemanfaatan Musuh Alami

Bab 11 Pengelolaan Ekosistem dalam Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

