



PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

PENULIS:

Sulharni
Jetri Sembiring
Silvia Permata Sari
Araz Mallih
Oktaviani
Effi Alfiani Sidik
Decenly
Suskindini Ratih
Anwar
Lutfi Atifah

PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

**Sutiharni
Jefri Sembiring
Silvia Permata Sari
Araz Meilin
Oktaviani
Effi Alfiani Sidik
Decenly
Suskandini Ratih
Anwar
Lutfi Afifah**



GETPRESS INDONESIA

PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

Penulis :

Sutiharni

Jefti Sembiring

Silvia Permata Sari

Araza Meilin

Oktaviani

Effi Alfiani Sidik

Decenly

Suzkandini Ratih

Anwar

Lutfi Afifah

ISBN : 978-623-125-113-8

Editor : Milsa Sari, M.Sc.

Penyunting: Yuliatri Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: CV GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SEA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, April 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Buku ini terdiri atas 10 topik diantaranya : Pendahuluan, konsep ekologi dan biologi hama, pengendalian hama secara fisik dan mekanik, pengendalian hama secara hayati dan serangga mandul, pengendalian hama menggunakan peraturan karantina tumbuhan dan hewan, pengendalian hama secara kimiawi, pengaruh patogen terhadap fisiologi tanaman, ketahanan tanaman terhadap serangan patogen, prinsip pengelolaan penyakit tanaman, strategi penerapan PHT.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami dan dapat digunakan diberbagai Perguruan Tinggi.

Padang, April 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENDAHULUAN PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN	1
1.1 Batasan dan Pengertian Hama dan Penyakit Tanaman.....	1
1.2 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman.....	10
DAFTAR PUSTAKA	17
BAB 2 KONSEP EKOLOGI DAN BIOLOGI HAMA	19
2.1 Ekologi.....	19
2.2 Biologi Hama.....	24
DAFTAR PUSTAKA	39
BAB 3 PENGENDALIAN HAMA SECARA FISIK DAN MEKANIK	41
3.1 Pendahuluan.....	41
3.2 Pengendalian Hama Secara Fisik.....	42
3.3 Pengendalian Hama Secara Mekanik.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
BAB 4 PENGENDALIAN HAMA SECARA HAYATI DAN SERANGGA MANDUL	51
4.1 Pendahuluan.....	51
4.2 Pengendalian Hama Secara Hayati.....	52
4.3 Pengendalian Hama Dengan Pemanfaatan Serangga Mandul.....	59
4.4 Penutup.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
BAB 5 PENGENDALIAN HAMA MENGGUNAKAN PERATURAN KARANTINA TUMBUHAN DAN HEWAN	67
5.1 Memahami Karantina dalam Konteks Pencegahan dan Pengendalian Penyebaran Organisme Hama, Penyakit, dan Organisme Pengganggu Tanaman.....	67
5.2 Perlindungan Sumber Daya Alam Indonesia melalui Badan Karantina Indonesia.....	70
5.3 Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan.....	72
5.4 Ketentuan Pidana dalam UU Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan.....	76

5.5 Peran Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan.....	77
DAFTAR PUSTAKA	80
BAB 6 PENGENDALIAN HAMA SECARA KIMIAWI	81
6.1 Identifikasi Hama.....	81
6.2 Aspek Penentu Aplikasi dan Penggolongan Pestisida	86
6.3 Aplikasi Pengendalian Hama secara Kimia	91
6.4 Resistensi terhadap Pestisida	94
DAFTAR PUSTAKA	97
BAB 7 PENGARUH PATOGEN TERHADAP FISILOGI	
TANAMAN	99
7.1 Pendahuluan.....	99
7.2 Apa itu Patogen Tanaman	100
7.3 Patogen dan Fisiologi Tanaman.....	101
7.4 Pengaruh Patogen Terhadap Fisiologi Tanaman	103
DAFTAR PUSTAKA	120
BAB 8 KETAHANAN TANAMAN TERHADAP SERANGAN	
PATOGEN	125
8.1 Mekanisme pertahanan struktural tanaman terhadap penetrasi patogen	126
8.2 Mekanisme pertahanan biokimia (metabolik) tanaman terhadap penetrasi patogen	134
DAFTAR PUSTAKA	139
BAB 9 PRINSIP PENGELOLAAN PENYAKIT TANAMAN	141
9.1 Pendahuluan.....	141
9.2 Pertimbangan Dasar Pengelolaan Penyakit Tanaman.....	143
9.3 Prinsip Pengendalian Penyakit Tanaman	145
9.4 Strategi Pengelolaan Penyakit Tanaman.....	149
9.5 Taktik atau Teknik Pengelolaan Penyakit Tanaman	154
9.6 Manajemen Pengelolaan Penyakit Terpadu	156
DAFTAR PUSTAKA	157
BAB 10 STRATEGI PENERAPAN PHT	159
10.1 Pengendalian Kultur Teknis	165
10.2 Pengendalian Fisik dan Mekanik	167
10.3 Pengendalian Biologi (Biointensif)	168
10.4 Pengendalian Kimia	175
10.5 Pemilihan Pestisida yang baik dan benar.....	177
DAFTAR PUSTAKA	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Sticky Trap	11
Gambar 2. 1. Spesies Ekaryote.....	20
Gambar 2. 2. Serangga pengurai	21
Gambar 2. 3. Serangga penyerbuk	25
Gambar 2. 4. <i>Bombyx mori</i>	26
Gambar 2. 5. Lebah madu	26
Gambar 2. 6. Serangga sebagai vektor.....	26
Gambar 2. 7. Parasitoid Hymenoptera: Ichneumonidae (b) Hymenoptera: Pteromalidae (c) Hymenoptera: Scelionidae	31
Gambar 2. 8. Serangga Predator	31
Gambar 2. 9. Serangga yang terpapar jamur	32
Gambar 3. 1. Contoh lampu perangkap	46
Gambar 6. 1. Berbagai gejala pada tanaman (a) buah kakao berlubang dengan lesi cokelat kehitaman oleh <i>Helopeltis</i> , (b) alur korokan berwarna putih pada daun sawi oleh penggorok daun/ <i>Liriomyza</i> , (c) gejala puru daun jambu oleh lalat bisul	85
Gambar 6. 2. Ilustrasi perbedaan cara kerja sistemik dan non sistemik	92
Gambar 7. 1. Contoh serangan patogen pada tanaman, <i>Hosta</i> <i>antraknosa</i> menyerang tepi daun sehingga tidak memiliki pigmen (gambar kiri), <i>Botrytis</i> Sp. yang bersporulasi menyebabkan penyakit hawar pada batang (gambar kanan)	100
Gambar 7. 2. Bercak daun yang disebabkan patogen jenis <i>A Alternaria</i> spp. (Gambar kiri); Padi yang menguning dan mengalami stunting yang disebabkan virus <i>Tungru</i>	104
Gambar 7. 3. Perbandingan Pigmen Fotosintesis pada Daun Normal (A,B) dan Daun yang diinfeksi patogen (C,D).....	106
Gambar 7. 4. Sistem respirasi pada sel tumbuhan normal	110
Gambar 7. 5. Penyumbatan pada pembuluh Xylem yang diinfeksi patogen.....	111
Gambar 7. 6. Sel-sel pembuluh floem yang mengalami nekrosis (P).....	113

Gambar 7. 7. Infeksi patogen <i>Funnicia graminis</i> menyerang stomata daun gandum sehingga menghalangi proses transpirasi.....	115
Gambar 7. 8. Kondisi membran sel yang diinfeksi jamur patogen.....	117
Gambar 7. 9. Proses transkripsi dan translasi DNA pada sel Tumbuhan.....	118
Gambar 8. 1. Struktur daun.....	127
Gambar 9. 1. Prinsip utama pengelolaan penyakit tanaman.....	142
Gambar 10. 1. Predator Hama Padi (a. Coccinellidae, b. <i>Faederus fuscipes</i> , c. <i>Oxyopes javanus</i> , d. carabidae).....	171
Gambar 10. 2. Parasitoid (a. <i>Trichogramma sp.</i> dan b. <i>Diadegma semiclausum</i>).....	172
Gambar 10. 3. Nuclear Polyhedrosis Virus.....	173
Gambar 10. 4. Gendawan Entomopatogen (a. <i>B. bassiana</i> dan b. <i>M. anisopliae</i>).....	174
Gambar 10. 5. <i>Bacillus thuringiensis</i>	174

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Predator dan mangsanya.....	56
Tabel 4. 2. Serangga parasitoid dan inangnya.....	57
Tabel 4. 3. Mikroorganisme patogen dan serangga yang diserangnya	59
Tabel 6. 1. jenis hama dan bahan aktif yang digunakan.....	93
Tabel 9. 1. Strategi pengelolaan penyakit tanaman berdasarkan asas-asas epidemiologikal.....	152

BAB 1

PENDAHULUAN PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

Oleh Sutiharni

1.1 Batasan dan Pengertian Hama dan Penyakit Tanaman

Hama dan penyakit tanaman merupakan salah satu organisme pengganggu tanaman di Indonesia. Hama dan penyakit tanaman dianggap sebagai permasalahan utama dalam sistem produksi pertanian di Indonesia yang dapat menyebabkan kehilangan hasil mencapai 30% per tahun. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk mengendalikan hama dan penyakit agar tidak memberikan dampak yang merugikan terhadap hasil panen baik secara kualitas maupun kuantitas (Herlina, 2021).

Upaya penanganan hama dan penyakit sudah biasa dilakukan oleh petani menggunakan berbagai jenis bahan kimia yaitu pestisida, insektisida, fungisida dan bakterisida, namun cara penanganan yang telah dilakukan tersebut tidak menyelesaikan permasalahan hama dan penyakit. Bahkan kemajuan ilmu pengetahuan saat ini telah mengungkap bahwa penggunaan bahan kimia memiliki dampak buruk terhadap lingkungan dan keberlangsungan industri pertanian dan perkebunan. Bahkan mengancam kesehatan petani dan konsumen karena paparan bahan kimia pestisida (Mahyuni, 2015).

Kehilangan hasil pertanian di dunia mencapai sebesar $\pm 33\%$ yang disebabkan oleh gangguan jasad pengganggu seperti hama sebesar 13%, penyakit sebesar 11% dan gulma sebesar 9%

(Natawigena, 2004). Menurut Direktorat Perlindungan Hortikultura, 2005) kehilangan hasil akibat penyakit tumbuhan rata-rata mencapai 11.8% dan karena hama mencapai 12.2 % pada berbagai tanaman penting di seluruh dunia. Kerugian di tingkat petani karena hama dan penyakit tumbuhan pada delapan tanaman hortikultura unggulan tahun 2005 diperkirakan lebih dari Rp. 734 milyar

Diketahui bahwa dinegara-negara yang telah maju menunjukkan angka kehilangan hasil oleh gangguan hama dan penyakit yang lebih kecil. Contoh : di Eropa 25% dan di Amerika 29%. Di negara-negara yang sedang berkembang , angka kehilangan hasil oleh gangguan hama dan penyakit yang lebih kecil seperti di Asia sebesar 43% dan di Afrika 42%. Apalagi di Indonesia yang memiliki iklim dan kelembaban suhu yang tinggi merupakan tempat yang baik bagi perkembangan hama dan penyakit.

Hama dan penyakit seringkali mengakibatkan pertumbuhan tanaman terganggu, bahkan dapat menggagalkan terwujudnya produksi. Hama yang merusak tanaman bisa disebabkan oleh hewan dari kelas rendah sampai dengan hewan kelas tinggi (mamalia). Sedangkan penyakit tumbuhan disebabkan oleh bakteri dan jamur. Kekurangan hara pun termasuk golongan penyakit. Hama dan penyakit, keduanya merupakan penyebab terjadinya kerusakan. Akan tetapi bila dilihat dari penyebab dan hasil kerjanya, maka antara hama dan penyakit memiliki perbedaan. Gangguan hama dan penyakit pada tumbuhan dapat dialami oleh berbagai sistem organ pada tumbuhan. Gangguan ini dapat disebabkan karena kelainan genetik, kondisi lingkungan yang tidak sesuai, atau karena serangan hama dan penyakit. Gangguan hama dan penyakit dalam skala besar pada tanaman budidaya dapat mengganggu persediaan bahan pangan bagi manusia.

1.1.1 Hama Tanaman

Hama merupakan salah satu jenis organisme pengganggu tanaman yang keberadaannya sangat tidak diinginkan karena besarnya kerugian yang ditimbulkan akibat aktivitas hidup dari organisme ini pada pertanaman. Apabila dilihat dalam arti luas, Hama adalah semua bentuk gangguan baik kepada manusia, tanaman, maupun ternak. Namun, dari arti sempit hama adalah semua hewan yang merusak tanaman yang dapat menimbulkan kerugian. Jadi, apabila ada seekor hewan pada tanaman namun tidak menimbulkan kerugian maka hewan tersebut tidak termasuk hama. Hama yang merusak tanaman dapat dilihat secara jelas dari bekasnya (gerekkan atau gigitan). Secara garis besar hewan yang dapat menjadi hama dapat dari jenis serangga, moluska, tungau, tikus, burung, atau mamalia besar. Mungkin di suatu daerah hewan tersebut menjadi hama, namun di daerah lain belum tentu menjadi hama (Dadang : 2006).

Beberapa penulis, yakni Natawigena(1994), Puspita dan Elfina (2004) menuliskan bahwa serangga hama yang dapat menimbulkan kerugian dibidang pertanian,

- a. Serangga yang merusak batang atau ranting tanaman dengan cara melubangi, menggerek, mematahkan, serta melukainya. Contohnya:
 - Ulat *Triporyza innata*, penggerek putih batang padi; *Chilo oryzae* penggerek batang padi bergaris, menyerang tanaman padi; *Agrotis ipsilon*, merusak/menggigit tanaman jagung yang masih muda, termasuk kedalam ordo lepidoptera.
 - Kumbang *Xylabarus coffeae* sebagai hama penggerek cabang atau ranting tanaman kopi; *Lophodaris piperis* menggerek batang/sulur tanaman lada, termasuk kedalam ordo coleoptera.
 - Kutu *Asterolecanium stratam*, kokus batang, termasuk tanaman jeruk dengan menggerogoti bagian batang, termasuk ordo Homoptera.

- Kutu *Pseudococcus citri*, kutu dompolan menyerang bagian tanaman yang masih muda, seperti kuncup bunga, buah muda dari tanaman jeruk dan kopi, termasuk kedalam ordo Homoptera.
- b. Serangga yang merusak daun atau kuncup daun tanaman, dengan cara memakannya atau mengisap cairan makanan yang ada didalamnya, contohnya:
- *Spodoptera litura* atau ulat grayak sebagai perusak daun tembakau; *S. exigua*, menyerang tanaman bawang, cabe dan jagung; *Plutia signata* sebagai perusak daun tembakau; *Arthona cataxantha* sebagai perusak daun kelapa; *Homona cofferia*, penggulung pucuk daun teh; *Plutella xylostella*, ulat daun kubis; semuanya termasuk kedalam ordo lepidoptera.
 - Kumbang *Orictes rhinoceros*, kumbang kelapa menyerang pohon dan daun muda kelapa; *Lasioderma serricorne*, kumbang tembakau, menyerang daun tembakau yang kering yang disimpan digudang; *Brontispa longissima*, merusak daun kelapa; *Epilachna sparsa*, menyerang daun tanaman solanasea dan kukurbitase; semuanya termasuk kedalam Ordo Coleoptera.
 - Wereng Hijau *Nephotettix virescens* merusak daun padi dengan cara mengisap cairannya; *Empoasca flavescens*, perusak daun kapas; *Coccus viridis*, merusak pucuk, daun, juga buah dan tanaman kopi, coklat, jeruk, karet, dan jambu; *Heteropsylla cobana*, kutu loncat lamtoro, perusak daun lamtorogung; *Diaphorina citri* menyerang dan menghisap daun jeruk yang masih muda; *Myzus persicae*, kutu daun persik menyerang/ menghisap daun kentang, cabe, tomat, dan tembakau, termasuk kedalam Ordo Homoptera.
- c. Serangga yang menyerang akar tanaman. Contohnya *macrotermes sp.* rayap yang bisa merusak akar-akar tanaman, misalnya akar tanaman cengkeh.
- d. Serangga sebagai vektor (penular) penyakit tanaman, virus dan bakteri contohnya:

- *Nilaparvata lugens* (wereng coklat) dan *Nephotettix apicalis* (wereng hijau), menularkan virus kerdil rumput dan virus tungro, termasuk ordo Homoptera.
 - *Diaphorina citri* kutu ini disamping merusak tanaman jeruk dengan cara mengisap cairan daun muda, juga dapat menularkan daun penyakit CVPD (*Citrus Vein Phloem Degeneration Disease*), termasuk ordo Homoptera.
- e. Serangga perusak atau pemakan hasil pertanian atau biji-bijian yang disimpan digudang, contohnya :
- Kumbang *Sithophilus oryzae*, *S. zeamais*, *Tribolium castaneum*, *Trigoderma granarium*, merupakan hama perusak hasil pertanian yang disimpan digudang, seperti biji jagung, gabah, tepung terigu, kopra, kacang hijau dan lain-lain, termasuk kedalam ordo Coleoptera.

1.1.2 Penyakit Tanaman

Penyakit tanaman adalah kondisi dimana sel dan jaringan tanaman tidak berfungsi secara normal yang ditimbulkan karena gangguan secara terus menerus oleh agen pathogen atau faktor lingkungan dan akan menghasilkan perkembangan gejala (Agrios: 2005). Sedangkan menurut Rahmat dan Sugandi (2005), bahwa Penyakit tanaman adalah sesuatu yang menyimpang dari keadaan normal, cukup jelas menimbulkan gejala yang dapat dilihat, menurunkan kualitas atau nilai ekonomis, dan merupakan akibat interaksi yang cukup lama. Jadi dapat disimpulkan, Penyakit tanaman merupakan sebuah kondisi dimana tanaman terganggu namun bukan berasal dari gangguan hama, melainkan karena jamur, virus, maupun bakteri yang pada akhirnya juga dapat merugikan manusia. Tanaman yang terkena penyakit dapat terlihat jelas karena mengalami kerusakan sel atau bahkan matinya sel dalam tanaman.

Penyakit tanaman biasanya disebabkan oleh faktor biotik dan faktor abiotik. Penyakit tanaman yang disebabkan oleh faktor biotik ialah penyakit yang diakibatkan oleh organisme-pengganggu (cendawan, bakteri, dll), biasanya gejala kerusakan rata pada satu hamparan tanaman. Sedangkan penyakit tanaman yang disebabkan oleh faktor abiotik ialah merupakan gejala serangan yang cenderung tidak merata, dan kerusakan yang timbul akibat terlalu lembab, atau terlalu kering (Raupach *et al.* - 2011). Penyakit tanaman disebabkan oleh patogen (penyebab penyakit), berupa bakteri, jamur, virus, nematoda, rickettsia, dan mikroorganisme lainnya. Beberapa penulis yakni Natawigena (2004), Puspita dan Elfina 2004) dan Agrios (2005) mengemukakan beberapa contoh penyakit yang disebabkan oleh bakteri, jamur, virus, Myoplasmalike organisme (MLO) dan bakteri like organisme (BLO), nematoda dan penyakit fisiologis sebagai berikut.

Beberapa contoh penyakit yang disebabkan oleh bakteri, jamur, diantaranya :

a. *Pseudomonas solanacearum*

Menyebabkan: Penyakit layu pembuluh atau layu bakteri, keadaan tanaman layu sebagian, kemudian seluruhnya. Serangan mulai dari akar. Tanaman inang : kentang, tomat

b. *Erwinia caratovora*

Menyebabkan : Penyakit busuk lunak terjadi pembusukan dari bagian tanaman yang kena luka dengan mengeluarkan bau.

Tanaman inang : kubis, kentang, tomat.

c. *Streptomyces ipomea*

Menyebabkan : Penyakit busuk ubi. Tanaman inang : ubi jalar

d. *Xanthomonas citri*

Menyebabkan : Penyakit kanker jeruk, pada permukaan daun dan buah tampak bercak-bercak lama-lama menguning, ditengahnya bergabus kecoklat-coklatan.

e. *Xanthomonas campestris*

Menyebabkan : Penyakit busuk hitam (*Blackrot*), mula-mula pada daun, tulang daun sampai batang. Gejala serangan pada daun berwarna hitam berbentuk huruf v. Tanaman inang : kubis

f. *Xanthomonas oryzae*

Menyebabkan : Penyakit kresek, menyerang pada persemaian dan pada tanaman, daun berubah warna, dari hijau menjadi kekuning-kuningan seperti mengering kena panas, yang menjalar dari ujung kebawah. Tanaman inang : Padi.

Beberapa contoh penyakit yang disebabkan oleh jamur, antara lain :

- a. Jamur penyebab busuk buah dan cabang pada tanaman buah-buahan seperti *Monilia fructigena*.
- b. Jamur penyebab busuk basah (*late blight*) pada kentang dan tomat seperti *Phytophthora infestans*.
- c. *Cercospora sp* dan *Curvularia sp* penyebab penyakit bercak daun kelapa sawit
- d. Jamur penyebab *damping off* pada tanaman muda atau dipersemaian yaitu: *Phytlum sp*.
- e. Jamur *Erysiphe cichroracearum* dan *Sphaerotheca fulligena* yang biasa menyerang tanaman mentimun dan melon. Penyakit yang disebabkan kedua jamur ini disebut penyakit embun tepung.
- f. *Pseudoperonospora sp*, penyebab penyakit "embun bulu" (*downy mildew*) pada cucurbita (waluh Besar), menyerang permukaan bagian bawah dan dengan warna keputih-putihan.
- g. Jamur penyebab cacar (*blister blight*) pada daun teh, yaitu: *Exobasidium vexans*. Pada daun-daun muda yang terserang terdapat bercak-bercak hijau kekuning-kuningan, melengkung dan membentuk cacar (*gall, blister*).

- h. Jamur penyebab *early blight* pada tanaman kentang dan tomat yaitu *Alternaria solani*.
- i. Jamur *Pyricularia oryzae* penyebab busuk daun (*rice blast*) atau busuk leher (*neck rot*) yaitu leher malai padi menjadi kisut, bulir padi hampa.
- j. Jamur *Ganoderma pseudoferum* penyebab penyakit bercak-bercak tidak teratur, kelabu sampai coklat pada permukaan daun. Tanaman inang: Cengkeh
- k. Jamur *Hemileia vastatrix* (Basidiomycetes), penyebab penyakit karat daun kopi. Tanda-tandanya, pada posisi bawah daun yang semula berwarna kuning muda kemudian menjadi kuning tua. Tanaman inang: kopi
- l. Jamur *Phytophthora palmivora*, penyebab penyakit busuk kaki, mula-mula daun menguning, kemudian hitam, dan gugur mulai dari bawah. Tanaman inang: lada.
- m. Jamur *Phytophthora nicotiana*, penyebab penyakit lanas. Tanda-tandanya, pada tanaman yang sudah tua terdapat pembusukan, terbatas pada leher akar, semua daun layu. Tanaman inang: Tembakau

Beberapa contoh penyakit yang disebabkan oleh virus, diantaranya:

- a. Penyakit kerdil rumput (*Grassy stunt*) pada tanaman padi.
- b. Penyakit "mozaik" (daun belang, kekuning-kuningan dengan ukuran tidak normal) pada kacang tanah.
- c. Penyakit "*Tobacco mosaic virus*" (TMV) pada tembakau.
- d. Bakteriofage, yaitu sejenis virus yang menyerang bakteri.

Beberapa contoh penyakit yang disebabkan MLO dan BLO antara lain:

- a. MLO
 - Penyakit kerdil kuning pada padi (*rice yellow dwarf*).

- Penyakit sapu (bunga berubah bentuk menjadi daun-daun kecil) menyerupai bentuk sapu, dengan buku-buku yang pendek, misalnya pada tanaman kacang tanah (*witches broom*).

b. BLO

Mikroorganisme yang ada diantara bakteri dan mycoplasma tetapi lebih mendekati bakteri, misalnya CVPD.

Beberapa contoh penyakit yang disebabkan nematoda parasit tanaman diantaranya :

- a. Busuk akar (*root rot*). Akar menjadi busuk karna serangan nematoda yang diikuti oleh serangan bakteri atau jamur, misalnya serangan *Meloidogyne spp* yang diikuti oleh serangan bakteri *Pseudomonas sp* dan jamur *Fythium sp*.
- b. Bengkak akar (*root knot*) misalnya bengkak akar pada umbi kentang dan akar tomat yang disebabkan oleh serangan nematoda *Meloidogyne spp* (yang disebut *root knot nematode*)
- c. Luka akar (*root lesion*). Kortek akar yang diserang menimbulkan luka yang berwarna gelap kecoklat-coklatan disekitar jaringan yang diserang, misalnya akibat serangan *Pratylenchus spp* (*root lesion nematode*)
- d. Benjolan (*gall*) pada akar, batang, daun. Daun mengeriting dan layu. Merupakan salah satu gejala akibat serangan nematoda.

Beberapa contoh penyakit-penyakit fisiologis yaitu:

- a. Keadaan tanah. Misalnya:
 - Kekurangan unsur hara dalam tanah (N.P.K dan unsur mikro) atau "defenisi unsur hara".
 - Keasaman tanah yang berlebihan
 - Struktur tanah, berpengaruh terhadap aerasi, kandungan air dan penetrasi akar.

b. Keadaan cuaca, misalnya:

- Sinar matahari, penting untuk fotosintesis, juga bisa menimbulkan kekeringan tanaman.
- Suhu, yang ekstrim membahayakan tanaman, suhu yang sangat dingin dapat menyebabkan "Frost".
- Angin, dapat menyebabkan kerusakan mekanik, kekeringan.
- Air, bila tanaman kekurangan air, tanaman bisa layu kemudian mati. Demikian pula bila keadaan berlebihan, tanaman terbenam dalam waktu cukup lama sehingga tanaman bisa mati.

c. Perlakuan pertanian, misalnya:

- Kerusakan mekanik oleh alat-alat pertanian.

1.2 Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman

Dalam menentukan suatu teknik atau strategi pengendalian, hal yang penting untuk diketahui yaitu jenis OPT yang akan kita kendalikan dan bioekologinya. Menurut Dadang (2006) dan Utoyo (2021), ada beberapa teknik pengendalian hama dan penyakit tanaman yang dapat dilakukan yaitu:

1.2.1 Pengendalian Secara Fisik

Pengendalian hama secara fisik merupakan upaya atau usaha dalam memanfaatkan atau mengubah faktor lingkungan fisik sehingga dapat menurunkan populasi hama dan penyakit. Tindakan pengendalian hama secara fisik dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu : pemanasan, pembakaran, pendinginan, pembasahan, pengeringan, lampu perangkap, radiasi sinar infra merah, gelombang suara dan penghalang/pagar/barier.

- a. Pengumpulan kelompok telur pada beberapa serangga yang memang cara peletakan telurnya secara berkelompok seperti serangga Spodoptera litura dan Nezara viridula.

- b. Pemangkasan. Tindakan pemangkasan selain dapat meningkatkan produktivitas tanaman, namun juga dari segi pengendalian hama dan penyakit tampaknya sangat penting dilakukan.
- c. Membakar bagian tanaman terinfeksi. Beberapa patogen tanaman dapat menular karena beberapa faktor seperti angin dan lain-lain. Tindakan membakar tanaman yang sakit sangat penting untuk mencegah penularan patogen pada tanaman sehat lainnya.
- d. Penggunaan perangkap cahaya (Light Trap). Beberapa serangga aktif di malam hari dan mereka sering tertarik cahaya. Melalui pemasangan perangkap cahaya pating tidak dapat mengetahui populasi di (apangan hama tersebut tinggi atau rendah dan sekaligus mengurangi populasi jika banyak yang terperangkap. Pemasangan perangkap cahaya untuk serangga Parasa lepida cukup efektif dalam mengurangi jumlah ngengat terbang dan juga sebagai tindakan antisipasi untuk penerapan strategi pengendalian yang lain.
- e. Penggunaan sticky trap. Prinsipnya sama dengan penggunaan perangkap cahaya namun banyak diarahkan untuk serangga terbang dan serangga berukuran kecil.



Gambar 1.1. Sticky Trap

1.2.2 Pengendalian Secara Mekanik

Pengendalian hama dan penyakit secara mekanik yaitu pengendalian yang dilakukan secara manual oleh manusia. Pengendalian secara mekanik dapat dilakukan dengan cara yang sederhana, membutuhkan tenaga kerja yang banyak dan waktu yang lama, efektifitas dan efeslensinya rendah, tetapi tidak berpengaruh negatif terhadap lingkungan. beberapa contoh tindakan secara mekanik dalam pengendalian hama antara lain sebagai berikut :

- a. Pengumpulan hama dan telurnya menggunakan tangan.
- b. Rogesan, yaitu pemotongan pucuk tebu yang terserang penggerek pucuk tebu (*schirpophaga nivella*).
- c. Memangkas cabang, ranting atau bagian tanaman lainnya yang terserang hama atau penyakit.
- d. Rampasan, yaitu pengumpulan seluruh buah ketika terjadi serangan berat penggerek buah kopi (*stephanoderes hampei*).



- e. Gropyokan, yaitu perburuan hama tikus di suatu daerah yang luas secara serentak.
- f. Pemasangan perangkap hama, seperti pemasangan perangkap kuning feromon



- g. Pembungkusan buah : Buah manga, jambu, pepaya, dll.



1.2.3 Pengendalian Kultur Teknik

Pengendalian hama dan penyakit secara kultur teknik yaitu pengendalian hama dan penyakit melalui sistem atau cara dalam bercocok tanam. Beberapa tindakan dalam cara bercocok tanam yang dapat mengurangi atau menekan populasi dan serangan hama antara lain sebagai berikut :

- a. Mengurangi kesesuaian ekosistem hama dengan melakukan sanitasi, modifikasi inang, pengelolaan air, dan pengolahan lahan.

- b. Mengganggu kontinuitas penyediaan keperluan hidup hama, yaitu dilakukan dengan cara pergiliran tanaman, pemeroan dan penanaman serempak pada suatu wilayah yang luas, dalam hal ini ketersediaan air karena pada awal penanaman jarak pagar ketersediaan air sangat penting
- c. Pengalihan populasi hama menjauhi pertanaman, misalnya dengan menanam tanaman perangkap, tumpang sari. Semakin beragamnya jenis tanaman dalam suatu ekosistem memungkinkan semakin beragam juga serangga dan terutama musuh alaminya.
- d. Pengurangan dampak kerusakan oleh hama dengan cara mengubah toleransi inang.
- e. Pemangkasan. Pada kegiatan pemangkasan ini hama yang terdapat pada tanaman dapat ikut terbawa/dimusnahkan
- f. Jarak tanam. Jarak tanam yang terlalu rapat dapat mempermudah penyebaran suatu hama ke tanaman di sebelahnya
- g. Sterilisasi tanah. Hama-hama dari golongan lundir dan ulat tanah yang menyerang tanaman pada fase pembibitan biasanya hidup di dalam permukaan tanah sehingga sterilisasi tanah ini dapat menurunkan populasi hama-hama ini di dalam tanah
- h. Sanitasi. Ada beberapa hama yang mampu bertahan hidup pada gulma-gulma di sekitar tanaman sebagai tanaman alternatif, sehingga sanitasi lahan dari sisa-sisa tanaman yang terinfeksi hama maupun dari gutma sekitar diharapkan dapat menurunkan tingkat populasi dan serangan hama.

1.2.4 Pengendalian dengan Varietas Tahan

Yaitu mengurangi atau menekan populasi hama, serangan dan tingkat kerusakan tanaman dengan menanam varietas yang tahan hama ataupun penyakit. Teknik ini sudah sejak lama diterapkan oleh petani. Keuntungan teknik ini adalah tidak membutuhkan biaya yang mahal, efektif dan aman bagi lingkungan. Akan tetapi pengendalian dengan varietas tahan juga memiliki

kelemahan dan kekurangan, yaitu harga benih/bibit yang mahal. Jika ditanam dalam jangka waktu yang panjang, sifat ketahanannya patah.

1.2.5 Pengendalian Secara Hayati

Pengendalian secara hayati adalah pengendalian hama atau penyakit dengan memanfaatkan agens hayati (musuh alami) yaitu predator, parasitoid, maupun patogen hama. Contohnya adalah sebagai berikut :

- a. Predator (binatang yang ukuran tubuhnya lebih besar sebagai pemangsa yang memakan binatang yang lebih kecil sebagai mangsa) ; contohnya memanfaatkan ujar sebagai predator hama tikus atau kumbang *coccinellid* sebagai pemangsa kutu daun.
- b. Parasitoid (binatang yang hidup diatas atau didalam tubuh binatang lain yang lebih besar yang merupakan inangnya) ; contoh *trichoderma sp.* sebagai parasit telur penggerek batang padi.



- c. Patogen hama (mikroorganisme penyebab penyakit organisme hama), organisme tersebut meliputi nematoda, protozoa, rikettsia, bakteri atau virus ; contoh *paecilomyces sp.* jamur patogen telur nematoda puru akar.

Tentu saja agar musuh alami itu dapat beradaptasi di lingkungan perlu disediakan sumber-sumber kehidupan bagi musuh alami tersebut, salah satunya adalah tanaman berbunga sebagai sumber makanan musuh alami terutama parasitoid. Dengan demikian penanaman tanaman membantu dalam konservasi musuh alami karena pada umumnya parasitoid sangat membutuhkan nektar sebagai sumber makanannya.

1.2.6 Pengendalian Dengan Peraturan/ Regulasi/ Karantina

Pengendalian dengan peraturan perundangan yaitu pencegahan penyebaran / perpindahan dan penularan organisme pengganggu tanaman melalui kebijakan perundangan yang ditetapkan oleh pemerintah. Dasar hukum pencegahan dengan peraturan adalah sebagai berikut :

- a. UU no. 16 th 1992 : karantina hewan, ikan dan tumbuhan
- b. PP no. 6 th 1995 : perlindungan tanaman
- c. PP no. 14 th 2000 : karantina tumbuhan

Contoh pengendalian hama dengan peraturan adalah pelarangan pengiriman benih kentang dari batu, malang ke daerah lain yang belum terserang nematoda sista kentang (*globobera rostochiensis*).

1.2.7 Pengendalian Secara Kimiawi

Pengendalian hama dan penyakit tanaman secara kimiawi menggunakan pestisida sintetis kimia adalah alternatif terakhir apabila cara-cara pengendalian yang lain tidak mampu mengatasi peningkatan populasi hama yang telah melampaui ambang kendali. Tujuan penggunaan pestisida merupakan koreksi untuk menurunkan populasi hama atau penyakit sampai pada batas keseimbangan, penggunaan pestisida juga harus tepat sasaran, tepat dosis dan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N., (2005). Plant Pathology. Fifth Edition. USA : Elsevier Academic Press. 922 p.
- Dadang (2006). Pengendalian Terpadu Hama Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn.). Workshop Hama dan Penyakit Tanaman Jarak. Potensi Kerusakan dan Pengendaliannya. Bogor 5-6 Desember 2006.
- Direktorat Perlindungan Hortikultura. (2005). Pertanian Tanaman Pangan. Departemen Pertanian. Jakarta
- Elfina, Y. S dan Puspita, F., (2004). Pengendalian Hama Terpadu. Faperika Press Universitas Riau, Pekanbaru.
- Herlina, N. (2021). *Ilmu Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman IPB University Jadi Trendsetter di Indonesia.*
<http://www.dikti.kemdikbud.go.id/kabardikti/kampuskita/filmu-pengendalian-hama-dan-penyakit-tanamanipbuniversity-jadi-trendsetter-di-indonesia/>
- Mahyuni, E. L (2014). Faktor Risiko Dalam Penggunaan Pestisida Terhadap Keluhan Kesehatan Pada Petani Di Kecamatan Berastagi Kabupaten Karo. *Kesmas*. 9(1), 79-89.
- Natawigena, Hidayat. (1993). Dasar-Dasar Pelindungan Tanaman. Trigenda Karya, Bandung.
- Rahmat Rukmana dan Sugandi Saputra., (2005). Penyakit tanaman dan Teknik Pengendalian, Kanisius, Yogyakarta.
- Raupach, G.S. and Kloeppe, J.W. (2000). Biocontrol of Cucumber Diseases in the Field by Plant Growth Promoting Rhizobacteria With and Without Methyl Bromide Fumigation. *Plant Dis.* Vol 84:1073-1075.
- Utoyo. (2021). Sistem Pengendalian Hama Terpadu (PHT).
<https://maluku.litbang-pertanian.go.id/?p=7727>

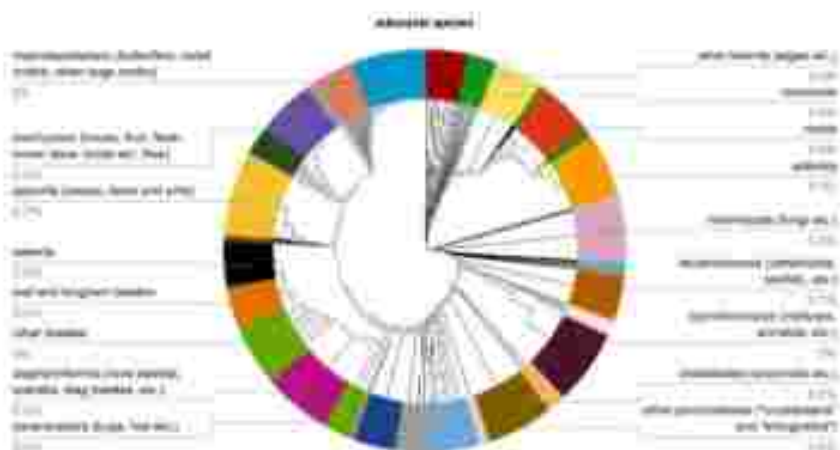
BAB 2

KONSEP EKOLOGI DAN BIOLOGI HAMA

Oleh Jefri Sembiring

2.1 Ekologi

Ekologi adalah bidang ilmu yang mempelajari bagaimana organisme atau kelompok organisme berinteraksi dengan lingkungannya. Ekologi dan ekosistem tidak sama, walau banyak orang menganggapnya sama, Ekologi berasal dari kata Yunani oikos, yang berarti habitat, dan logos yang berarti pengetahuan. Ekologi biasanya didefinisikan sebagai "ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme atau kelompok organisme dengan lingkungannya" (Rasidi, Suswanto & Ischak 2008). Ekologi adalah bagian dari biologi, tetapi tidak dapat dipisahkan dari bidang lain seperti ilmu lingkungan, fisika, kimia, dan lain sebagainya. Karena berbagai faktor fisik seperti suhu, kelembapan, cahaya, curah hujan, dan faktor fisik lainnya banyak digunakan dalam penelitian ekologi maka fisika sangat penting dalam ekologi. Pendekatan sistem muncul sebagai hasil dari adopsi ekosistem yang melibatkan penggunaan model matematika untuk menjelaskan suatu ekosistem yang lebih sederhana atau mengantisipasi perubahan dimasa depan terutama meramalkan lonjakan hama pada suatu lahan pertanian (Al Hakim, 2022).



Gambar 2. 1. Spesies Ekaryote

Sumber: File:Ekaryote species pie tree.png - Wikipedia

Meskipun serangga memiliki peran yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia, masyarakat umum kurang memahami peran serangga. Beberapa orang bahkan menganggap serangga tidak penting atau dipandang negatif. Banyak serangga bermanfaat bagi kehidupan manusia, tetapi ada juga yang merugikan. Jika serangga musnah dari bumi ini, mungkin tidak akan ada manusia. Ini karena serangga memainkan peran penting dalam ekosistem dan tidak dapat digantikan oleh makhluk hidup lain. Misalnya, di ekosistem hutan hujan tropis, peran serangga sebagai pengurai seresah di permukaan hutan sangat penting untuk keseimbangan ekosistem (Hasyimuddin, Syahribulan and Usman, 2017)(Forces and Management, 2019). Adanya serangga akan menyebabkan sistem di lingkungan yang memungkinkan keberlangsungan hidup manusia. Serangga memiliki banyak manfaat bagi manusia dan lingkungan, seperti sebagai penyerbuk bunga, makanan, produk, musuh alami, pemusnah gulma, pengurai, dan nilai seni serta pembelajaran.



Gambar 2. 2. Serangga pengurai

Sumber: <https://espacepourlavie.ca/en/decomposers-and-tillers-insects>

Ekologi terkait erat dengan berbagai tingkat organisasi makhluk hidup, seperti individu, populasi, komunitas, ekosistem, bioma, dan biosfer. Ini saling mempengaruhi dan merupakan sistem yang menunjukkan kesatuan (Djohar Maknun, 2017). Individu adalah kelompok organisme yang hidup di lingkungan tertentu dari setiap jenis atau spesies tertentu. Semua makhluk hidup seperti ikan dan burung, adalah contoh individu. Populasi adalah kelompok individu yang tinggal di suatu tempat pada waktu tertentu, seperti populasi manusia, burung, rumput, dan sebagainya. Komunitas adalah kelompok populasi makhluk hidup yang berinteraksi satu sama lain pada titik tertentu, seperti padang rumput, di mana populasi rumput, belalang, burung, ular, dan lainnya tinggal bersama. Contoh ekosistem adalah hutan dan laut, di mana makhluk hidup saling bergantung dan berinteraksi satu sama lain. Semua kehidupan berada di biosfer, tingkat organisasi biologi yang paling besar, di mana terjadi interaksi antara lingkungan fisik secara keseluruhan. Lanskap ekologi berkonsentrasi pada komponen yang mengontrol pertukaran energi, materi, dan organisme (Boyle *et al.*, 1996) (Al Hakim, 2022).

2.1.1 Konsep ekologi

Ekologi adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya. Ada beberapa konsep yang menjadi bagian dari ekologi, yaitu:

1. Lingkungan Hidup

Organisme dipengaruhi oleh lingkungan yang merupakan sistem yang kompleks di luar individu. Ada dua jenis lingkungan: abiotik dan biotik. Komponen abiotik mencakup benda mati yang mempengaruhi seluruh makhluk hidup, seperti air, suhu, udara, tanah, sinar matahari, dan topografi. Komponen biotik mencakup seluruh makhluk hidup, seperti tumbuhan, hewan, dan manusia. Biotik terbagi menjadi tiga kelompok berdasarkan peran mereka dalam ekosistem: produsen, konsumen, dan pengurai (Ramli utina, 2009).

2. Ekosistem

Setiap ekosistem memiliki struktur dan fungsinya sendiri. Keanekaragaman hayati adalah strukturnya, dan aliran material dan energi melalui komponennya adalah fungsinya. Odum (1971) mendefinisikan ekosistem sebagai kumpulan semua organisme hidup (komunitas) yang terletak di suatu wilayah tertentu dan berinteraksi satu sama lain sedemikian rupa sehingga energi mengalir. Jumlah serangga dapat dipengaruhi oleh fluktuasi habitat. Untuk contoh, irigasi yang baik pada lahan tanaman dapat meningkatkan populasi serangga tertentu, yang merupakan hama utama. Konsentrasi oksigen dalam air memengaruhi populasi capung; jumlah oksigen meningkat tetapi dapat dikurangi oleh eutrofikasi danau dan sungai, sedangkan populasi Chironomid meningkat ketika konsentrasi oksigen rendah (Hasyimuddin, Syahribulan and Usman, 2017) (Glime, 2015).

3. Interaksi

Ekologi mempelajari interaksi antara organisme hidup dan interaksinya dengan komponen abiotik. Dalam bentuk interaksi ini, organisme beradaptasi untuk memanfaatkan lingkungannya. Interaksi selalu berkaitan dengan materi dan

energi karena makhluk hidup selalu membutuhkan energi dan materi untuk kelangsungan hidupnya.

4. Suksesi

Suksesi adalah proses perubahan yang terjadi dalam suatu komunitas sebagai akibat dari perubahan lingkungan secara bertahap dengan tujuan mencapai kestabilan. Proses suksesi ini berlanjut hingga mencapai klimaks, yaitu ketika suatu komunitas mencapai titik keseimbangan. Suksesi terdiri dari dua jenis: suksesi primer dan suksesi sekunder. Suksesi primer terjadi setelah gangguan ekosistem yang signifikan yang menghancurkan komunitas yang ada. Suksesi sekunder terjadi pada ekosistem yang rusak, tetapi tidak sepenuhnya atau dengan kata lain sebagian kecil yang tersisa. Keberlanjutan, interaksi, ketergantungan, keanekaragaman, dan harmoni adalah prinsip dasar ekologi (Begon, M., 1996)(Joseph, Hudson and Kristine Braman, 2018).

2.1.2 Manfaat ekologis

Manfaat ekologis bagi manusia:

1. Mengetahui keanekaragaman hayati.

Ekologi membantu manusia memahami berbagai makhluk hidup dan hubungan antara makhluk hidup dan lingkungannya. Keanekaragaman hayati penting untuk keberlanjutan ekosistem.

2. Memahami tingkah laku makhluk hidup:

Ekologi berguna untuk memahami perilaku makhluk hidup dan hubungannya dengan lingkungan. Agar makhluk hidup dapat bertahan dalam kondisi yang berubah-ubah, mereka harus mengadaptasi diri. Ada tiga kategori adaptasi: adaptasi morfologi, adaptasi fisiologi dan adaptasi tingkah laku.

3. Memetakan rantai makanan

Ekologi berguna untuk memetakan rantai makanan dan memahami struktur serta luas pola makan setiap makhluk hidup. Secara sederhana, rantai makanan dapat digambarkan sebagai rantai runtut dari produsen, konsumen, dan pengurai.

4. Mengendalikan ledakan hama dan penyakit tanaman.

Pengendalian hama terpadu menggunakan musuh alami. Ini dilakukan dengan melakukan rekayasa ekologi untuk membuat habitat yang cocok untuk musuh alami melalui keberadaan tanaman refugia seperti rumput-rumputan, bunga-bungaan, dan tanaman lainnya di agroekosistem. Tahapan rekayasa ekologi biasanya dimulai dengan mengidentifikasi spesies hama utama tanaman dan mungkin spesies tanaman refugia yang akan ditanam di agroekosistem (Jeremy Allison, Tomothy Paine, 2013).

2.2 Biologi Hama

2.2.1 Peran serangga dalam kehidupan manusia.

Serangga sangat penting untuk industri pertanian, perikanan, dan peternakan. Serangga menggunakan tumbuhan sebagai sumber makanan, tempat berlindung, dan tempat perkembangbiakannya. Serangga dapat memakan tanaman, termasuk pucuk, daun, batang, akar, dan buah, jadi pada umumnya manusia khawatir jika ada serangga di tanaman atau lahan pertanian khususnya tanaman yang ditanam. Beberapa serangga juga mengeluarkan cairan yang beracun untuk tanaman.

Tumbuhan disebut "inang". Ada dua jenis inang: **inang primer** (inang yang paling disukai) dan **inang alternatif** (inang untuk bertahan hidup). Kisaran inang hama didefinisikan sebagai jumlah tanaman inangnya. Serangga dengan kisaran inang yang

luas disebut **europhagous**, dan serangga dengan kisaran inang yang sempit disebut **stenophagous**. Polifag adalah hama dengan kisaran inang yang luas yang terdiri dari berbagai famili tumbuhan, sedangkan monofag adalah hama dengan kisaran inang yang hanya terdiri dari beberapa marga tumbuhan (Jeremy Allison, Tomothy Paine, 2013). Serangga herbivora memakan tumbuhan, omnivora memakan daging dan tumbuhan, dan karnivora memakan daging.



Gambar 2. 3. Serangga penyerbuk

Sumber: <https://australian.museum/learn/teachers/learning/bugwise/predicting-insect-pollinators-stage-4/>

Serangga dapat berfungsi sebagai fitofag, predator, parasitoid, penyerbuk, dan vektor penyakit tanaman di bidang pertanian. Sebagai serangga fitofag menyerang tanaman dengan menggigit dan mengunyah (*tipe mulut mandibulata*) atau menusuk dan menghisap (*tipe mulut haustelata*). Jika kerusakan yang ditimbulkannya merugikan secara finansial, serangga fitofag ini dianggap *hama* (Herlinda *et al.*, 2021). Serangga predator memainkan peran penting dalam mengendalikan populasi hama. Serangga predator memakan mangsanya dengan menggigit, mengunyah, atau menusuk dan menghisapnya. Parasitoid Hymenoptera dan Diptera juga membantu menekan populasi hama dengan menghisap cairan tubuh serangga.

Serangga penyerbuk tanaman memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Tidak adanya serangga penyerbuk dapat mengakibatkan produksi buah dan biji-bijian yang lebih rendah. Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera, dan Coleoptera adalah beberapa ordo serangga yang banyak berfungsi

sebagai penyerbuk. Serangga memenuhi kebutuhan protein dan karbohidrat ternak atau ikan, sehingga dapat digunakan sebagai sumber makanan dalam budidaya perikanan dan peternakan (Glime, 2015) (Forces and Management, 2019) (Arnold van Huis *et al.*, 2013).



Gambar 2. 4. *Bombyx mori*

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Bombyx_mori#/media/File:Paired_moths.jpg



Gambar 2. 5. Lebah madu

Sumber: <https://www.eabidigitalibrary.org/doi/full/10.1079/eabicompendium.6352>



Gambar 2. 6. Serangga sebagai vektor

Sumber: <http://genent.cals.ncsu.edu/insect-pests/plant-pests/plant-disease-vectors/>

Serangga juga sangat penting bagi industri. Ulat sutera (*Bombyx mori*) dapat menghasilkan sutra untuk industri pakaian. Kumbang lak (*Laccifer lacca* Kerr) juga sangat penting dalam berbagai industri, seperti industri farmasi atau resin. Jenis lebah penyengat termasuk lebah tak bersengat dan *Apis cerana* dan *Apis mellifera* (Sayusti et al., 2021) yang menghasilkan madu (Peh, Corlett and Bergeron, 2015).

2.2.2 Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan serangga sangat erat dan kompleks satu sama lain. Salah satu dari dua kategori besar pengaruh yang dimiliki serangga adalah faktor internal atau intrinsik yang lain adalah faktor eksternal atau lingkungan (Begon, Harper, dan Townsend, 1986). Faktor internal berasal dari dalam tubuh serangga dan mencakup: a) kepribadian, b) sifat pertahanan diri, c) rasio jenis kelamin, d) siklus hidup, dan e) umur imago. Faktor luar berasal dari lingkungan di luar tubuh serangga, termasuk a) faktor fisik, b) faktor biotik, dan c) faktor nutrisi. Faktor fisik termasuk suhu, kelembapan, hujan, cahaya, warna, dan bau. Faktor biotik termasuk predator. Kualitas dan kuantitas makanan adalah komponen gizi (Price, 1997) (Boyle et al., 1996).

1. Faktor Fisik

Faktor fisik terbatas pada cahaya, curah hujan, angin, suhu, dan kelembapan. Setiap serangga memiliki rentang suhu di mana mereka dapat bertahan hidup. Serangga yang hidup di lingkungan tropis lebih tahan terhadap suhu rendah daripada serangga yang hidup di lingkungan subtropis. Pada suhu terendah, perkembangan serangga melambat meskipun masih hidup; kondisi ini disebut diapause (Mason and McDonough, 2011).

Pada umumnya diketahui bahwa suhu antara 15°C dan 50°C memengaruhi kehidupan serangga di alam. Sebagai contoh, iklim memengaruhi pertumbuhan populasi kutu-

kutuan. Selama musim kemarau, populasi biasanya meningkat, tetapi pertumbuhannya memerlukan lingkungan yang lembab dan basah, sedangkan curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan banyak kematian. Udara mempercepat penyebaran kutu-kutuan dari satu tempat ke tempat yang lain. Kehidupan serangga dipengaruhi oleh kelembapan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam lingkungan kering, serangga biasanya memanfaatkan air secara efektif atau menggunakan kembali air yang dihasilkan dari metabolisme. Oleh karena itu, kelembapan harus dianggap sebagai keadaan yang dibutuhkan organisme untuk melakukan proses fisiologis di dalam tubuh. Kelembapan, sebagai komponen lingkungan, berperan penting dalam mengubah suhu tubuh serangga dengan mengurangi evapotranspirasi (Glime, 2015) (Begon, M., 1996).

Air juga sangat penting untuk semua proses jaringan tubuh serangga. Karena itu organisme tidak dapat hidup tanpa air. Serangga tidak hanya mengonsumsi air dari lingkungannya, tetapi juga mengeluarkannya dari tubuhnya melalui proses penguapan dan ekskresi. Kebutuhan air serangga dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh lingkungan tempat tinggal mereka, terutama kelembapan udara. Ada korelasi yang signifikan antara kondisi habitat serangga yang basah dan ketahanan mereka terhadap kekeringan. Secara umum, kelembapan memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan aktivitas serangga secara langsung atau tidak langsung.

Toleransi serangga terhadap kelembapan sangat bervariasi tergantung pada spesiesnya dan tahap perkembangan. Namun, kisaran toleransi terbaik untuk kelembapan adalah antara 73 % dan 100 %. *Scirpophaga innotata* biasanya tersebar di dataran rendah dengan curah hujan kurang dari 200 mm dari Oktober hingga November.

Kondisi iklim dan pola makan memengaruhi perkembangan populasi *Helopeltis* sp. Iklim yang sangat kering atau hujan lebat menghambat pertumbuhan, sedangkan iklim yang lembab merangsang pertumbuhan. Perkembangan dan pertumbuhan dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi iklim musim tersebut.

Hujan dapat memengaruhi populasi serangga hama secara langsung. hujan yang deras menyebabkan banyak serangga mati. Tetesan air hujan yang memengaruhi serangga atau tempat tinggalnya disebut dampak langsung. Kutu daun yang berada di bagian batang atau ranting dapat jatuh dan mati, menyebabkan penurunan populasi yang besar (Peh, Corlett and Bergeron, 2015) (Mason and McDonough, 2011).

Kehidupan serangga dapat dibantu, dihambat, atau ditingkatkan oleh perbedaan kelembapan udara dan tanah. Angin mempengaruhi metabolisme serangga dan dapat menyebarkan serangga. Selain itu, radiasi matahari adalah sumber utama panas dan cahaya alam. Intensitas dan panjang gelombang cahaya di lingkungan serangga memengaruhi perilaku mereka pada siang hari dan malam hari. Sebaliknya, ada serangga yang berhenti bekerja di bawah pencahayaan tertentu. Suhu tubuh serangga di tempat teduh tidak banyak berubah, tetapi suhunya yang terkena radiasi naik dengan cepat dari 27,6 °C menjadi 42,7 °C. Untuk menghindari panas tubuh, serangga mencari perlindungan di tempat yang teduh (Herlinda *et al.*, 2021).

2. Faktor Makanan (Nutrisi)

Kuantitas dan kualitas makanan atau faktor nutrisi mempengaruhi kehidupan serangga. Makanan yang melimpah dapat menyebabkan banyak serangga di ekosistem. Sebagai contoh, populasi serangga fitofag dapat ditingkatkan dengan menanam tanaman yang sama dua musim tanam berturut-

turut. Kualitas makanan juga mempengaruhi kehidupan serangga dan tanaman yang dipupuk dengan pupuk nitrogen yang berlebihan mengandung kadar air yang tinggi, yang disukai oleh serangga fitofag. Sebaliknya jaringan tanaman terbentuk pada tanaman yang dipupuk dengan pupuk kalium lebih keras dan lebih tahan sehingga dapat mencegah infestasi serangga fitofag (Rasidi, Suswanto & Ischak, 2008)

Faktor nutrisi sangat penting dalam kehidupan serangga hama. Suhu, kelembapan, curah hujan, dan aktivitas manusia memengaruhi keberadaan faktor gizi. Saat musim hujan, banyak orang yang menanam lahannya dengan berbagai tanaman. Jika semua faktor mendukung perkembangan serangga, maka peningkatan makanan akan dibarengi dengan peningkatan populasi serangga, dan sebaliknya. Hubungan antara faktor nutrisi dengan populasi serangga disebut hubungan yang saling terkait erat atau tidak tergantung kepadatan. Oleh karena itu, faktor nutrisi dapat digunakan untuk mengurangi populasi serangga hama. Ini dapat dilakukan dengan tidak menanam lahan pertanian dengan tanaman yang menjadi makanan bagi serangga hama, atau dengan menanam lahan pertanian dengan tanaman yang tidak disukai hama tertentu atau dengan tanaman yang tahan. Ketersediaan pangan berkualitas tinggi dalam jumlah yang cukup akan meningkatkan populasi hama dengan cepat (Boyle *et al.*, 1996) (Rasidi, 2018).

3. Faktor Biologi

Parasitoid, predator, dan entomopatogen adalah tiga komponen utama faktor biologis, yang memengaruhi populasi karena faktor biologisnya yang saling terkait. Parasitoid hidup pada atau di dalam tubuh serangga hama, dan mereka lebih kecil dan berkembang lebih cepat daripada inangnya. Parasitoid disebut endoparasitoid jika mereka hidup di dalam tubuh inang dan memakan jaringan internal atau menyerap

cairan tubuh. Parasitoid di luar tubuh inang disebut ektoparasitoid. Tidak semua parasitoid berakhir dalam tubuh serangga. Parasitoid biasanya memiliki inang yang lebih spesifik sehingga dapat mengendalikan hama dengan lebih baik. Kelemahan parasitoid adalah ketika parasitoid tertentu dapat terparasit oleh parasitoid lain. Parasitoid lainnya disebut parasit sekunder, dan peristiwa seperti di atas disebut hiperparasitisme.



Gambar 2. 7. Parasitoid Hymenoptera: Ichneumonidae (b) Hymenoptera: Pteromalidae (c) Hymenoptera: Scelionidae

Sumber: <https://www.sare.org/publications/manage-insects-on-your-farm/identification-key-to-major-beneficials-and-pests/parasitoids/>



Gambar 2. 8. Serangga Predator

Sumber: <https://www.sare.org/publications/manage-insects-on-your-farm/identification-key-to-major-beneficials-and-pests/predators/>

Predator biasanya lebih besar, dan mangsanya membutuhkan waktu lebih lama untuk berkembang biak. Predator bebas memilih mangsanya, karena itu predator adalah serangga atau hewan lain yang secara langsung

memakan serangga target. Banyak mangsa diperlukan agar dapat berkembang menjadi dewasa. Predator monofag memakan serangga hama sebagai makanan utamanya. Predator jenis ini biasanya efektif, tetapi mereka memiliki kelemahan: populasi hama yang menjadi mangsa biasanya lebih besar daripada predator (Kuswardani and Maimunah, 2013).



Gambar 2. 9. Serangga yang terpapar jamur

Sumber: <https://cashew.icar.gov.in/beneficialinsect/pathogens/>

Untuk mengendalikan serangga hama, entomopatogen sering digunakan. Misalnya, *Bacillus thuringiensis* telah dibuat dengan banyak jenis hama. Bakteri ini menginfeksi larva, menyebabkan mereka tidak mau makan dan akhirnya mati. Dengan cara yang sama, jamur telah dikembangkan untuk mengontrol serangga hama, seperti *Metarhizium anisopliae*, yang mengontrol larva *Oryctes rhinoceros*. Entomopatogen lain, seperti *virus polihidrosis nuklir* (NPV), juga dapat mengontrol larva lepidopteran, seperti ulat grayak (Kuswardani and Maimunah, 2013) (Suhariyanto, 2008).

a. Umur serangga imago

Proses perkembangan serangga dipengaruhi oleh umur imago. Semakin lama imago betina hidup, semakin besar kemungkinan mereka bertemu dengan imago jantan dan mulai berkembang biak dan menghasilkan keturunan. Strategi reproduksi r biasanya lebih pendek, sedangkan strategi K hidup lebih lama (Harga, 1997).

Namun, serangga dengan strategi r memiliki lebih banyak keturunan daripada serangga dengan strategi K (Begon, Harper & Townsend, 1986)(Suheriyanto, 2008).

b. Siklus hidup serangga

Siklus hidup serangga terdiri dari berbagai fase yang berbeda tergantung pada metamorfosis serangga, dan dimulai dari tahap telur hingga tahap imago. Selain itu, siklus hidup serangga bervariasi tergantung pada spesiesnya dan faktor eksternal. Siklus hidup serangga dalam metamorfosis sempurna (holometabola) mencakup fase telur, larva, pupa, dan imago; dalam metamorfosis parurometabola, fase telur, nimfa, dan imago; dan dalam metamorfosis hemimetabola, fase telur, naiad, dan imago. Siklus hidup serangga yang menggunakan strategi reproduksi K biasanya lebih lama (Begon, Harper & Townsend, 1986). Siklus hidup serangga dipengaruhi oleh hal-hal di luar. Jika suhu serangga lebih tinggi, siklus hidupnya bisa menjadi lebih pendek (Huang et al. 2021)(Kuswardani and Maimunah, 2013)(Herlinda et al. 2021).

c. Perubahan genetik

Struktur genetik suatu strain berubah sebagai akibat dari seleksi alam karena perubahan ini biasanya merupakan adaptasi terhadap lingkungan di mana tingkat populasi yang tinggi dipertahankan. Faktor pembatasnya adalah faktor yang membatasi populasi, bahkan jika semua faktor lain menguntungkan, akan meningkatkan dan membawa populasi yang luar biasa. Di sisi lain juga dapat berfungsi sebagai faktor degradasi, meskipun faktor lain tetap ada yang menguntungkan.

d. Mortality

Faktor mortality mempunyai dampak yang berbeda-beda terhadap dinamika populasi karakteristik yang berbeda. Ada tiga penyebab utama kematian pada populasi serangga yaitu kematian akibat kekurangan pangan dan sumber daya lainnya, kematian yang disebabkan oleh musuh alam serta kematian akibat kondisi fisik parah yang tidak dapat diatasi oleh serangga

e. Nisbah kelamin

Istilah "nisbah kelamin" mengacu pada perbandingan jumlah jantan dan betina yang diproduksi oleh induk betina dalam satu cohort selama satu kali bereproduksi. Dalam kebanyakan kasus, serangga memiliki kecenderungan untuk menghasilkan keturunan betina, dibandingkan dengan keturunan jantan (Marques et al., 2016). Nisbah kelamin serangga dipengaruhi oleh faktor genetik/intrinsik dan faktor luar, termasuk suhu. Misalnya, jumlah keturunan betina *S. frugiperda* lebih tinggi pada suhu rendah, tetapi akan berkurang seiring suhu lingkungannya meningkat. Pada suhu 19 derajat Celcius, proporsi betina adalah 54.1%, tetapi pada suhu 31 derajat Celcius, proporsi betina turun menjadi 50.2%. (Begon, M., 1996)

f. Cahaya

Kehidupan serangga dipengaruhi oleh cahaya, warna, dan bau karena serangga pada umumnya tertarik pada cahaya atau warna cerah. Serangga malam biasanya menyukai warna putih, merah atau kuning. Bau dapat memengaruhi bagaimana serangga bertindak untuk mendapatkan tanaman inangnya. Bergantung pada bau dan warna tanaman inangnya, serangga monofag atau oligophage lebih suka tumbuhan inangnya. Tumpang sari antara dua atau lebih jenis tumbuhan dalam satu famili

dapat mempengaruhi indera penciuman serangga, baik monophage maupun oligophage, karena bau yang dihasilkan oleh tumpang sari mengganggu sistem penciuman serangga (Djohar Maknun, 2017).

g. Angin

Angin mempengaruhi penyebaran serangga. Biasanya, serangga bergerak ke arah yang berlawanan dengan angin untuk mencari sumber makanan, dan aroma yang dibawa angin membuat serangga berjuang melawan angin untuk mencari tanaman inangnya. Serangga bisa menyebar dengan angin. Kutu daun adalah serangga kecil yang dapat terbang jauh karena terbawa oleh angin (Joseph, Hudson and Kristine Braman, 2018) (Daniel Mahr, Paul Whitaker, 2019).

h. Kompetisi

Kehidupan serangga juga dapat dipengaruhi oleh persaingan. Kompetisi intraspesifik terjadi antara anggota spesies yang sama, sedangkan kompetisi interspesifik terjadi antara dua spesies atau lebih. Karena daya dukung relung dan habitat yang terbatas, serangga saling menjauh karena persaingan. Persaingan intraspesifik pada *S. frugiperda*, yang masuk ke instar kedua, terjadi karena persaingan antar individu, yang dapat menyebabkan kanibalisme. Semut dan serangga predator atau parasitoid sering bersaing satu sama lain karena kehadiran semut dapat mengganggu musuh alami (Aitieri, Nicholls and Fritz, 2005) (Hasamah, 2017).

i. Ratio Kelamin

Serangga yang berbeda menunjukkan dimorfisme seksual. Sebagian besar spesies serangga memiliki ukuran jantan dan betina yang berbeda, tetapi ada beberapa spesies di mana keduanya berukuran sama. Normalnya, betina harus berkembang biak dan

berukuran lebih besar daripada jantan. Sementara jantan hanya perlu membuahi betina atau telur, jadi memiliki tubuh lebih kecil. Rasio seksual juga berbeda-beda di antara spesies (Ajar and Kuswardani, 2013) (Lauder and Townsend, 1991).

j. Reproduksi

Feromon sangat penting untuk reproduksi serangga. Feromon berfungsi sebagai penarik kimia untuk menarik lawan jenisnya (betina). Dengan menghasilkan feromon, serangga dimotivasi untuk kawin dan bereproduksi. Serangga mencari pasangannya lewat bau dan pendengaran. Kebanyakan serangga yang tidur di malam hari, seperti jangkrik, menggunakan sinyal pendengaran untuk menemukan pasangannya, tetapi beberapa serangga menggunakan rangsangan visual untuk menemukan pasangannya. Misalnya, lalat jantan dari famili Dolicopodidae menggunakan rangsangan visual untuk menemukan betina. Serangga diurnal menggunakan pola dan warna khusus untuk menarik pasangan. Di pohon, jangkrik jantan mendekati jangkrik betina dengan sayap terangkat dan nyanyian nyaring (Daniel Mahr, Paul Whitaker, 2019).

k. Kerjasama

Hewan cenderung bekerja sama seperti serangga melakukan berbagai tugas bersama. Serangga pertamanya bekerja sama, kemudian berkumpul, membentuk koloni, dan akhirnya bersosialisasi. Sebagai contoh, semut adalah contoh terbaik dari kerja sama. Semut membantu satu sama lain membawa makanan tersebut ke dalam sarang/koloninya. Kerjasama lain juga tampak pada kasus cedera dengan menggendong individu yang terluka atau menjilat dan membersihkannya. Kehidupan kolonial serangga menunjukkan adanya pembagian kerja

yang menyebabkan kolonialisme. Koloni adalah sekelompok orang yang terorganisir dengan banyak karakteristik khusus yang berkaitan dengan pembagian kerja dan kerja sama (Hasyimuddin, Syahribulan and Usman, 2017) (Mason and McDonough, 2011).

l. Kehidupan sosial

Beberapa serangga, seperti rayap, lebah, tawon, dan semut, tinggal bersama satu sama lain. Polimorfisme, pembagian kerja, dan kerja sama adalah ciri-ciri serangga sosial. Serangga sosial tinggal dalam koloni yang terdiri dari keturunan besar, di mana setiap keturunan tinggal bersama betina (induknya). Keturunan baru mengambil alih tugas induknya untuk menumbuhkan sarang dan bertelur, serta mengumpulkan pakan, melindungi, dan menjaga telur, larva, dan pupa. Perilaku kehidupan sosial yang paling berkembang ditunjukkan oleh koloni semut, yang terdiri dari puluhan hingga jutaan. Koloni bervariasi dalam bentuknya dan dibentuk oleh ratu yang telah dibuahi atau migran dari koloni induk awal. Untuk koloni, para pekerja mengumpulkan makanan. Rayap adalah predator beberapa spesies semut yang menghasilkan jamur. Mereka juga mengembangkan kecenderungan saling memberi makan, yang berarti membagi makanan antar anggota komunitas (Jeremy Allison, Tomothy Paine, 2013) (Mason and McDonough, 2011).

m. Simbiosis

Simbiosis adalah kelompok hewan yang bekerja sama untuk saling menguntungkan. Setiap individu mendapat manfaat dan disebut simbios. Serangga dan hewan lain menjalin simbiosis untuk berbagai kepentingan seperti makanan, perlindungan, dan kenyamanan hidup, atau bahkan karena kecelakaan. Beberapa ahli entomologi telah menemukan hubungan

simbiosis antara semut dan rayap dengan beberapa hewan, seperti bersarangnya banyak burung yang berasosiasi dengan tawon, semut dan rayap pemberi saling melindungi (Rasidi, Suswanto & Ischak, 2008)(Daniel Mahr, Paul Whitaker, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri, M., Nicholls, C.I. and Fritz, M. (2005) *Manage Insects on Your Farm: A Guide to Ecological Strategies*. Journal of Sustainable Agriculture.
- Arnold van Huis *et al.* (2013) *Edible Insect Future Prospect for Food*. FAO Forestry Paper.
- Begon, M., J.L.H. and C.R.T. 1996 (1996) *Ecology: individuals, populations, and communities*. Third Edition. pp. 263-328.
- Boyle, N. *et al.* (1996) *Introduction to: Insects*. *Metamorphosis*, p. 1. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-012283245-1/50002-6>.
- Daniel Mahr, Paul Whitaker, N.R. (2019) *Biological Control of Insects and mites*.
- Djohar Maknun (2017) *Ekologi Populasi*. Nurjati Press. Cirebon
- Forces, A. and Management, P. (2019) *Armed Forces Pest Management Board Technical Guide No CLEARED For Open Publication Department of Defense Office Of Prepublication And Security Review*. (44). Available at: <http://www.acq.osd.mil/eie/afpmb/contactUs.html>.
- Glime, J. (2015) *Chapter 11-1 Aquatic Insects : Biology Chapter 11-1 Aquatic Insects : Biology*. 2(May), pp. 1-40.
- Al Hakim, R.R. (2022) *Ekologi dan Lingkungan*. PT. global eksekutif Teknologi, pp. 14-27.
- Hasamah (2017) *Ekologi Serangga Tanah*. Malang:Universitas Muhammadiyah Malang
- Hasyimuddin, Syahribulan and Usman, A.A. (2017) *Peran ekologis serangga tanah di perkebunan Patallasang Kecamatan Patallasang Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan*. *Prosiding Seminar Nasional Biology for Life*. 1(10), pp. 70-78.
- Herlinda, S. *et al.* (2021) *Buku Pengantar Ekologi Serangga* Published UNSRI PRESS,

- Jeremy Allison, Tomothy Paine, B.S. (2013) *Forest Entomology, Canadian Forest Service and the Forestry and Agricultural Biotechnology Institute, University of Pretoria, South Africa* ISBN. Available at: <http://www.nber.org/papers/w16019>.
- Joseph S. V, Hudson, W. and Kristine Braman, S. (2018) 'Biology and Management of Scale Insects in Ornamentals', pp. 1-6.
- Kuswardani, R.A. and Maimunah (2013) 'Hama Tanaman Pertanian', *Universitas Medan Area*, p. 71.
- Lauder, G. V and Townsend, C.R. (1991) 'Paleo biology : Beyond Morphology', 6(January), pp. 6-7.
- Mason, L. and McDonough, M. (2011) 'Biology, Behavior, and Ecology of Stored Grain and Legume Insects', *Stored Product Protection*, pp. 1-14.
- Peh, K.S.H., Corlett, R.T. and Bergeron, Y. (2015) 'Routledge Handbook of Forest Ecology', *Routledge Handbook of Forest Ecology*, pp. 1-652. Available at: <https://doi.org/10.4324/9781315818290>.
- Ramli utina, Dewi wahyuni B. (2009) *ekologi dan lingkungan h/dup*. ISBN 9789791340137. Available at: Gorontalo.
- Rasidi, Suswanto & Ischak, T.M. (2008) 'Batasan dan Ruang Lingkup Ekologi Hewan', *Ekologi*, 1927, pp. 1-24. Available at: <http://repository.ut.ac.id/4433/1/BIOL4412-M1.pdf>.
- Suheriyanto, D. (2008) 'Ekologi Serangga', (March), p. 214. UIN-Maliki Press, Malang, ISBN 9979-24-3022-9

BAB 3

PENGENDALIAN HAMA SECARA FISIK DAN MEKANIK

Oleh Silvia Permata Sari

3.1 Pendahuluan

Hama adalah organisme yang merusak tanaman dan merugikan secara ekonomis. Beberapa hama yang menyerang tumbuhan antara lain tikus, walang sangit, wereng, tungau, dan ulat. **Pengendalian secara fisik dan mekanik** merupakan pengendalian yang paling sederhana jika populasi hama dan penyakit masih rendah. Pemungutan telur, ulat, maupun penangkapan hama dapat dilakukan secara manual atau dengan alat seperti perangkap. Hama yang tertangkap selanjutnya dibunuh dan sisa tanaman yang terserang maupun serasahnya dibakar (Kementerian Pertanian, 2023).

Menurut Rahmad dkk (2017), pengendalian fisik dan mekanik dapat dilakukan untuk pengendalian hama penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella* Snellen) di Desa Gattareng Kecamatan Marioriwawo Kabupaten Soppeng. Contohnya dengan pengumpulan dan pembakaran sisa-sisa tanaman, pemangkasan, dan pembungkusan buah kakao agar terhindar dari hama PBK. Teknik pengendalian secara fisik dan mekanik juga sudah dilakukan oleh petani padi di wilayah Bogor, Jawa Barat (Hartono, 2017).

Penerapan pengendalian secara fisik juga harus dilandasi oleh pengetahuan yang menyeluruh tentang ekologi serangga hama, karena setiap jenis serangga memiliki batas toleransi terhadap faktor lingkungan fisik seperti suhu, kelembaban, bunyi, sinar, spektrum

elektromagnetik dan lain-lain. Dengan mengetahui ekologi serangga hama sasaran kita dapat mengetahui kapan, di mana, dan bagaimana tindakan fisik dan mekanik kita lakukan agar diperoleh hasil seefektif dan seefisien mungkin (Sri dan Marwoto, 2017; Oslan dkk. 2021).

Teknik pengendalian secara fisik dan mekanik tersebut juga sudah diterapkan untuk pengendalian hama pada tanaman kedelai. Pengurangan populasi ulat perusak daun kedelai dengan cara mekanik dapat dilakukan dengan mengambil kelompok telur ataupun larva. Pengambilan larva dilakukan pada sore hari larva yang telah terkumpul kemudian dibakar agar tidak menyebar lagi ke tanaman. Pemasangan lampu perangkap pada malam hari juga dapat dilakukan untuk menurunkan populasi imago ulat perusak daun karena imago sangat tertarik dengan cahaya lampu. Penerapan pengendalian mekanik juga harus dilandasi pengetahuan tentang ekologi hama, karena dengan mengetahui ekologi serangga hama sasaran kita dapat mengetahui kapan, dan tindakan mekanik apa yang harus dilakukan agar diperoleh hasil yang efektif dan efisien (Sri dan Marwoto, 2017; Rahim dkk. 2021).

Banyak contoh teknik pengendalian hama secara fisik dan mekanik yang dapat diterapkan oleh petani di lapang. Untuk lebih lebih jelas lagi beberapa faktor fisik yang dapat dirubah dalam pengendalian hama, serta beberapa contoh pengendalian hama secara fisik dan pengendalian hama secara mekanik akan diuraikan pada paragraf di bawah.

3.2 Pengendalian Hama Secara Fisik

Pengendalian hama secara fisik ialah pengendalian hama dengan cara mengubah faktor lingkungan fisik sedemikian rupa, sehingga dapat mematikan atau menurunkan populasi hama yang ditujukan khusus untuk membunuh hama. Beberapa faktor fisik yang diubah tersebut seperti suhu, tekanan udara, kelembapan, dan lain-lain.

3.2.1 Suhu (°C)

Temperatur udara, juga dikenal sebagai suhu, adalah derajat panas dari aktivitas molekul di atmosfer atau udara yang dihasilkan oleh radiasi panas matahari yang diterima bumi. Beberapa faktor memengaruhi jumlah panas yang diterima bumi. Yang pertama adalah sudut datang sinar matahari, atau sudut yang dibentuk permukaan bumi dengan arah datangnya sinar matahari. Semakin kecil sudut datang sinar matahari dibandingkan dengan sudut yang datangnya tegak lurus, semakin banyak panas yang diterima bumi. Faktor kedua adalah lama penyinaran matahari. Semakin lama matahari bersinar, semakin banyak panas yang diterima bumi. Ketiga, keadaan muka bumi (daratan dan lautan). Sifat daratan berbeda dari sifat lautan: daratan menerima panas dengan cepat dan melepaskannya dengan cepat. Keempat, lebih banyak atau lebih tebal awan, lebih banyak panas yang diterima Bumi.

3.2.2 Tekanan Udara

Tekanan udara adalah komponen cuaca dan iklim selain suhu atau temperatur udara. Tekanan udara adalah gaya yang dihasilkan oleh berat lapisan udara. Tekanan udara di mana-mana pada suatu saat berbeda. Disebabkan oleh kurangnya tekanan udara yang menekan, tekanan udara lebih rendah di tempat yang lebih tinggi dari permukaan laut. Berdasarkan penggunaan barometer, tekanan udara dapat diukur dalam milibar (mb). Terdapat tiga kategori tekanan udara yaitu: Pertama, tekanan udara tinggi, yang mencapai 1013 mb atau lebih; Kedua, tekanan udara rendah, yang mencapai 1013 mb atau kurang; dan Ketiga, tekanan di permukaan laut, yang sama dengan 1013 mb.

3.2.3 Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari area bertekanan udara tinggi ke area bertekanan udara rendah. Beberapa hal

penting yang harus Anda ketahui tentang angin adalah:

- Kecepatan Angin: Anda dapat mengukur kecepatan angin dengan anemometer. Beberapa faktor dapat mempengaruhi kecepatan angin, salah satunya adalah besar kecilnya gradien barometrik. Angka gradien barometrik menunjukkan perbedaan tekanan udara melalui dua garis isobar pada garis lurus setiap 111 km (jarak 111 km di ekuator 1, atau $1/360 \times 40.000 \text{ km} = 111 \text{ km}$). Hukum Stevenson menyatakan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan gradien barometrik. Kecepatan berkorelasi positif dengan gradien barometrik.

3.2.4 Kelembaban Udara (%)

Kelembaban relatif di antara tanaman dapat juga diatur dengan mengatur jarak tanam dari pohon pelindung atau pohon peneduh.

Beberapa contoh bentuk pengendalian hama secara fisik antara lain:

❖ Perlakuan panas

- a) Suhu dinaikkan atau menghembuskan udara panas ke dalam suatu ruangan tertutup, misalnya untuk pengendalian berbagai jenis hama gudang.
- b) Merendam bahan tanaman, baik berupa benih maupun bibit ke dalam air panas dengan suhu tertentu. Misalnya, bibit pisang direndam dalam air panas 55°C selama 30 menit, benih albasia dan leucaena direndam dalam air panas 60°C selama 24 jam, benih cabai direndam dalam air hangat $55^{\circ}\text{-}60^{\circ}\text{C}$ selama 15-30 menit.
- c) Teknik pembakaran ini perlu diperhitungkan secara matang agar tidak menimbulkan kerugian-kerugian seperti terbunuhnya musuh alami, rusaknya tanaman di sekitar lokasi pembakaran akibat hembusan asap panas dan percikan api yang mungkin terbawa angin. Makanya sisa-sisa tanaman yang

digunakan tempat istirahat atau berlindung OPT (sumber OPT) dibakar. (Rahim dkk. 2021).

- ❖ **Memberikan perlakuan radiasi sinar infra merah.**
- ❖ **Memberikan perlakuan gelombang suara.**
- ❖ **Penggunaan lampu perangkap.**

Pemanfaatan perangkap cahaya merupakan salah satu komponen PHT secara fisik yang mudah diterapkan sebagai langkah awal untuk memonitor keberadaan serangga dalam suatu ekosistem (Kurmi dkk. 2019), mengendalikan (Ramadhan dkk. 2020), mendeteksi serta memprediksi serangan hama secara cepat (Pertiwi dkk. 2013), dan sebagai sarana untuk mempelajari serangga nokturnal yang aktif pada malam hari (Abbas dkk. 2019).

Pemanfaatan perangkap cahaya merupakan salah satu praktik pengendalian ramah lingkungan dalam rangka penerapan *Good Agricultural Practice* (GAP) yang dewasa ini mulai ramai diterapkan di masyarakat (Baswarsati dan Tafakresnanto, 2019). Teknologi perangkap cahaya telah banyak dimanfaatkan masyarakat sebagai teknologi sederhana dalam pengendalian hama, namun bersifat ramah lingkungan. Salah satunya teknologi perangkap cahaya tersebut telah dimanfaatkan oleh Kelompok wanita tani (KWT) Mawar Bodas Tasikmalaya (Ramadhan dan Selvy, 2023).

Kemudian di sisi lain, banyak jenis hama terutama imago dari serangga hama tertarik cahaya lampu di malam hari. Sifat-sifat hama seperti ini dapat dijadikan salah satu bentuk siasat pengendalian, seperti yang pernah dilakukan petani padi di Jalur Pantai Utara Jawa Barat tahun 1990-1991. Mereka mengadakan gerakan massal pemasangan lampu petromak untuk mengumpulkan ngengat penggerek batang pada pertanaman padi di sawah. Ternyata tiap malamnya bisa ditangkap ratusan ribu ngengat (Penfui dan Abdul, 2023).



Gambar 3. 1. Contoh lampu perangkap (BBPadi, 2015).

✧ Penghalang atau barrier

Penghalang atau barrier adalah berbagai bentuk faktor fisik yang dapat menghalangi atau membatasi pergerakan OPT sehingga tidak mendatangi atau menyerang areal pertanaman.

Beberapa pengendalian dengan membuat penghalang atau barrier sebagai berikut :

- a) Membuat pagar yang rapat dan bambu, kayu, atau lembaran seng di sekeliling areal pertanaman untuk menghindari gangguan babi hutan, rusa, tikus, dan lain-lain. Penghalang ini dapat pula dibuat secara individual, misalnya pemasangan lembaran seng pada pohon kelapa untuk menghindari serangan tikus dan tupai.
- b) Memberi mulsa plastik atau jerami, misalnya untuk mencegah serangan lalat kacang pada tanaman kedelai. Pemasangan mulsa dapat mencegah lalat tidak meletakkan telur pada tanaman.
- c) Membuat lubang atau selokan jebakan di sekeliling areal pertanaman.
- d) Memblongsong buah dengan kantong plastik atau pembungkus lainnya sehingga hama tidak dapat meletakkan telur pada buah tersebut, seperti pengendalian pada lalat buah (*Bactrocera papayas*) yang sering menyerang aneka jenis buah-buahan.
- e) Meninggikan pematang agar OPT tertentu tidak bisa pindah ke tempat lain (Penfui dan Abdul, 2023).

3.3 Pengendalian Hama Secara Mekanik

Pengendalian hama secara mekanik bertujuan untuk mematikan hama secara langsung baik menggunakan tangan, maupun dengan alat bantuan atau bahan lain. Teknik pengendalian ini amat sederhana dan dapat dilakukan oleh setiap orang. Adapun kelebihan dan kekurangan pengendalian secara fisik dan mekanik yaitu: tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan, dapat dipadukan dengan cara pengendalian lainnya, memerlukan tenaga yang banyak, dan tidak dapat dilakukan untuk lokasi yang luas secara rutin (*continue*) (Pendiful dan Abdul, 2023).

Beberapa macam contoh teknik pengendalian hama secara mekanik antara lain:

❖ **Pengambilan hama langsung dengan tangan.**

Cara ini amat sederhana, mudah, dan murah. Telur-telur, larva atau imago pada areal tanaman diambil dan dimusnahkan. Kegiatannya bisa bersamaan dengan penyulaman, penyiangan, dan pemupukan. Dapat pula melalui kegiatan massal seperti yang pernah dilakukan di Jalur Pantar Utara Jawa Barat pada musim tanam 1990-1991, yaitu dengan mengerahkan penduduk dan anak sekolah untuk mengumpulkan kelompok telur dan ngengat penggerek batang padi putih (*Tryporyza innotata* Walker). Contoh lain: mengambil ulat-ulat atau siput secara langsung yang menyerang tanaman kubis (Retna dan Maimunah, 2013).

❖ **Gropyokan**

Cara ini sudah lazim dilakukan pada tikus. Tikus yang masih di dalam lubang maupun yang sedang berkellaran ditangkap dan dibunuh bera-mai-ramai. Kegiatan ini akan berhasil dengan baik bila dilakukan pada saat tidak ada tanaman.

❖ **Pemasangan perangkap.**

Alat perangkap yang digunakan tergantung kepada jenis OPT. Untuk menangkap tikus, bisa digunakan lem tikus, menggunakan

botol aqua bekas dan lem serangga untuk menangkap beberapa jenis serangga.

❖ **Pengusiran hama:**

Hama bisa diusir dengan menggunakan boneka buatan (simulasi) yang telah banyak digunakan pada areal pertanaman padi. Cara mengusir hama dapat dengan jasa suara gaduh, seperti pemasangan lonceng kaleng bekas pada pohon buah-buahan, atau dengan menggoyang-goyangkan tanaman seperti yang dilakukan pada tanaman bayam, yaitu dengan menggunakan lidi (Penfui dan Abdul, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M., Ramzan, M., Hussain, N., Ghaffar, A., Hussain, K., Abbas, S., & Raza, A. (2019). Role of Light Traps in Attracting, Killing and Biodiversity Studies of Insect Pests in Thal. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32 (4).
<https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2019/32.4.684.690>.
- Baswarwati, B., & Tafakresnanto, C. (2019). Kajian Penerapan Good Agricultural Practices (Gap) Bawang Merah Di Nganjuk Dan Probolinggo. *Agrika*, 13 (2), 147.
<https://doi.org/10.31328/ja.v13i2.1206>.
- BBPadi. (2015 Juli 23). Deteksi Awal Hama Gunakan Lampu Perangkap. Diakses dari
<https://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/info-berita/berita/deteksi-awal-hama-gunakan-lampu-perangkap>.
- Hartono, R. 2017. Inventarisasi Teknologi Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dan Implementasi Pengendalian Hama Terpadu (HPT) Pada Tanaman Padi Di Bogor Jawa Barat. *Jurnal Triton*, (8 (1), 12-27.
- Kurmi, A., Pachori, R., Bhowmick, A., Sharma, A., Thomas, M., & Sharma, H. (2019). Biodiversity of Phototactic Hemipteran Insects in The Rice Ecosystems Jabalpur District, Madhya Pradesh, India. *Journal Entomology and Zoology Studies*, 7 (3), 1359-1362.
- Kementerian Pertanian. 2023. Info Teknologi: Cara Tepat Pengendalian Hama Penyakit Talas Beneng. Diakses: 12 Desember 2023.
<https://pustaka.setjen.pertanian.go.id/info-literasi/cara-tepat-pengendalian-hama-penyakit-talas-beneng>.
- Oslan, J., Muhammad, J., Sirajuddin, & Arfandi. 2021. Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Pangan dan Hortikultura. Jurusan Biologi FMIPA UNM, Makassar. 98 hal.

- Penfui, H.Y. & Abdul, K. D. 2023. Teknik Pengendalian OPT. Modul-09. Politeknik Pertanian Negeri Kupang. 17 hal.
- Pertiwi, E.N., Mudjiono, G., & Rachmawati, R. 2013. Hubungan Populasi Ngengat Penggerek Batang Padi Yang Tertangkap Perangkap Lampu Dengan Intensitas Serangan Penggerek Batang Padi Di Sekitarnya. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 1(2), 88-95.
- Rahim, A., Muhammad, A., & Nurmaisah. 2021. Ilmu Perlindungan Tanaman. *Syiah Kuala University Press*. Cetakan Pertama. 102 hal.
- Rahmad, Muhammad, K. dan Taslim. 2017. Survei Teknik Pengendalian Hama Penggerek Buah Kakao (*Conopomorpha cramerella* Snellen) Di Desa Gattareng Kecamatan Marloriwawo Kabupaten Soppeng. *J. Agroplantae*, 6 (1), 34-39.
- Ramadhan, R.A.M., & Selvy, I. 2022. Perangkap Cahaya Sebagai Komponen Pengendalian Hama Terpadu Di Kelompok Wanita Tani Mawar Boda Kota Tasikmalaya. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 7 (1), 26-34. ISSN: 2540-8739. DOI: 10.30653/002.202271.10.
- Ramadhan, R. A. M., Mirantika, D., & Septria, D. (2020). Keragaman Serangga Nokturnal dan Peranannya Terhadap Agroekosistem di Kota Tasikmalaya. *Agroscript*, 2 (2), 114-125. <https://doi.org/https://doi.org/10.36423/agroscriptv2i2.585>.
- Retna, A.K., & Maimunah. 2013. Hama Tanaman Pertanian. Buku Ajar. Medan Area University Press. 76 hal.
- Sri, W.I., & Marwoto. 2017. Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) pada Tanaman Kedelai. *Buletin Palawija*, 15 (2), 87-100.

BAB 4

PENGENDALIAN HAMA SECARA HAYATI DAN SERANGGA MANDUL

Oleh Araz Meilin

4.1 Pendahuluan

Pertanian berkelanjutan telah menjadi pilar utama dalam menjaga keseimbangan antara keberlanjutan dan produktivitas sektor pertanian global. Di tengah upaya menjaga keanekaragaman hayati dan menghadapi perubahan iklim, petani di seluruh dunia dihadapkan pada tantangan besar dalam mengelola hama tanaman yang dapat mengancam hasil pertanian. Seiring dengan itu, perlunya solusi inovatif yang tidak hanya efektif tetapi juga berkelanjutan dan ramah lingkungan semakin mendesak.

Artikel ini memfokuskan pada dua metode pengendalian hama yang menjanjikan, yaitu pengendalian hama secara hayati dan pemanfaatan serangga mandul. Pengendalian hama secara hayati melibatkan pemanfaatan organisme hidup atau produk dari organisme tersebut untuk menekan populasi hama tanaman. Pendekatan ini mencakup penggunaan predator alami, parasitoid, dan mikroorganisme seperti bakteri dan fungi yang bersifat patogen terhadap hama.

Seiring dengan itu, konsep serangga mandul menawarkan pendekatan inovatif dengan melepaskan serangga jantan yang telah disterilkan ke dalam populasi hama target. Serangga mandul ini, ketika berinteraksi dengan serangga betina, mengurangi tingkat reproduksi populasi hama secara signifikan. Dua metode ini menawarkan solusi yang tidak hanya efektif dalam mengendalikan

hama tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Keunggulan dari metode-metode ini mencakup pengurangan penggunaan pestisida kimia yang berpotensi merugikan lingkungan dan kesehatan petani. Selain itu, mereka mempromosikan keseimbangan alamiah dalam ekosistem pertanian, mendukung keberlanjutan jangka panjang. Meskipun demikian, tantangan seperti pemahaman yang mendalam tentang ekologi lokal, integrasi dalam sistem pertanian konvensional, dan biaya implementasi tetap menjadi perhatian.

Dalam pengembangan lebih lanjut, artikel ini akan merinci prinsip-prinsip dasar dari kedua metode ini, menguraikan keunggulan yang dapat diperoleh, dan mengeksplorasi tantangan yang perlu diatasi. Dengan pemahaman mendalam tentang pengendalian hama secara hayati dan serangga mandul, diharapkan petani dan pemangku kepentingan pertanian dapat mengadopsi strategi berkelanjutan yang mampu menghadapi kompleksitas tantangan hama tanaman dengan cara yang ramah lingkungan.

4.2 Pengendalian Hama Secara Hayati

Pertanian, sebagai pilar utama penyediaan pangan dan dukungan ekonomi, terus berkembang dan menghadapi tantangan baru seiring perubahan lingkungan dan tuntutan untuk memproduksi secara berkelanjutan. Dalam konteks ini, pengendalian hama secara hayati telah muncul sebagai paradigma baru dalam upaya menjaga produktivitas pertanian sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Pendekatan ini menekankan pemanfaatan organisme hidup (predator, parasitoid, entomopatogen) atau produk yang dihasilkan oleh organisme tersebut untuk menekan populasi hama tanaman, membuka pintu menuju pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Prinsip dasar pengendalian hama secara hayati melibatkan pemanfaatan interaksi alamiah dalam ekosistem pertanian untuk mencapai keseimbangan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa prinsip dasar yang menjadi landasan metode ini yaitu:

1. Penggunaan Predator Alami

Salah satu prinsip utama adalah memanfaatkan predator alami dalam ekosistem pertanian. Predator alami seperti burung pemangsa, laba-laba kumbang pemangsa, dan serangga predator lainnya memiliki peran penting dalam mengontrol populasi hama. Dengan meningkatkan keberadaan dan keberagaman predator alami, petani dapat secara efektif mengurangi populasi hama tanaman.

2. Pemanfaatan Parasitoid

Prinsip lainnya adalah penggunaan parasitoid, yaitu organisme yang hidup pada atau dalam tubuh hama dan menyebabkan kematian inangnya. Parasitoid bersifat spesifik terhadap hama tertentu, memberikan solusi yang sangat selektif dan dapat diintegrasikan ke dalam strategi pengendalian hama secara hayati.

3. Penggunaan Mikroorganisme Patogen

Metode ini melibatkan penggunaan bakteri, fungi, dan mikroorganisme lainnya yang bersifat patogen terhadap hama tanaman. Contohnya adalah penggunaan *Bacillus thuringiensis* (Bt), bakteri yang menghasilkan toksin yang mematikan bagi larva serangga. Pendekatan ini memungkinkan pengendalian yang tepat sasaran tanpa meninggalkan residu kimia di lingkungan.

4. Pengelolaan Habitat

Prinsip ini mencakup pengelolaan habitat alami di sekitar area pertanian. Menumbuhkan tanaman pengundang serangga (*insectary plants*) yang menarik predator alami dan menyediakan tempat persembunyian bagi serangga yang

bermanfaat dapat meningkatkan keberagaman hayati dan mendukung pengendalian hama secara alamiah.

5. Rotasi Tanaman

Merotasi jenis tanaman secara teratur dapat mengganggu siklus hidup hama dan mencegah mereka membangun populasi yang besar. Prinsip ini memberikan pendekatan yang berkelanjutan dan dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida.

6. Keseimbangan Ekosistem

Prinsip dasar terpenting adalah memahami dan memelihara keseimbangan ekosistem. Dengan menjaga keberagaman hayati, tidak hanya hama tetapi juga predator alami dan organisme lainnya dapat berkontribusi pada kestabilan ekosistem pertanian.

Pengendalian hama secara hayati menawarkan sejumlah keunggulan yang signifikan dalam konteks pertanian berkelanjutan. Salah satu keuntungan utama adalah pendekatan yang ramah lingkungan, karena tidak melibatkan penggunaan pestisida kimia sintetis yang dapat mencemari lingkungan. Metode ini juga menunjukkan tingkat selektivitas yang tinggi, dengan fokus pada predator alami, parasitoid, dan mikroorganisme patogen yang berkafat spesifik terhadap hama tertentu, sehingga risiko terhadap organisme non-target menjadi lebih rendah. Pengendalian hama secara hayati membantu mengurangi resistensi hama terhadap pestisida, menjaga keberlanjutan jangka panjang. Keunggulan lainnya adalah pengurangan risiko residu pestisida pada hasil pertanian, menyumbang pada produksi tanaman yang lebih bersih dan aman bagi kesehatan manusia. Dengan mempertahankan keberagaman hayati dan mendukung pengelolaan pertanian yang berkelanjutan, metode ini juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem.

Meski demikian, pengendalian hama secara hayati tidak terlepas dari sejumlah tantangan. Keefektifan metode ini dapat terbatas terutama dalam mengatasi serangan hama besar dan cepat, sementara kompleksitas implementasinya memerlukan pemahaman mendalam tentang ekologi lokal dan siklus hidup hama. Biaya implementasi yang tinggi, terutama terkait dengan pelepasan predator alami atau parasitoid, dapat menjadi hambatan utama bagi petani dengan sumber daya terbatas. Waktu yang diperlukan untuk melihat efek yang signifikan juga bisa menjadi tantangan, terutama dalam situasi di mana solusi cepat dibutuhkan. Keberhasilan pengendalian hama secara hayati dapat sangat tergantung pada faktor lingkungan seperti cuaca, dan ketergantungan pada faktor-faktor ini dapat membuat implementasinya tidak selalu konsisten. Tingkat pendidikan dan informasi yang diperlukan untuk menerapkan metode hayati dengan sukses dapat menjadi kendala, mengingat petani memerlukan pemahaman yang mendalam tentang ekologi dan biologi hama. Dalam konteks pertanian modern yang semakin kompleks, penting untuk memahami bahwa pengendalian hama secara hayati bukanlah solusi tunggal. Ini harus dilihat sebagai bagian dari strategi pengelolaan terpadu yang mencakup aspek-aspek lain seperti rotasi tanaman, pengelolaan habitat, dan teknologi informasi pertanian. Dengan demikian, pengendalian hama secara hayati bukan hanya tentang melawan hama, tetapi juga tentang membangun ekosistem pertanian yang seimbang dan lestari.

4.2.1 Predator Alami

Salah satu elemen kunci dari pengendalian hama secara hayati adalah penggunaan predator alami. Predator alami, termasuk burung pemangsa, laba-laba, dan serangga pemangsa seperti kelompok kepik dan kumbang pemangsa, dianggap sebagai sekutu alamiah petani dalam mengontrol populasi hama. Keberadaan predator ini membantu menjaga keseimbangan

ekosistem pertanian, mengurangi risiko kerusakan tanaman akibat serangan hama, dan mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia yang seringkali bersifat merugikan. Beberapa predator yang dapat mengendalikan hama tanaman disajikan Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Predator dan mangsanya

No.	Predator	Mangsa
1	<i>Rhinocoris fuscipes</i>	<i>Spodoptera Litura</i> <i>Setathose asigna</i> <i>Helicoverpa</i> spp.
2	<i>Paederus</i> sp.	<i>Aphis</i> spp. <i>Helicoverpa armigera</i>
3	<i>Hippodamia variegata</i>	<i>Aphis fabae</i>
4	<i>Tyto alba</i>	<i>Ratus argentiventer</i>
5	<i>Menochillus sexmaculatus</i>	<i>Bemisia tabaci</i>
6	Coccinellidae	Aphididae
7	<i>Coccinella transversalis</i>	<i>Aphis gossypii</i> <i>Bemisia tabaci</i>
8	<i>Chysoperla carnea</i>	<i>Phenacoccus manihoti</i>
9	<i>Laba-laba (Lycosa pseudoannulata, Tetragnatha spp. dan Oxyopes javanus)</i>	<i>Nepotettix virescens</i>
10	<i>Cyrtorhiuus lividipennis</i>	<i>N. virescens</i>
11	<i>Ophionea nigrofasciata</i>	Hama tanaman padi

Sumber: Berliani et al. (2021); Dirgayana et al., (2021) Farhadi et al. (2010); Kambaren et al. (2014); Muharan dan Setiawati (2007); Salmah dan Hidayat (2023); Sanjaya (2023); Sumah (2023)

4.2.2 Parasitoid

Pendekatan hayati melibatkan pemanfaatan parasitoid, organisme yang hidup pada atau dalam tubuh hama dan menyebabkan kematian inangnya. Parasitoid menawarkan tingkat spesifisitas yang tinggi terhadap hama tanaman tertentu, sehingga dapat diintegrasikan ke dalam strategi pengendalian hama dengan presisi tinggi. Serangga parasitoid telah berhasil digunakan untuk mengendalikan populasi hama dengan cara yang efisien dan ekonomis. Beberapa serangga parasitoid yang dapat menyerang hama tanaman sebagai disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Serangga parasitoid dan inangnya

No.	Serangga Parasitoid	Serangga Inang
1	<i>Trichogramma flandersi</i>	<i>Plutella xylostella</i>
2	<i>T. japonicum</i>	<i>Scirpophaga insertulas</i> <i>Tryporyza nivella</i> <i>Chillo auricilius</i> <i>S. innotata</i>
3	<i>T. minutum</i>	<i>Heliothis</i> spp. <i>Agrius convolvuli</i> Pieridae
4	<i>Trichogrammatoidea cojuangcoi</i>	<i>P. xylostella</i> Diptera
5	<i>T'toidea armigera</i>	<i>P. xylostella</i> <i>Crocidolomia binotalis</i> <i>Helicoverpa armigera</i> <i>S. incertulas</i> <i>Etiella zinckenella</i>
6	<i>T. chilonis</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>
7	<i>T. australicum</i>	<i>Nivella</i> <i>Auricilius</i> <i>Chillo</i> spp.

No.	Serangga Parasitoid	Serangga Inang
8	<i>T. chilotrae</i>	<i>H. armigera</i> <i>Suppresalis</i> <i>Ostrinia furnacalis</i> <i>C. infuscatellus</i> <i>C. sacchariphagus</i> <i>E. zinckenella</i>
9	<i>Telenomus remus</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i>
10	<i>T'toidea bactrae bactrae</i>	<i>E. zinckenella</i>
11	<i>T'toidea thosae</i>	<i>Setora nitens</i> <i>Setothosae asigna</i> <i>Darna trima</i>
12	<i>Anagrus nilaparvatae</i> <i>A. optabilis</i>	<i>N. lugens</i>
13	<i>Oligosita</i>	<i>N. lugens</i>

Sumber: Buchori et al. (2010); Harlinda et al., (1996); Kalshoven (1981); Mahrub (1993); Marwoto et al. (1997); Mellin et al. (2000); Mellin (2015); Nurindah and Bindra (1989); Samoedi. et al. (1988); Shepard dan Barrion (1998); Soejitno (1989).

4.2.3 Mikroorganisme Patogen Serangga

Mikroorganisme juga memainkan peran penting dalam pengendalian hama secara hayati. Bakteri dan fungi bersifat patogen terhadap hama tanaman tertentu dan dapat digunakan sebagai agen pengendalian biologis. Pendekatan ini mengurangi risiko residu kimia di hasil pertanian dan memberikan solusi yang lebih aman bagi kesehatan manusia. Beberapa mikroorganisme yang dapat menyerang hama tanaman disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Mikroorganisme patogen dan serangga yang diserangnya

No.	Mikroorganisme Patogen	Serangga
1	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Nilaparvata lugens</i> <i>Oryctes rhinoceros</i> <i>Pieris brassicae</i> <i>Nezara viridula</i> <i>Aphis glycines</i>
2	<i>Metharizium anisopliae</i>	<i>N. lugens</i> <i>Lepidota stigma</i> <i>O. rhinoceros</i> <i>N. viridula</i> <i>A. glycines</i>
3	<i>Metarhizium rileyi</i>	<i>S. frugiperda</i>
4	<i>Metharizium majus</i>	<i>S. frugiperda</i>
5	<i>Lecanicillium lecanii</i>	<i>Bemisia tabaci</i> <i>A. glycines</i>
6	<i>Cordyceps militaris</i>	<i>O. rhinoceros</i>

Sumber: Athifa et al., (2018); Dhawan & Joshi (2017); Latifian (2015); Marheni et al. (2010); Perumal et al., (2023); Prayoga et al., (2005); Pristilya et al., (2023); Sudarjat et al., (2023); Suprayogi et al., (2015)

4.3 Pengendalian Hama Dengan Pemanfaatan Serangga Mandul

Pertanian modern semakin dihadapkan pada tekanan untuk meningkatkan produktivitas sambil menjaga keberlanjutan ekosistem. Dalam upaya untuk menghadapi tantangan ini, konsep serangga mandul telah muncul sebagai pendekatan inovatif dalam pengendalian hama tanaman. Ide dasar di balik konsep ini adalah memanfaatkan serangga jantan yang telah disterilkan dan melepaskannya ke dalam populasi hama target. Ketika serangga mandul ini berinteraksi dengan serangga betina, proses reproduksi

hama terganggu, menghasilkan penurunan signifikan dalam populasi.

Pemanfaatan serangga mandul atau serangga jantan yang telah disterilkan, merupakan pendekatan inovatif dalam pengendalian hama. Prinsip-prinsip utama dalam metode ini melibatkan teknik sterilisasi, pelepasan, dan efek gangguan terhadap siklus reproduksi hama. Berikut adalah prinsip-prinsip pemanfaatan serangga mandul untuk pengendalian hama:

1. Teknik Sterilisasi

Proses sterilisasi serangga mandul adalah langkah kunci dalam pendekatan ini. Metode ini melibatkan perlakuan serangga jantan dengan radiasi ionizing atau bahan kimia tertentu yang dapat merusak sel-sel reproduktifnya. Akibatnya, serangga mandul kehilangan kemampuan untuk menghasilkan keturunan, sehingga tidak dapat berkontribusi pada peningkatan populasi hama.

2. Pelepasan Serangga Mandul

Serangga mandul yang telah disterilkan kemudian dilepaskan ke dalam lingkungan pertanian yang terinfestasi hama target. Pelepasan dilakukan secara strategis untuk mencapai cakupan yang optimal dalam mempengaruhi serangan hama. Serangga mandul kemudian berinteraksi dengan serangga betina di lingkungan tersebut.

3. Gangguan Siklus Reproduksi

Ketika serangga mandul berinteraksi dengan serangga betina, proses reproduksi hama terganggu. Serangga betina yang berpasangan dengan serangga mandul tidak dapat menghasilkan keturunan yang dapat bertahan hidup. Gangguan ini menyebabkan penurunan populasi hama secara signifikan, karena reproduksi yang biasanya berlangsung terhenti atau berkurang drastis.

4. Spesifik Terhadap Jenis Hama

Salah satu keunggulan utama dari pemanfaatan serangga mandul adalah spesifiktasnya terhadap jenis hama tertentu. Proses sterilisasi dan pelepasan dirancang untuk menargetkan hama spesifik yang menjadi fokus pengendalian. Ini mengurangi risiko dampak negatif pada organisme non-target dan meminimalkan gangguan ekosistem secara luas.

5. Pemantauan dan Evaluasi:

Implementasi pemanfaatan serangga mandul melibatkan pemantauan dan evaluasi yang cermat terhadap efektivitasnya. Pemantauan ini dapat mencakup survei terhadap populasi hama, analisis reproduksi, dan penilaian dampak terhadap tanaman. Informasi ini penting untuk menilai keberhasilan program pengendalian dan membuat penyesuaian jika diperlukan.

6. Koordinasi dan Manajemen:

Keberhasilan pemanfaatan serangga mandul memerlukan koordinasi yang baik antara petani, peneliti, dan ahli entomologi. Manajemen yang efektif dalam pelepasan dan pemantauan serangga mandul juga diperlukan agar program pengendalian dapat diintegrasikan ke dalam sistem pertanian dengan maksimal.

7. Ketersediaan Sumber Daya:

Penerapan pemanfaatan serangga mandul memerlukan sumber daya yang memadai, terutama dalam hal teknologi sterilisasi, pemantauan, dan pelepasan massal serangga mandul. Ketersediaan sumber daya ini dapat mempengaruhi skalabilitas dan keberlanjutan program pengendalian.

Keunggulan dari penggunaan serangga mandul dalam pengendalian hama tanaman sangat beragam. Pertama-tama, metode ini tidak mengandung bahan kimia berbahaya, yang merupakan keuntungan besar dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Ini juga memberikan

alternatif yang menarik bagi petani yang ingin mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia konvensional. Selain itu, karena serangga mandul bersifat spesifik terhadap hama tertentu, mereka memberikan solusi yang sangat selektif, meminimalkan risiko terhadap organisme non-target dan mempertahankan keseimbangan ekosistem.

Tidak hanya itu, penggunaan serangga mandul dapat memberikan manfaat jangka panjang. Karena serangga mandul tidak meninggalkan keturunan, efek pengendalian mereka berkurang seiring waktu. Ini mengurangi risiko resistensi hama terhadap metode ini, sebuah masalah umum yang sering dihadapi dalam penggunaan pestisida kimia. Dengan pendekatan ini, pertanian dapat mengintegrasikan pengendalian hama yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

Meskipun demikian, konsep serangga mandul juga tidak terlepas dari sejumlah tantangan. Pertama-tama, pemilihan serangga mandul yang sesuai untuk spesifik hama dan lingkungan tertentu merupakan pertimbangan kritis. Pengembangan teknik pembiakan dan sterilisasi yang efisien juga merupakan aspek penting dalam mengoptimalkan keberhasilan program pengendalian ini. Selain itu, koordinasi yang baik antara para ahli entomologi, petani, dan pemerintah diperlukan untuk mengintegrasikan konsep ini ke dalam praktik pertanian sehari-hari.

Penting juga untuk memahami bahwa konsep serangga mandul bukanlah solusi yang dapat diterapkan secara universal untuk semua jenis hama tanaman. Keberhasilan implementasi tergantung pada pemahaman mendalam tentang siklus hidup hama dan ekologi lokal. Oleh karena itu, setiap program pengendalian hama yang melibatkan serangga mandul harus dirancang dan disesuaikan secara khusus untuk memenuhi kebutuhan lingkungan pertanian tertentu.

Dalam menyimpulkan, konsep serangga mandul menawarkan pendekatan yang menjanjikan dan inovatif dalam pengendalian hama tanaman. Dengan memanfaatkan prinsip sterilisasi pada serangga jantan, program ini memberikan solusi yang ramah lingkungan, selektif, dan berkelanjutan dalam jangka panjang. Meskipun tantangan eksperimental dan praktis masih ada, terus mengembangkan dan memperbaiki konsep serangga mandul akan membantu membentuk masa depan pertanian yang lebih seimbang dan berkelanjutan.

4.4 Penutup

Pendekatan inovatif terhadap pengendalian hama menjadi semakin penting saat ini. Artikel ini telah menelaah dua konsep yang menjanjikan, yaitu pengendalian hama secara hayati dan pemanfaatan serangga mandul, sebagai solusi untuk menghadapi tantangan kompleks dalam melindungi hasil pertanian. Dengan memanfaatkan organisme hidup, seperti predator alami, parasitoid dan mikroorganisme bersifat patogen, pengendalian hama secara hayati memberikan alternatif yang berkelanjutan dan berpotensi mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Di sisi lain, konsep serangga mandul membawa pendekatan sterilisasi pada serangga jantan untuk menghambat reproduksi hama tanaman, memberikan solusi yang selektif dan ramah lingkungan.

Keberhasilan pengendalian hama secara hayati dan serangga mandul terletak pada pemahaman mendalam tentang ekologi lokal, adaptasi kebutuhan spesifik pertanian, dan kerjasama antara ilmuwan, petani, dan pemerintah. Dalam melihat ke masa depan pertanian, akan dihadapkan pada peluang untuk membuka pintu menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan aman. Dengan menerapkan pendekatan-pendekatan ini secara bijaksana, tidak hanya melindungi hasil pertanian dari ancaman hama, tetapi juga merintis jalan menuju ekosistem pertanian yang seimbang dan lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- Athifa S, Anwar S, Kristanto BA. 2018. Pengaruh keragaman jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva hama *Oryctes rhinoceros* dan *Lepidiota stigma*. *Jurnal Agro Complex*. 2(2): 120-127. <https://doi.org/10.14710/joac.2.2.120-127>
- Berliani, S., Pradiana, W., & Trisnasari, W. (2021). *Tyto Albo* Inovasi Pengendali Hama Tikus (*Rattus Argentiventer*) Melalui Pemberdayaan Petani Padi Sawah. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(2), 691-698.
- Buchori, D., Mellin, A., Hidayat, P., Sahari. 2010. Species Distribution Of *Trichogramma* And *Trichogrammatoidea* Genus (Trichogrammatoidea: Hymenoptera) In Java. *J. ISSAAS* 16(1): 83-96.
- Dhawan M, Joshi N. 2017. Enzymatic comparison and mortality of *Beauveria bassiana* against cabbage caterpillar *Pieris brassicae* LINN. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(3): 522-529.
- Dirgayana, I.W., I.W. Supartha, dan I.N. Wijaya. 2021. Uji Pemangsaan dan Tanggap Fungsional Predator *Chrysoperia carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) terhadap *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal on Agriculture Science*. 11(1): 76-84.
- Farhadl, R., Allahyari, H., & Julliano, S. A. (2010). Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 39(5), 1586-1592.
- Mellin, A., P. Hidayat, D. Buchori and U. Kartosuwondo U. 2000. Parasitoid telur pada *Plutella xylostella* (L) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Bull. Hama Penyakit Tanaman*. 12(1):21-26.

- Meilin A. 2015. Kelimpahan Dan Tingkat Parasitasi Parasitoid Telur Wereng Batang Cokelat Pada Pertanaman Padi Yang Berbeda Dalam Aplikasi Pestisida. Prosiding Seminar Nasional Peran Inovasi Teknologi Dan Jasa Lingkungan Budaya Subak Dalam Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Denpasar. 12 Desember 2014. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bali. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Bekerjasama dengan Universitas Hindu Indonesia.
- Muharam, A. dan W. Setiawati. 2007 Teknik Perbanyakkan Masal Predator *Menochillus sexmaculatus* Pengendali Serangga *Bemisia tabaci* Vektor Virus Kuning pada Tanaman Cabai. Jurnal Hortikultura. Vol 17 (4): 365-373.
- Nurindah and O.S Bindra. 1989. Studies on *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in the Control of *Heliothis armigera* (Hubner) (Lepidoptera Noctuidae). *Biotrop. Spec. Publ.* 36: 165-173.
- Perumal V, Kannan S, Alford L, Pittarate S, Geedi R, Elangovan D, Marimuthu R, Krutmuang P. 2023. First report on the enzymatic and immune response of *Metarhizium majus* bag formulated conidia against *Spodoptera frugiperda*: An ecofriendly microbial insecticide. *Frontiers in Microbiology*. 14 (1104079): 1-11.
- Prayoga, Y., W. Tengkan, dan Marwoto. 2005. Prospek cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae* untuk mengendalikan ulat grayak *Spodoptera litura* pada kedelai. Jurnal Litbang Pertanian. 24 (1):17-21.
- Prislyya, E., Afifah, L., Sugiarto, Kurniati, A. 2023. Uji Efektivitas Aplikasi Cendawan Entomopatogen *Metarhizium Anisopliae* Terhadap Mortalitas Wereng Batang Coklat (*Nilaparvata Lugens* Stal.). *Jurnal Agroplasma* 10 (2): 776-784.

- Salbiah, D. dan Hidayat, W. 2023. Uji Kemampuan Pemangsaan *Coccinella transversalis* Fabricius. Terhadap *Aphis gossypii* Glover. Dan *Bemisia tabaci* Genn. Hama Tanaman Cabai Merah. *Jur. Agroekotek* 15 (2): 32-47.
- Samoedi D. B. Wirioatmodjo, D. Santoso. 1988. Evaluation of *Trichogramma* liberation to control the sugarcane moth borers *Chillo auricilius* Dudgeon and *Tryporyza nivella intacta* SN on sugarcane in West Java. *Biotrop Spec. Publ.* 32:177-181.
- Sanjaya, Y. 2003. Potensi Pemangsa Predator Reduviidae (*Rhinocoris fuscipes* F.) terhadap *Helicoverpa* spp. *Pengajaran Mipa*, 6(1): 30-35.
- Shepard, B.M and A.T. Barrion. 1998. Parasitoids of insects associated with soybean and vegetable Crops in Indonesia. *J. Agric. Entomol.* 15(3) : 239-272.
- Soejitno, J. 1989. The biological aspects of egg parasitoids of rice stem borer. *Biotrop. Spec. Publ.* 36: 141-147.
- Sudarjat, Hersanti, R. Nurazizah. 2023. Aplikasi Jamur Entomopatogen *Lecanicillium lecanii* pada Berbagai Kerapatan Konidia dan Frekuensi Aplikasi terhadap Hama Kutukebul (*Bemisia tabaci*) pada Tanaman Tomat. *Jurnal Agrikultura* 2023, 34 (2): 274-283.
- Sumah, ASW. 2023. Functional Response Of Predator *Paederus* sp. (Coleoptera: Staphylinidae). *Indonesian Journal of Applied Research (IJAR)*, 4(1), 53-62.
- Suprayogi, Marheni, dan S Oemry. 2015. Uji efektifitas jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopillae* terhadap kepik hijau (*Nezara viridula* L.) (Hemiptera: Pentatomidae) pada tanaman kedelai (*Glycine max* L.) di rumah kaca. *Jurnal Online Agroteknologi*. 3(1): 320-327.

BAB 5

PENGENDALIAN HAMA MENGGUNAKAN PERATURAN KARANTINA TUMBUHAN DAN HEWAN

Oleh Oktaviani

5.1 Memahami Karantina dalam Konteks Pencegahan dan Pengendalian Penyebaran Organisme Hama, Penyakit, dan Organisme Pengganggu Tanaman

5.1.1 Definisi Karantina

Karantina merupakan sistem yang dirancang untuk mencegah masuknya, keluar, serta penyebaran Organisme Pengganggu Hama Karantina (HPHK), Organisme Pengganggu Tumbuhan Karantina (HPIK), dan Organisme Pengganggu Tanaman Karantina (OPTK). Selain itu, karantina juga bertujuan untuk mengawasi dan mengendalikan keamanan dan mutu pangan, pakan, serta mengatur Pengelolaan Risiko Genetika (PRG), Sistem Deteksi Dini (SDG), dan agen hayati lainnya. Jenis-jenis organisme yang menjadi fokus karantina mencakup Organisme Pengganggu Tanaman Asing Invasif, Tumbuhan dan Satwa Liar, serta Tumbuhan dan Satwa Langka. Karantina melibatkan kegiatan pengawasan yang ketat terhadap barang-barang yang masuk atau keluar dari suatu area, serta tindakan pengendalian untuk meminimalkan risiko penyebaran (Setyawaty dan Yullstin, 2024).

5.1.2 Wilayah Kerja BARANTIN

Organisasi karantina di Indonesia, yang dikenal sebagai Badan Karantina Indonesia (BARANTIN), memiliki wilayah kerja yang mencakup 6 Balai Besar (BBKHIT), 1 Balai Uji Standar (BBUSKHIT), 1 Balai Uji Terap (BUTTMKHIT), dan 32 Balai Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan (BKHIT). Selain itu, terdapat kantor induk, satuan pelayanan, dan pos pelayanan yang tersebar di berbagai lokasi strategis, seperti bandara, pelabuhan, dan kantor pos di seluruh Indonesia.

5.1.3 Peraturan Perundang-Undangan Terkait Karantina

Regulasi terkait karantina mencakup peraturan nasional dan internasional. Di antara regulasi nasional yang penting adalah Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan serta Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2003 yang mengatur pelaksanaan Undang-Undang tersebut. Sementara itu, regulasi internasional yang relevan meliputi panduan dan pedoman dari Organisasi Internasional untuk Kesehatan Hewan (OIE), Standar Fitosanitari Internasional (ISPM-IPPC), Perjanjian tentang Penerapan Sanitasi dan Fitosanitasi (WTO/SPS Agreement), serta panduan dari Komisi Kodeks Pangan Makanan (Codex Alimentarius) yang merupakan kerjasama antara FAO dan WHO.

5.1.4 Tujuan Pembangunan Perkarantina

Pembangunan sistem karantina merupakan bagian integral dari perlindungan kesehatan hewan dan tumbuhan, serta bertujuan untuk mendukung perkembangan ekonomi melalui percepatan ekspor dan implementasi standar sanitasi dan fitosanitasi (SPS). Selain itu, karantina juga berperan dalam pengawasan keamanan pangan, pakan, dan melindungi terhadap ancaman bioterrorisme.

5.1.5 Peran Karantina

Karantina memiliki peran penting dalam menjaga keamanan pangan, mengendalikan penyakit hewan dan tumbuhan, serta mencegah penyebaran organisme pengganggu. Selain itu, sebagai bagian dari sistem pengawasan keamanan pangan, karantina bertanggung jawab dalam memberikan pelayanan publik yang efektif sesuai dengan Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang Pelayanan Publik.

5.1.6 Tindakan Karantina

Tindakan karantina mencakup sejumlah langkah seperti pembebasan, pemusnahan, pemeriksaan, penolakan, pengasingan, penahanan, pengamatan, dan perlakuan. Setiap tindakan tersebut diambil sesuai dengan protokol dan prosedur yang telah ditetapkan dalam rangka mengendalikan risiko penyebaran penyakit dan organisme pengganggu.

5.1.7 Pencegahan Penyakit

Pemerintah telah menetapkan berbagai jenis HPHK, HPIK, dan OPTK yang dilarang masuk ke wilayah NKRI. Sejumlah tindakan preventif telah diimplementasikan, termasuk pengaturan tempat pemasukan dan pengeluaran dengan adanya 601 Tempat Pemasukan dan Tempat Pengeluaran yang meliputi bandara, pelabuhan laut, pelabuhan sungai, pos lintas batas, kantor pos, dan dry port.

5.1.8 Kegiatan Pemeriksaan dan Tindakan Karantina

Karantina melaksanakan berbagai kegiatan pemeriksaan dan tindakan karantina terhadap hewan, ikan, dan tumbuhan untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan sumber daya alam serta ketahanan pangan nasional.

5.2 Perlindungan Sumber Daya Alam Indonesia melalui Badan Karantina Indonesia

Dalam upaya melindungi kelestarian sumber daya alam Indonesia, Undang-Undang No. 21 Tahun 2019 memiliki peran penting sebagai landasan hukum yang mengatur tugas dan fungsi Badan Karantina Indonesia. Badan Karantina Indonesia merupakan lembaga yang memiliki tanggung jawab besar dalam menjaga keamanan sumber daya alam Indonesia dari ancaman masuk dan tersebarnya hama penyakit hewan, tumbuhan, serta benda lain yang dapat merugikan keberlangsungan ekosistem dan kesehatan masyarakat.

5.2.1 Tugas dan Fungsi Badan Karantina Indonesia

1. Badan Karantina Indonesia memiliki beberapa tugas dan fungsi utama, antara lain:
2. Perlindungan dari Ancaman Masuk dan Tersebarnya Hama Penyakit
3. Melindungi sumber daya alam Indonesia dari ancaman masuk dan tersebarnya hama penyakit hewan, tumbuhan, dan benda lainnya dari luar negeri.
4. Melindungi dari ancaman masuk dan tersebarnya hama penyakit antar area dalam wilayah NKRI.
5. Pengawasan Keamanan Pangan, Pakan, dan Perlindungan terhadap Bioterrorisme
6. Memastikan keamanan pangan, pakan, dan melindungi dari ancaman bioterrorisme yang dapat membahayakan keberlangsungan ekosistem dan kesehatan masyarakat.

7. Akselerasi Ekspor Produk Pertanian Indonesia
8. Mendorong ekspor produk pertanian Indonesia dengan menjadi trade facilitator dalam memenuhi persyaratan karantina dari negara tujuan.
9. Pentingnya Pemenuhan Persyaratan Karantina
10. Pemenuhan persyaratan karantina sangat penting karena:
11. Mencegah terbitnya notifikasi ketidakpatuhan dari negara tujuan ekspor.
12. Mencegah penolakan produk ekspor Indonesia oleh negara tujuan.
13. Mencegah perlakuan atau perlakuan ulang di negara tujuan ekspor.
14. Mencegah pemusnahan produk Indonesia di negara tujuan ekspor.
15. Mencegah penutupan akses pasar produk Indonesia oleh negara tujuan ekspor.

5.2.2 Tantangan dalam Pemenuhan Persyaratan Karantina

Beberapa tantangan yang dihadapi dalam pemenuhan persyaratan karantina meliputi:

1. Residu Pestisida
Contoh: Karbaril pada kopi ekspor ke Jepang, 2,4D pada biji kakao ekspor ke Jepang.
2. Mikotoksin
Contoh: Aflatoksin pada bumbu pecel ekspor ke Jepang.
3. Logam Berat
Contoh: Kadmium pada manggis ekspor ke Tiongkok.
4. Mikroba
Contoh: Salmonella pada lada ekspor ke Amerika Serikat.

5.2.3 Penegakan Hukum dan Tindakan Karantina

Penegakan hukum dan tindakan karantina dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip hukum, seperti:

1. Asas *Ultimum Remedium*: Hukum pidana sebagai upaya terakhir dalam penegakan ketentuan administrasi di bidang karantina hewan dan tumbuhan.
2. Asas *Contrarius Actus*: Memberikan kemungkinan peninjauan kembali atau pembatalan keputusan karantina jika terdapat kekeliruan atau kehilafan.
3. Asas *Presumptio Justis Causa*: Sebelum putusan pengadilan inkrah, keputusan pemerintah harus dianggap benar (Setyawaty dan Yulistin, 2024).

Badan Karantina Indonesia memiliki peran yang sangat penting dalam melindungi kelestarian sumber daya alam Indonesia. Dengan menjalankan tugas dan fungsi sesuai dengan Undang-Undang No. 21 Tahun 2019, Badan Karantina Indonesia berperan dalam menjaga keamanan lingkungan, kesehatan masyarakat, dan mendukung ekspor produk pertanian Indonesia.

5.3 Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan

5.3.1 Proses Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan

Proses Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan meliputi beberapa tahapan, antara lain:

1. Pemasukan: Kegiatan memasukkan media pembawa dari luar ke dalam wilayah Indonesia.
2. Pemeriksaan: Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan tidak adanya hama, penyakit, atau organisme pengganggu lainnya pada media pembawa.
3. Pengasingan: Tindakan pengasingan dilakukan jika ditemukan media pembawa yang membawa potensi bahaya.

4. Penahanan: Media pembawa yang ditemukan membawa hama, penyakit, atau organisme pengganggu lainnya dapat ditahan untuk dilakukan tindakan lanjutan.
5. Penolakan: Jika media pembawa tidak memenuhi persyaratan karantina, maka dapat dilakukan penolakan masuk ke wilayah Indonesia.
6. Pemusnahan: Media pembawa yang membawa hama, penyakit, atau organisme pengganggu lainnya yang membahayakan dapat dimusnahkan.
7. Pembebasan: Media pembawa yang telah melewati proses karantina dengan baik akan dibebaskan untuk masuk ke wilayah Indonesia.

5.3.2 Penetapan Jenis HPHK, HPIK, dan OPTK

Pemerintah pusat menetapkan jenis-jenis hama, penyakit, dan organisme pengganggu lainnya serta media pembawa yang berpotensi membawa mereka ke wilayah Indonesia. Penetapan ini didasarkan pada analisis risiko dan pemantauan daerah sebaran.

5.3.3 Tempat Pemasukan dan Pengeluaran

Tempat-tempat seperti pelabuhan laut, pelabuhan udara, dan kantor pos diatur sebagai tempat pemasukan dan pengeluaran untuk mengawasi masuk dan keluarnya media pembawa yang berpotensi membawa hama, penyakit, atau organisme pengganggu.

5.3.4 Tindakan Karantina Diluar Tempat Pemasukan dan Pengeluaran

Tindakan karantina dapat dilakukan di luar tempat pemasukan dan pengeluaran dalam berbagai situasi tertentu, seperti keadaan darurat, penolakan dari negara tujuan, atau saat transit di lintas batas negara. Ijin Pengeluaran diberikan kepada MP yang telah memenuhi syarat administrasi dan dinyatakan

bebas dari HPHK, HPIK, serta OPTK, serta sesuai dengan persyaratan Karantina lainnya.

5.3.5 Penanggung Jawab Alat Angkut dan Media Pembawa

Penanggung jawab alat angkut berkewajiban untuk menyampaikan dokumen pemberitahuan pemasukan media pembawa kepada pejabat karantina. Pelanggaran terhadap kewajiban ini dapat dikenai sanksi administratif.

5.3.6 Pemberitahuan dan Penolakan Media Pembawa

Penolakan media pembawa dapat dilakukan jika tidak memenuhi persyaratan dokumen atau jika tidak diketahui atau ditemukan pemilikinya. Pemilik media pembawa yang tidak mematuhi ketentuan dapat dikenai sanksi administratif.

5.3.7 Pengawasan Terintegrasi

Pengawasan terintegrasi dilakukan terhadap media pembawa hama, penyakit, dan organisme pengganggu lainnya serta produk-produk yang berpotensi membawa risiko karantina. Hal ini melibatkan kerja sama antarinstansi terkait di tingkat nasional dan internasional.

5.3.8 Pemantauan dan Investigasi Karantina

Pemantauan dan investigasi karantina dilakukan untuk mengidentifikasi, memantau, dan menilai risiko hama, penyakit, dan organisme pengganggu lainnya yang ada di wilayah Indonesia serta untuk menyusun rekomendasi tindakan yang tepat.

5.3.9 Penanganan Hama, Penyakit, dan Organisme Pengganggu

Penanganan hama, penyakit, dan organisme pengganggu dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengendalian hayati, kimiawi, fisik, atau mekanik. Upaya ini bertujuan untuk

meminimalkan dampak yang ditimbulkan serta mencegah penyebaran lebih lanjut.

5.3.10 Peran dan Kewajiban Masyarakat

Masyarakat memiliki peran dan kewajiban dalam mendukung kegiatan karantina, seperti memberikan informasi yang akurat, melaporkan kejadian atau dugaan adanya hama, penyakit, atau organisme pengganggu, serta mematuhi ketentuan yang berlaku.

1. Pengawasan dan Pengendalian

BKI memiliki wewenang untuk melakukan pengawasan dan pengendalian terhadap kegiatan karantina, termasuk melakukan inspeksi, pengujian, penyidikan, dan penindakan terhadap pelanggaran.

2. Sanksi Administratif

Pelanggaran terhadap ketentuan karantina dapat dikenai sanksi administratif berupa peringatan tertulis, teguran tertulis, penangguhan izin, pencabutan izin, atau denda sesuai dengan tingkat pelanggaran yang dilakukan.

3. Kemitraan

BKI menjalin kemitraan dengan berbagai pihak, seperti instansi pemerintah, lembaga swadaya masyarakat, perguruan tinggi dan dunia usaha, dalam rangka meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan karantina (Setyawaty dan Yulistin, 2024).

5.3.11 Pemantauan, Evaluasi, dan Pelaporan

BKI melakukan pemantauan, evaluasi, dan pelaporan terhadap pelaksanaan kegiatan karantina secara berkala untuk menilai kinerja dan efektivitasnya serta untuk menyusun rekomendasi perbaikan dan pengembangan kebijakan.

5.4 Ketentuan Pidana dalam UU Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan

Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan (UU Karantina) memiliki ketentuan pidana yang mengatur tindakan-tindakan yang dilarang dan sanksi yang diberikan bagi pelanggar. Bab ini akan menguraikan secara rinci Pasal 86, Pasal 87, dan Pasal 88 beserta implikasinya dalam konteks tidak terlengkapinya persyaratan pemasukan, pengeluaran, dan antar-area media pembawa.

Pasal 86: Ketentuan Pidana Terhadap Tidak Terlengkapinya Persyaratan Pemasukan

Pasal 86 UU Karantina menegaskan bahwa setiap orang yang melanggar persyaratan pemasukan media pembawa ke dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia akan dikenai pidana.

Tindakan yang termasuk dalam pelanggaran ini meliputi:

1. Memasukkan media pembawa tanpa melengkapi sertifikat kesehatan dari negara asal.
2. Memasukkan media pembawa tanpa melalui tempat pemasukan yang ditetapkan oleh Pemerintah Pusat.
3. Tidak melaporkan atau menyerahkan media pembawa kepada Pejabat Karantina di tempat pemasukan yang ditetapkan oleh Pemerintah Pusat.
4. Transit media pembawa tanpa menyertakan surat keterangan transit.

Pelanggaran ini diancam dengan pidana penjara maksimal 10 tahun dan denda hingga Rp10 miliar.

Pasal 87: Ketentuan Pidana Terhadap Tidak Terlengkapinya Persyaratan Pengeluaran

Pasal 87 UU Karantina mengatur sanksi pidana terhadap pelanggaran terhadap persyaratan pengeluaran media pembawa dari wilayah Indonesia. Pelanggaran tersebut meliputi:

1. Mengeluarkan media pembawa tanpa melengkapi sertifikat kesehatan.
2. Mengeluarkan media pembawa tanpa melalui tempat pengeluaran yang ditetapkan oleh Pemerintah Pusat.
3. Tidak melaporkan atau menyerahkan media pembawa kepada Pejabat Karantina di tempat pengeluaran yang ditetapkan oleh Pemerintah Pusat. Pelanggaran ini diancam dengan pidana penjara maksimal 3 tahun dan denda.

Pasal 88: Ketentuan Pidana Terhadap Tidak Terlengkapnya Persyaratan Antar-Area

Pasal 88 UU Karantina menjelaskan sanksi pidana terhadap pelanggaran terhadap persyaratan antar-area media pembawa di dalam wilayah Indonesia (Setyawaty dan Yulistin, 2024).

5.5 Peran Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan

Karantina tumbuhan memiliki peran penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Berikut adalah beberapa kontribusinya:

1. **Perlindungan Terhadap Keanekaragaman Hayati:** Karantina tumbuhan berfungsi sebagai benteng pertahanan pertama untuk melindungi keanekaragaman hayati. Dengan mengidentifikasi, mencegah, dan mengendalikan masuknya organisme berbahaya, karantina tumbuhan membantu menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Dengan demikian, pertanian berkelanjutan dapat diperkuat dengan meminimalkan risiko terhadap tanaman, hewan, dan lingkungan (Suharto, 2006).

2. Mencegah Penyebaran Penyakit Tanaman: Karantina tumbuhan juga berperan dalam mencegah penyebaran penyakit tanaman. Dengan mendeteksi penyakit secara dini dan memberlakukan tindakan karantina yang tepat, sistem ini mencegah penyebaran penyakit yang dapat merugikan hasil pertanian. Keberlanjutan pertanian terjaga karena risiko penyebaran penyakit diminimalkan, mengurangi kebutuhan untuk penggunaan pestisida dan pupuk kimia yang dapat merusak lingkungan (Susetyo, 2023)
3. Memastikan Keamanan Pangan dan Ketahanan Pangan: Peran karantina tumbuhan mencakup aspek keamanan pangan dan ketahanan pangan. Dengan melindungi tanaman dari organisme berbahaya, karantina tumbuhan memastikan produksi pangan yang aman dan berkelanjutan. Dengan mencegah kerugian hasil yang dapat disebabkan oleh hama atau penyakit, karantina tumbuhan mendukung ketahanan pangan dan mengurangi tekanan terhadap sumber daya alam (Susetyo, 2023).
4. Pengendalian Perdagangan Internasional Organisme Berbahaya: Karantina tumbuhan berkontribusi pada pengendalian perdagangan internasional organisme berbahaya. Dengan menerapkan standar dan prosedur karantina yang ketat, negara-negara dapat memitigasi risiko pengenalan organisme berbahaya melalui perdagangan internasional. Ini mendukung prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan dengan mencegah introduksi organisme invasif yang dapat merusak ekosistem lokal (Muslimah dan Latifah, 2022).
5. Integrasi Karantina Tumbuhan dalam Praktik Pertanian Berkelanjutan: Karantina tumbuhan dapat menjadi bagian integral dari praktek pertanian yang memperhatikan aspek ekologis, ekonomis, dan sosial. Dengan mengintegrasikan

metode pengendalian organik, pelibatan petani, penerapan sistem pertanian terpadu, dan inovasi teknologi, karantina tumbuhan dapat mendukung pertanian berkelanjutan (Yani, 2019).

6. Tanggung Jawab Global untuk Keberlanjutan Pertanian dan Karantina Tumbuhan: Dengan mengakui interkoneksi antara sistem pertanian dan keamanan pangan global, tindakan kolaboratif antarnegara dan kemitraan global menjadi penting untuk menjaga kesehatan tanaman dan mendukung pertanian yang berkelanjutan secara global. Ini meliputi kemitraan antarlembaga dan negara, peningkatan kesadaran global, mobilisasi sumber daya global untuk inovasi, dan adopsi standarisasi internasional dalam karantina tumbuhan (Setyowati *et al.*, 2019).

Oleh karena itu, UU Nomor 21 Tahun 2019 tentang Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan memberikan ketentuan pidana yang tegas terhadap pelanggaran persyaratan pemasukan, pengeluaran, dan antar-area medis pembawa. Sanksi pidana yang diatur dalam pasal-pasal tersebut bertujuan untuk mencegah dan mengendalikan masuknya serta keluarnya hewan, ikan, dan tumbuhan yang berpotensi membahayakan kesehatan dan kelestarian lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita Setyawaty dan Eka Yulistin. 2023. Praktisi Mengajar: Tata Cara dan Alur Permohonan Karantina. Proteksi Tanaman UNSRI.
- Muslimah, S. and Latifah, E. (2022). Perdagangan Internasional Dan Perlindungan Lingkungan Hidup: Sebuah "Trade-Off" Pada Sistem Wto Yang Memerlukan Penyelesaian'. *Jurnal Bina Mulia Hukum*, 6(2), pp. 273-294. Available at: <https://doi.org/10.23920/jbmh.v6i2.689>.
- Setyowati, R. et al. (2019). Perilaku Pengguna Jasa Karantina Pertanian dalam Mendukung Perlindungan Sumberdaya Alam Hayati. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*. 9(3): 577-586. Available at: <https://doi.org/10.29244/jpsi.9.3.577-586>.
- Suharto. (2006). Laporan Akhir Analisis dan Evaluasi Hukum Tentang Karantina Hewan, Ikan dan Tumbuh-tumbuhan (UU No.16 Tahun 1992). (16): 1-44.
- Susetyo, H.P. (2023). Arti dan peran penting Karantina Pertanian sebagai salah satu Strategi Pengendalian Penyakit Tanaman. 69-73.
- Yani, A. (2019). *Pengertian, Prinsip Dasar dan Konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT)*. Cybex.Pertanian.go.id.

BAB 6

PENGENDALIAN HAMA SECARA KIMIAWI

Oleh Effi Alfiani Sidik

6.1 Identifikasi Hama

Pengetahuan dan pengalaman pengguna sangat penting untuk penggunaan pestisida yang tepat dan efektif. Sebelum memulai aplikasi pestisida apa pun, hal-hal penting yang harus diketahui termasuk gejala dan tanda yang dapat dilihat dan membantu dalam mengidentifikasi hama, mengenali fase kehidupan hama beserta tanaman inangnya, dan memperkirakan masalah yang akan timbul terkait dengan kondisi di lokasi penggunaan. Mengidentifikasi hama dengan benar harus menjadi langkah pertama dalam penentuan. Langkah selanjutnya adalah mengetahui atau menentukan siklus hidup hama terutama fase hama yang sedang atau telah merusak tanaman inang. Mengenali fase hidup hama memungkinkan dalam mengatur waktu dalam pengendalian, terutama dalam memanfaatkan kondisi biologi tertentu dari hama misalnya pada saat fase paling rentan dari hama sasaran. Aplikasi pestisida dapat diaplikasikan bertepatan saat fase rentan dari hama misalnya pada saat pergantian kulit atau saat mobilitasnya rendah. Pengetahuan tentang peran faktor biologi hama penting untuk dipelajari demi mendukung keberhasilan dalam pengendalian terutama kimiawi. Faktor biologi tersebut meliputi karakteristik fisik, jenis, dan ukuran hama; siklus hidup hama; sumber makanan dan tempat hidup; kondisi lingkungan yang diperlukan untuk reproduksi (Blecker 2019).

Pestida memang mampu secara efektif dan cepat dalam mengendalikan hama, namun memiliki dampak yang relatif lebih tinggi daripada pengendalian lainnya jika tidak digunakan secara bijak. Penggunaannya diharuskan ketika setelah dilakukan observasi ataupun monitoring menunjukkan jika memang pestisida diperlukan dengan pertimbangan berbagai faktor. Siklus hidup atau tahap kehidupan hama terutama serangga mengalami proses metamorfosis sempurna dan metamorfosis tidak sempurna. Secara umum setidaknya terdapat satu fase dalam tahapan siklus hidupnya yang merupakan saat paling lemah atau rentan bagi mereka, sehingga peluang tersebut dapat digunakan untuk aplikasi pestisida. Misalnya pada fase larva lebih mudah dikendalikan daripada fase imago. Adapun fase telur lebih mudah dikendalikan daripada fase imago misalnya telur penggerek batang padi, karena fase imago berada dalam pelepah. Namun umumnya banyak dari jenis hama sulit dikendalikan pada saat fase telur, kepompong, maupun imago.

Kekeliruan dalam hal identifikasi hama target merupakan alasan yang paling utama dalam kegagalan pengendalian secara kimiawi. Saat ini telah banyak alat bantu dalam hal identifikasi hama, mulai dari situs website maupun aplikasi yang dapat didownload secara gratis. Teknik identifikasi hama telah mengalami perkembangan yang pesat dan banyak darinya yang berbasis digital. Selain itu dapat pula untuk identifikasi serangga hingga hewan lainnya serta penyebab kerusakan tanaman atau serangan hama. Melalui alat identifikasi tersebut dapat membantu saat proses identifikasi berdasarkan jenis organisme maupun gejala yang ditimbulkan. Contoh aplikasinya yaitu Plantix, Agrio, BugsDetect, Picture Insect: Bug Identifier, dan masih banyak lainnya.

Kerusakan akibat dari serangan hama dapat disebabkan oleh jenis hama yang polifag dan monofag yang menunjukkan karakteristik kerusakan gejala pada tanaman yang diserang, dikategorikan sebagai berikut:

1. Kerusakan akibat hama pemakan daun

Menimbulkan kerusakan pada daun dengan gejala terkoyak atau sobeknya daun mulai dari tepi, sobeknya daun tidak teratur bahkan tersisa hingga tulang daunnya, terdapat banyak lubang kecil hingga besar yang saling berdekatan pada permukaan daun, batang muda dimakan dan tergerogoti, batang patah karena ada bagian yang termakan, tunas tanaman rebah dan patah hingga gundul, akar terpotong hingga ke pangkal, muncul guratan atau sobekan melingkar pada permukaan daun, terdapat sisa kotoran hama atau lendir yang ditinggalkan.

- Beberapa jenis ulat yaitu ulat tanah, ulat matahari, ulat grayak, ulat bulu, ulat jengkal, ulat kantong, ulat keket, ulat Saturniidae, berbagai ulat daun, ulat pemotong, ulat kelapa dan kubis.
- Beberapa jenis belalang yaitu belalang pedang, belalang daun, belalang setan, belalang kayu, belalang kembara.
- Beberapa jenis kumbang yaitu kumbang daun, kumbang gajah dan kumbang catut.
- Golongan Gastropoda yang beranggotakan siput dan keong

2. Kerusakan akibat hama penggerek

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala batang luar berlubang hingga mengeluarkan cairan berbau busuk dan kotoran hama, daun hingga ranting layu/ mengering hingga rontok, daging buah membusuk dan permukaannya berlubang, ketika membuka buah/umbi terdapat hama dan sisa kotorannya dengan bau yang menyengat, pada kulit buah terdapat bekas gerakan/lubang tak beraturan, tunas dan bunga rontok, lubang pada polong hingga membuatnya kopong/tidak berisi, umbi

menjadi berkeropeng dan berlubang. Contohnya adalah berbagai jenis penggerek yaitu penggerek batang, tunas, pucuk bunga, polong, buah, dan umbi.

3. Kerusakan akibat hama penghisap

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala lubang yang ditimbulkan dari hisapan hama ini sangat kecil, muncul bercak nekrotik berwarna kecoklatan hingga kehitaman, menyebabkan tunas/daun mengeriting dan mengecil/mengerut, daun menjadi kering dan layu, polong/buah menjadi rusak dan mudah rontok, pucuk tunas dan daun muda menghitam seperti terbakar, bekas tusukan pada buah menunjukkan lesi dengan warna cokelat kehitaman (Gambar 6.1a), seluruh tanaman dapat mengering seperti terbakar, bibit tanaman seringkali mengering dan gagal tumbuh membentuk daun baru, terjadi malformasi daun karena cairan daun dihisap, daun mengkerut ke atas/bawah hingga rusak dan di balik daun terdapat koloni hama yang berkerumun, tunas dan daun hingga batang diselimuti oleh lapisan berwarna putih.

- Berbagai jenis wereng yaitu wereng hijau, wereng cokelat, wereng daun, wereng buah, wereng lilin
- Berbagai jenis kutu yaitu kutu loncat, kutu persik putih, kutu putih, kutu daun/Aphid, kutu sisik, kutu perusak daun/Myzus
- Berbagai jenis kepik yaitu kepik tanaman, kepik hijau/Nezara, kepik perusak/Helopeltis

4. Kerusakan akibat hama penggrogok daun

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala permukaan daun akan tambah seperti ada semacam guratan putih menjalar seperti jalan (Gambar 6.1b), daun menjadi mengering, bekas korokan juga dapat membentuk alur yang berwarna hitam kecokelatan dan keperakan hingga mengkilat, tunas/daun muda

layu dan tidak dapat lanjut untuk tumbuh. Contohnya adalah penggorok daun/*Liriomyza*, peliang daun jeruk/*Phyllocnistis*.

5. Kerusakan akibat hama yang membentuk puru

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala pada permukaan daun nampak terdapat bisul dengan ukuran dan bentuk yang tidak teratur menyerupai tonjolan yang keluar (Gambar 6.1c), permukaan daun terlihat mencuat dengan bintil/bisul berwarna kehitaman dan sedikit berlubang, terdapat hama yang hidup dan bersembunyi di dalam bintil/bisul jika dibelah. Contohnya adalah nematoda, lalat bisul daun.



Gambar 6. 1. Berbagai gejala pada tanaman (a) buah kakao berlubang dengan lesi cokelat kehitaman oleh *Helopeltis*. (b) alur korokan berwarna putih pada daun sawi oleh penggorok daun/*Liriomyza*. (c) gejala puru daun jambu oleh lalat bisul (Widodo 2020).

6. Kerusakan akibat hama pelipat dan penggulung daun

Menimbulkan kerusakan pada gejala tanaman yaitu bagian daun akan digunakan sebagai tempat tinggal, daun tersobek dan terkoyak, daun akan digulung dan merekat satu sama lain, daun yang tergulung akan rusak. Jika gulungan dibuka akan terdapat hama atau sisa kotoran yang ditinggalkan.

- Hama putih paisu
- Hama putih
- Ulat penggulung daun pisang/*Erianota*

- Penggulung daun/*Pyraustinae*
- Penggulung daun kedelai/*Lamprosema*

7. Kerusakan akibat hama Trips dan Tungau

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala menggulung dan mengeringnya daun terutama yang muda, kerusakan parah menyebabkan daun keriput/kering dan rontok, bagian bawah daun diselimuti lapisan berwarna tembaga, bunga dan tunas mengalami kerontokan, bencak kecil timbul di permukaan luar buah dan jika diraba seperti bersisik atau lebih tebal, ukuran buah menjadi lebih kecil. Contohnya adalah tungau putih, trips/*Thysanoptera*.

8. Kerusakan akibat hama lalat

Menimbulkan kerusakan pada tanaman dengan gejala pada buahnya nampak mengkerut/keriput dan mengering sehingga busuk sebelum pematangan, terdapat lesi/lubang kecil bekas tusukan berwarna hitam kecoklatan, terkadang timbul getah yang telah kering pada permukaan yang diserang. Contohnya adalah lalat buah, lalat bibit.

9. Kerusakan akibat hewan pengerat dan lainnya

Menimbulkan kerusakan dengan memakan daun, buah, batang, hingga akar. Bibit tanaman terkoyak hingga hilang, batang digerogoti hingga patah, tanaman habis dimakan tak bersisa.

6.2 Aspek Penentu Aplikasi dan Penggolongan Pestisida

Aplikasi pestisida seharusnya ditujukan utamanya untuk perlindungan tanaman dengan cara menghentikan serangan serta mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT) misalnya hama dan bukan ditujukan untuk meningkatkan produksi tanaman

ataupun menyuburkan tanaman. Pestisida yang diaplikasi hanya mampu mengurangi kerusakan dan kehilangan hasil panen sebagai dampak dari aktifitas hama. Saat aplikasi pestisida wajib memperhatikan beberapa prinsip penggunaannya yaitu "legal" dengan tujuan perlindungan kepada masyarakat terutama konsumen terhadap kemungkinan dampak negatif yang akan timbul; "benar" dengan tujuan aplikasi pestisida disesuaikan dengan rekomendasi sehingga efektif dalam pengendalian; dan "bijaksana" dengan tujuan memastikan aplikasi pestisida ekonomis dan tidak berlebihan, mencegah resistensi, dan menghindari dampak negatif (Djojosumarto 2008). Aspek penting terkait pemilihan aplikasi pestisida meliputi penentuan jenis pestisida (berdasarkan bahan aktifnya, cara kerja, daya racun atau bunuh, pengaruh terhadap non-target, residu), metode yang digunakan, dan kapan waktu tepat dalam aplikasi (Mudjiono 2013).

6.2.1 Aspek Penentuan Aplikasi Pestisida

Kegiatan monitoring rutin dibarengi dengan perkiraan kemunculan hama dan penentuan ambang batas ekonomi dapat dijadikan sebagai salah satu cara untuk memastikan aplikasi pestisida kimia yang digunakan untuk pengendalian populasi hama memang sangat dibutuhkan. Umumnya dikalangan petani, penggunaan pestisida melalui pendekatan bahwa aplikasinya dilakukan secara rutin untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman agar tidak terserang hama. Namun perlu diketahui bahwa keberadaan hama pada tingkat tertentu dapat ditoleransi, umumnya tanaman mampu mentolerir tingkat infestasi hama tertentu sebelum menyebabkan menurukan produksi. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa keberadaan hama pada tanaman inang berada di bawah ambang batas ekonomi.

Pemahaman terkait identifikasi hama yang telah dijelaskan sebelumnya dapat menjadi pedoman dalam menilai keberadaan dan perkembangan hama berdasarkan sifat biologinya. Nantinya informasi tersebut menjadi dasar saat dilakukan monitoring rutin

sebagai pertimbangan dalam penentuan ketepatan waktu aplikasi pestisida. Metode monitoring dalam bermacam-macam tergantung kondising lingkungan serta kemampuan pemonitor. Umumnya alat yang mudah digunakan dalam monitoring adalah menggunakan alat bantu perangkap serangga atau artropoda di sekitar pertanaman, misalnya *sweep net*/perangkap jaring, *fit fall trap*/perangkap jatuh, dan *ligh trap*/perangkap cahaya. Selain itu monitoring dengan observasi secara visual dan pencatatan merupakan metode yang paling mudah dilakukan.

Melalui alat bantu tersebut akan didapatkan sampel hama yang terperangkap kemudian ditentukan statusnya apakah sebagai hama, musuh alami atau yang lainnya. Selanjutnya dilakukan perkiraan populasi hama tersebut berdasarkan jenis hama, tahap kehidupan atau stadia, jenis dan bagian tanaman yang dirusak. Identifikasi yang tepat akan akan menentukan secara akurat representasi populasi dan kerusakan yang ditimbulkan sesuai perkembangan stadia waktu monitoring.

Dengan melakukan monitoring secara rutin maka akan diperoleh informasi terkait jenis, jumlah, waktu, potensi maupun resiko keberadaan hama sehingga keputusan aplikasi pestisida kimiawi dapat dilakukan secara tepat. Penggunaan secara tepat tersebut memberikan kontrol efektif dan mengurangi timbulnya dampak buruk bagi tanaman, musuh alami, aplikator, maupun lingkungan. Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah identifikasi hama sasaran tepat, lokasi aplikasi sesuai, apakah hama sasaran tercantum dalam label pestisida yang digunakan, seberapa beracunkah pestisida tersebut, dosis yang diaplikasikan sesuai label, apakah pestisida tersebut memiliki kandungan yang berpotensi menjadi pencemar air tanah dan lingkungan (Miller 2011).

6.2.2 Penggolongan Jenis Pestisida

Pengetahuan terkait siklus hidup maupun biologi hama dapat dimanfaatkan sebagai faktor penentu aplikasi pestisida, contohnya aplikasi dilakukan bertepatan dengan fase rentan hama target. Terdapat beberapa pestisida yang telah diformulasikan berdasarkan pada biologi hama target, metabolisme hama, fungsi organ maupun reproduksi hama, serta karakteristik hidup atau kebiasaan hama. Berdasarkan jenis hamanya, pestisida dapat digolongkan menjadi insektisida untuk pengendalian serangga, nematisida untuk pengendalian nematoda, rodentisida untuk pengendalian hewan pengerat. Pertimbangan dampak pestisida perlu memperhatikan potensi paparan terhadap hama lain yang bukan sasaran, musuh alami, serangga penyerbuk, hasil panen, manusia, lingkungan sekitar, dan pelaku aplikasi.

Seperti yang telah disebutkan pada subbab sebelumnya, selain identifikasi yang tepat berikut merupakan kunci dalam proses pemilihan aplikasi pestisida: menentukan fase/stadia hama paling rentan, menentukan waktu aplikasi yang cocok pada fase hama, dampak target dan nontarget, selektivitas dan toksisitas pestisida yang digunakan, kemudahan penggunaan dan kompatibilitas, biaya dan kemampuan hasil aplikasi, bahan aktif atau formulasi. Saat ini penggunaan pestisida dianjurkan memperhatikan dampak buruk yang ditimbulkan secara langsung maupun tidak langsung. Banyak metode pengendalian hama yang mempertimbangkan pelestarian musuh alami, sehingga berlaku pula untuk penggunaan pestisida dengan mengatur waktu penerapan, lokasi penerapan, dan pemilihan jenis pestisida yang selektif. Dimana aplikasinya sesuai target sasaran dan mengurangi dampak buruk terhadap organisme lain, manusia, dan lingkungan.

Pestisida yang umum digunakan dapat bersifat sistemik yaitu ditranslokasikan ke seluruh bagian yang diaplikasi, dan nonsistemik yaitu bekerja secara kontak pada hama target. Pestisida sistemik biasanya diaplikasikan pada permukaan daun

ataupun akar tanaman, selanjutnya ditranslokasikan menyeruluh pada semua bagian tanaman. Hama target yang sedang merusak atau melakukan aktivitas makan pada tanaman yang diaplikasi akan mengalami kematian. Pestisida diformulasikan ke dalam kategori berdasarkan jenis hama sasaran yaitu insektisida dan rodentisida.

- **Insektisida**

Insektisida merupakan produk berbahan kimia yang dikembangkan untuk pengendalian hama berjenis serangga. Hama berjenis serangga merupakan hama paling dominan yang sering hadir sebagai hama utama di banyak pertanaman. Selain berperan sebagai hama utama, ada beberapa serangga yang berperan ganda sebagai vektor pembawa penyakit misalnya vektor pembawa penyakit yang disebabkan oleh virus.

- **Rodentisida**

Jenis rodentisida yang umum digunakan untuk pengendalian hama vertebrata. Pengetahuan terkait habitat, kebiasaan, dan sifat biologi dari hama sasaran merupakan faktor yang mendasari pemilihan jenis pestisida yang digunakan. Karena sifatnya yang mudah bergerak bebas maka seringkali hama vertebrata tidak muncul saat dilakukan observasi maupun monitoring. Solusinya adalah dilakukan identifikasi pada gejala maupun tanda yang ditinggalkan oleh hama tersebut misalnya jejak, bekas gigitan, kotoran, lubang galian, sarang, maupun tempat penyimpanan makanan berdasarkan kebiasaan mereka. Dalam pengendalian hama vertebrata cenderung sulit dilakukan karena mobilitas yang cukup tinggi, sifatnya yang agresif, ukuran cenderung lebih besar daripada hama lainnya, banyak yang bergerak secara berkelompok. Maka alternatif pengendalian yang diperlukan adalah penggabungan metode kimiawi yang digabungkan dengan teknik modifikasi habitat hama tersebut.

6.3 Aplikasi Pengendalian Hama secara Kimia

Pengendalian kimia ditujukan untuk mengurangi populasi hama yang tak terkendali sehingga dapat mengurangi dan mencegah kerusakan tanaman inang. Pengendalian secara kimia menjadi pilihan cepat dan efisien dalam pengendalian karena mampu berdampak langsung terhadap keberadaan dan perkembangan populasi hama. Populasi hama yang sangat merusak dan menjadi mayoritas di lahan pertanian berasal dari golongan serangga. Pengendalian secara kimia diterapkan dalam bentuk insektisida yang berspektrum luas maupun spesifik target untuk menekan serangga hama.

Penggolongan insektisida terbagi berdasarkan cara kerja toksikologinya, cara penetrasinya, dan sifat kimianya. Berdasarkan cara penetrasinya diklasifikasikan menjadi beberapa efek kerja yaitu:

- Racun kontak, umumnya dapat terserap langsung lewat kulit hama. Aplikasinya dapat dilakukan pada permukaan daun dan tanah.
- Racun perut, diharuskan tertelan dan tercerna dalam tubuh hama agar dapat memberikan efek mematikan. Aplikasinya dilakukan dengan penyemprotan pada permukaan daun ataupun dicampur dengan umpan.
- Fumigan, difungsikan agar terhirup oleh hama. Aplikasinya berupa zat yang menguap dan gas beracun untuk membunuh hama dalam ruangan tertutup.
- Racun sistemik, umumnya dapat diserap oleh tanaman melalui daun ataupun akar selanjutnya ditranslokasikan menyururuh dalam tanaman (Gambar 6.2). Aplikasinya dilakukan dengan cara disemprotkan langsung ke tanaman, pengolesan pada batang disiramkan ke dalam tanah sekitar tanaman, dan pencelupan akar.



Gambar 6. 2.

Ilustrasi perbedaan cara kerja sistemik dan non sistemik (<http://npic.orst.edu/outreach/systemic-infographic.png>).

- Antifeedan, merupakan bahan kimia tertentu yang diformulasikan sebagai penghalang respon makan serangga hama yang bersifat polifag. Umumnya berperan sebagai perlindungan bagi tanaman sebelum ataupun saat serangan hama.

Bahan aktif memiliki pengertian yaitu bahan kimia yang terkandung dalam suatu produk pestisida yang berperan untuk mengendalikan, mengusir, mencegah, dan membunuh hama. Bahan aktif umumnya dapat diidentifikasi berdasarkan nama yang tertera pada label produk pestisida. Bahan aktif diklasifikasikan berdasarkan struktur kimia maupun cara kerjanya. Cara kerja bahan aktif dapat mempengaruhi hama secara langsung maupun tidak langsung. Dikelompokkan sesuai target, yaitu dengan mentargetkan pada sistem syaraf dan mentargetkan fungsi atau bagian tubuh yang lainnya. Mengetahui cara kerja bahan aktif akan dapat membantu dalam upaya menentukan jenis pestisida apa yang cocok dengan hama sasaran. Tentunya bermanfaat juga dalam pengelolaan aplikasi pestisida dengan landasan bahwa penggunaan bahan aktif yang serupa dapat mendorong resistensi di lapangan. Sehingga sangat penting dalam pemahaman bahan aktif yang tertera dalam label kemasan pestisida. Berikut adalah contoh

aplikasi beberapa bahan aktif dalam mengendalikan hama sasaran (Direktorat Pupuk dan Pestisida 2016).

Tabel 6. 1. Jenis hama dan bahan aktif yang digunakan.

Jenis Hama	Bahan Aktif	Cara Kerja
<i>Bemisia tabaci</i> (kutu kebul)	Imidakloprid Tiametoksam Pimetozin	Racun lambung dan racun kontak penghambat aktifitas makan
Spodoptera (ulat grayak)	Sipermetrin Abamektin Imidakioprid Asefat Deltametrin	Racun lambung dan racun kontak
Wereng	Imidakloprid Fenobukarb Tiametoksam Fipronil Dimehipo	Racun lambung dan racun kontak
Aphid dan Trips	Tiametoksam Fipronil Dimetoat Diafentiuron	Racun lambung dan racun kontak
Penggerek buah kakao	Amamektin benzoat Metomil Klorpirifos	Racun lambung dan racun kontak
Pengerek polong	Deltametrin Klorpirifos	Racun lambung dan racun kontak

Sumber: (Direktorat Pupuk dan Pestisida 2016)

6.4 Resistensi terhadap Pestisida

Kegagalan produk untuk mencapai tingkat pengendalian yang diharapkan ketika digunakan sesuai dengan rekomendasi label spesies hama dikenal sebagai resistensi pestisida, yang merupakan perubahan dalam sensitivitas populasi hama terhadap pestisida (IRAC 2022). Penyalahgunaan pestisida telah terbukti mampu memicu adanya resistensi suatu spesies hama, selanjutnya induk resisten yang mampu bertahan hidup nantinya mewariskan sifat resisten tersebut ke keturunannya. Faktor pembatas dalam hal ketersediaan pestisida mampu secara efektif menekan populasi hama di lapang adalah terjadinya resisten. Dampaknya bukan hanya soal keefektivitasnya saja melainkan populasi hama terus berkembang dan tidak akan mampu dikendalikan meski dilakukan secara berulang. Faktanya resistensi tersebut tidak hanya sebatas pada satu produk atau bahan aktif melainkan dapat berupa hampir semua produk dengan label kelas pestisida atau bahan aktif sama terutama yang memiliki cara kerja serupa. Kondisi lingkungan serta siklus hidup hama mampu berperan dalam perkembangan resisten. Misalnya pada populasi hama yang memiliki siklus hidup pendek dan mampu berkembang biak dengan jumlah yang banyak dalam dalam waktu yang cepat (tungan dan kutu daun) akan mampu meningkatkan resiko terjadinya resisten terutama jika kondisi lingkungan berada di dalam rumah kaca. Pencegahan resistensi mampu dilakukan jika manajemen aplikasi pestisida dilakukan secara tepat dan bijak. Pengelolaan resisten baik upaya pencegahan maupun meminimalisir telah banyak menjadi fokus dan tantangan di lingkup global sehingga banyak terdapat website resmi dan perusahaan pestisida bahkan asosiasi yang memberikan respon strategis di seluruh dunia melalui inisiatif pengelolannya.

Terdapat website resmi yang aktif dalam memperbarui daftar pestisida beserta resistensinya yaitu 'www.irac-online.org'. *Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) terbentuk di tahun 1984 dan telah bekerja secara global sebagai asosiasi dari *CropLife*

international. Kelompok komite tersebut tersebar di berbagai belahan dunia untuk mendukung dan berkoordinasi dalam mencegah serta menunda perkembangan resistensi pada hama. IRAC telah mencetuskan penggunaan klasifikasi MoA (*Mode of Action*) sebagai dasar dalam rangka pengelolaan resistensi yang efektif dan berkelanjutan. Selanjutnya akan selalu dilakukan peninjauan ulang dan diterbitkan secara berkala di websitenya, akan sangat bermanfaat dan memberika informasi bagi petani dan akademi. Dalam prakteknya dilakukan upaya pergantian urutan serta rotasi pemilihan bahan aktif dari kelompok MoA yang berbeda. Dilakukan untuk memastikan terjadinya seleksi terhadap bahan aktif/senyawa yang masih dalam satu kelompok yang sama dapat diminimalisir dan memungkinkan tidak terjadi resisten.

Metode dalam meminimalisir terjadinya resisten hama yaitu dilakukannya monitoring agar aplikasi pestisida memang diperlukan dan diterapkan pada waktu yang tepat; dianjurkan memilih pestisida yang seektif dan cepat terurai; penggunaan dosis dan tingkat aplikasi sesuai rekomendasi prodak yang digunakan; menghindari aplikasi dengan bahan aktif dan formulasi yang sama (Mudjiono 2013). Pemahaman terkait konsep resistensi perlu dibarengi dengan adanya pemahaman mengenai berlangsungnya atau berlakunya konsep tersebut di tingkat populasi pada suatu wilayah. Tentunya setiap populasi hama dapat memiliki perilaku atau semacam mekanisme tertentu yang berdampak pada terjadinya proses resistensi. Menurut McCaffery & Nauen (2011) berikut beberapa mekanisme serangga dapat tahan terhadap aplikasi pestisida:

- Resistensi yang paling umum terjadi adalah mekanisme resistensi metabolik. Dimana didasarkan pada suatu sitem enzim tertentu yang mendasari terjadinya detoksifikasi bahan asing yang terpapar secara alami dan dimiliki oleh semua jenis serangga hama. Tipe strain serangga yang resisten akan memiliki sistem enzim tersebut lebih tinggi

dibanding yang rentan, dampaknya mampu mendegradasi pestisida sebelum efek toksiknya bekerja.

- Resistensi lokasi target (*target-site*) merupakan resistensi yang terjadi di lokasi target aplikasi pestisida. Pestisida ada yang cara kerjanya disasarkan pada lokasi tertentu (situs) dalam tubuh serangga, misalnya sistem saraf. Serangga yang resisten akan mampu memiliki mekanisme untuk memodifikasi pada situs tersebut sehingga paparan pestisida tidak dapat berikatan secara ampuh dan efektif. Dampaknya serangga akan memiliki kemampuan resisten terhadap aplikasi pestisida dengan cara kerja melalui sistem saraf.
- Mekanisme dalam mengurangi penetrasi yang diakibatkan karena terjadinya perubahan morfologi serangga karena proses adaptasi. Misalnya terjadinya perubahan pada lapisan saluran pencernaan dan kutikula serangga. Akibatnya mampu memperlambat ataupun mencegah penyerapan bahkan penetrasi pestisida yang telah diaplikasikan. Pestisida yang bersifat kontak dan racun lambung akan dapat terpengaruh.
- Resistensi perilaku dapat terjadi pada suatu populasi hama akibat diaplikasikannya pestisida dalam jumlah yang besar dan secara berkala tanpa manajemen yang baik. Serangga akan beradaptasi dan merubah perilakunya sebagai dampak alami untuk pertahanan diri dari kematian akibat paparan pestisida. Serangga mampu memiliki insting dalam mengenal maupun mendeteksi adanya paparan pestisida terutama jika diberi perlakuan jenis bahan aktif yang sama. Respon alami tersebut dapat berupa perilaku untuk meninggalkan lokasi paparan; berhenti makan bagian tanaman yang terpapar; dan berpindah tempat untuk mencari perlindungan ke bawah permukaan daun ataupun lokasi yang dirasa aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Blecker, L. 2019. *Plant Agriculture Pest Control: A Study Manual for Applicators. University of California Agricultural and Natural Resources*. 116 p.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2016. *Pestisida Pertanian dan Kehutanan tahun 2016. Kementerian Pertanian Republik Indonesia*.
- Djojosumarto, P. 2008. *Pestisida dan Aplikasinya. PT Agromedia Pustaka*. 340 p.
- IRAC. 2022. *Mode of Action Classification*.
- McCaffery, A. and Nauen. R. 2011. Prevention and Management of Insecticide Resistance in Vectors of Public Health Importance: A Manual Produced by Insecticide resistance Action Committee. *Insecticide Resistance Action Committee 2*, pp. 1-50.
- Miller, F.L. 2011. *Agricultural Plant Pest Control Kansas. State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*.
- Mudjiono, G. 2013. *Pengelolaan Hama Terpadu: Konsep, Taktik, Strategi, Penyusunan Program PHT, dan Implementasinya*.
- Widodo. 2020. *Hama dan Penyakit Tanaman: Deteksi Dini dan Penanggulangan*. PT Niaga Swadaya.
- (<http://npic.orst.edu/outreach/systemic-infographic.png>).

BAB 7

PENGARUH PATOGEN TERHADAP FISILOGI TANAMAN

Oleh Decenly

7.1 Pendahuluan

Tanaman dapat terserang oleh beragam jenis patogen. Penyakit tanaman yang disebabkan patogen dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak serangan patogen akan berbeda antar spesies (Dijk *et al.* 2021). Patologi tanaman (fitopatologi) adalah studi ilmiah yang mempelajari penyakit pada tanaman yang disebabkan oleh patogen (organisme infeksi) dan kondisi lingkungan (faktor fisiologis). Organisme yang menyebabkan penyakit menular meliputi jamur, bakteri, virus, fitoplasma, protozoa, nematoda dan tanaman parasit. Patologi tanaman juga melibatkan studi identifikasi patogen, etiologi penyakit, siklus penyakit, dampak ekonomi, epidemiologi penyakit tanaman, resistensi penyakit tanaman, bagaimana penyakit tanaman mempengaruhi manusia dan hewan, genetika fotosistem, dan pengelolaan penyakit tanaman (Sopialena, 2017).

Adapun cara patogen dalam menyerang tanaman (patogenitas) diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Memakan komponen sel tanaman
2. Menghambat hingga mematikan metabolisme sel tanaman melalui toksin, enzim atau zat berbahaya lainnya.
3. Melemahkan tanaman dengan menyerap isi sel untuk memenuhi aktivitas hidup patogen.

4. Menyumbat jaringan pembuluh.

Kemampuan patogen untuk menimbulkan penyakit disebut patogenesis, sedangkan rangkaian proses penimbunan penyakit disebut pathogenesis (Sutarman, 2017).



Gambar 7. 1. Contoh serangan patogen pada tanaman, *Hosta antraknosa* menyerang tepi daun sehingga tidak memiliki pigmen (gambar kiri), *Botrytis* Sp. yang bersporulasi menyebabkan penyakit hawar pada batang (gambar kanan) (Sumber: Beckerman and Cresswel, 2022)

7.2 Apa itu Patogen Tanaman

Organisme parasit yang menyebabkan suatu penyakit adalah disebut Patogen. Tanaman Inang merupakan sumber nutrisi bagi patogen. Penyakit tanaman secara garis besar dibagi menjadi biotik dan abiotik. Penyakit biotik (menular) meliputi jamur, bakteri, virus, protozoa, nematoda, alga. Penyakit abiotik (tidak menular) berkembang karena faktor lingkungan meliputi suhu, angin, kelembaban, sinar matahari, hujan dan lain sebagainya (Kumar and Kumar, 2023).

Patogen yang memperoleh nutrisi dari tanaman akan mengganggu fungsi fisiologis tanaman dan menimbulkan berbagai gejala yang spesifik. Patogen dapat menginfeksi bunga, akar, daun, batang, buah, sistem pembuluh sehingga menyebabkan penurunan hasil panen. Patogen juga menghambat translokasi air dan nutrisi. Penyakit tanaman yang disebabkan patogen merupakan masalah besar yang dapat mengganggu stabilitas ekonomi dan kehidupan.

serangan patogen tanaman meningkat di seluruh dunia dan terdiri dari virus, bakteri, jamur, nematoda, dan lainnya. Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor penting yang mempunyai dampak langsung terhadap produktivitas pertanian global dan perubahan iklim akan semakin memperburuk situasi (Gautam *et al.* 2013).

Proses infeksi penyakit tanaman terdiri dari beberapa tahapan. Adapun rangkaian tahapan tersebut dikenal dengan istilah *Rantai infeksi* atau *siklus infeksi*. Siklus infeksi adalah proses berulang, patogen memperbanyak dirinya beberapa kali dalam beberapa waktu. Proses monosiklik terjadi dalam satu siklus infeksi tunggal, sedangkan polisiklik berkembang dari beberapa siklus infeksi. Suatu patogen, contohnya jamur agar dapat bertahan hidup dan mendapatkan makanan harus mampu berpindah dari satu inang ke inang lainnya pada waktu yang tepat. Infeksi dapat terjadi apabila adanya kontak antara bagian tanaman inang yang rentan dengan unit dispersal patogen. Apabila lingkungan mendukung bagi patogen, struktur tersebut akan berubah menjadi suatu unit infeksi. Satu unit infeksi dapat menjadi beberapa unit dispersal, contohnya spora berkecambah dan mencapai unit infeksi membentuk tabung kecambah, apresorium, hifa penetrasi dan lainnya. Unit infeksi dapat menimbulkan lesi yang merupakan gejala awal pada tanaman yang terinfeksi. Lesi merupakan kejadian hilangnya warna di sekitar areal tempat terjadi infeksi patogen (Nurhayati, 2011).

7.3 Patogen dan Fisiologi Tanaman

Fisiologi tanaman adalah studi tentang perilaku fungsi tanaman yang mencakup semua proses pertumbuhan, metabolisme, reproduksi, pertahanan dan komunikasi sel yang mendukung kehidupan pada tanaman. Penyakit tanaman merupakan hasil interaksi antara inang dan patogen. Interaksi dimulai dengan fisik kontak, selanjutnya patogen akan terlokalisasi

menembus jaringan inang. Gangguan fisiologis tanaman akan berbeda tergantung pada jenis patogen dan jaringan yang diinfeksi. Kelangsungan hidup manusia dan hewan bergantung pada pertumbuhan tanaman. Infeksi patogen menyebabkan perubahan metabolisme baik primer maupun sekunder (Angrios, 2004).

Patogen tanaman adalah organisme ataupun virus yang dapat menghuni dan bertahan hidup pada tanaman dan dapat membahayakan kesehatan tanaman. Patogen tanaman yang berupa jamur, bakteri, virus atau nematoda, mencakup berbagai tingkat spesifisitas inang, beberapa diantaranya dengan kisaran inang yang luas, yang lain memiliki spesies inang yang spesifik. Jamur termasuk dalam kelompok organisme eukariota yang juga mencakup kapang, ragi dan jamur makroskopis. Sebagian besar dari lebih dari 100.000 spesies jamur adalah saprofit. Namun, lebih dari 20.000 spesies jamur bersifat parasit dan menyebabkan penyakit pada tanama. Jamur dapat menimbulkan gejala umum atau spesifik. Pada sebagian besar kasus, infeksi jamur menyebabkan nekrosis umum pada jaringan inang dan seringkali menyebabkan kerdil, distorsi dan perubahan abnormal pada jaringan dan organ tanaman. Bakteri merupakan mikroorganisme bersel tunggal, umumnya berukuran antara 1-2 μm tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Bakteri terkait tanaman mungkin bermanfaat atau merugikan. Ada sekitar 200 spesies bakteri fitopatogenik dan hampir semuanya mereka adalah parasit di dalam tanaman. Penyakit tanaman yang disebabkan bakteri meliputi bercak daun, kekerdilan, kanker dan busuk pada akar, organ penyimpanan dan buah, serta pertumbuhan berlebih. Virus juga merupakan patogen menular yang berukuran mikro, namun meskipun ukurannya kecil, mereka dapat menyebabkan kekacauan dalam fisiologis tanaman. Virus paling sederhana terdiri dari sepotong kecil asam nukleat yang dikelilingi oleh protein mantel. Semua virus adalah parasit obligat yang bergantung pada mesin seluler inangnya untuk bereproduksi. Virus tidak aktif di luar inangnya, dan hal tersebut menunjukkan bahwa mereka tidak

hidup di luar inang dan sebagian besar virus hanya menginfeksi satu jenis inang (Jibril *et al.* 2023).

Penyakit tanaman sangat dipengaruhi oleh keanekaragaman jenis inang, struktur ruang, dan kondisi abiotik. Semua hal ini mengalami perubahan yang cepat, seiring dengan perubahan iklim, hilangnya habitat, dan pengendapan nitrogen yang mengubah dinamika nutrisi ekosistem yang berdampak pada keanekaragaman hayati. Penyakit tanaman akan terus terjadi menjadi beban yang semakin berat bagi masyarakat dengan konsekuensi yang luas terhadap ketahanan pangan (Laine, 2023).

7.4 Pengaruh Patogen Terhadap Fisiologi Tanaman

7.4.1 Pengaruh Patogen Pada Proses Fotosintesis

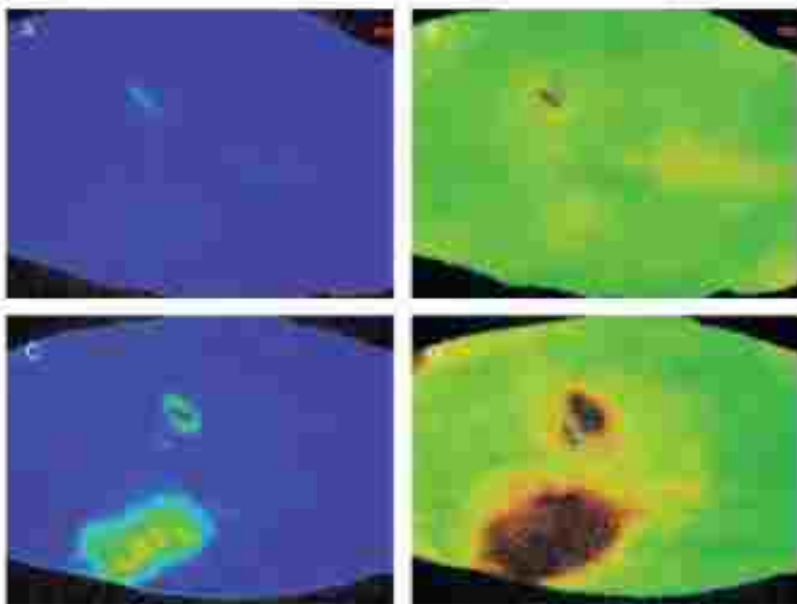
Fotosintesis adalah proses penting dalam fisiologi tanaman, dan pengaturannya berperan penting dalam pertahanan tanaman terhadap stres biotik. Interaksi dengan patogen dan hama dapat menyebabkan perubahan dalam metabolisme karbohidrat dan translokasi hasil fotosintesis. Perubahan ini dapat menjadi bagian dari mekanisme pertahanan tanaman untuk membatasi ketersediaan nutrisi bagi patogen. Dalam kasus lain, perubahan ini juga dapat disebabkan oleh manipulasi metabolisme patogen untuk keperluan hidupnya. Dampak cekaman biotik terhadap fisiologi umumnya heterogen, baik secara spasial maupun sementara (Bueno *et al.* 2019)



Gambar 7. 2. Bercak daun yang disebabkan patogen jenis *Alternaria* spp. (Gambar kiri); Padi yang menguning dan mengalami stunting yang disebabkan virus *Tungro* (Sumber: Kumar and Kumar, 2023)

Setelah patogen masuk ke dalam tanaman dalam hal ini adalah virus, maka hal pertama yang akan dilakukan adalah mereplikasi dirinya sehingga jumlah mereka mencukupi untuk menguasai tubuh tanaman. Menurut Te'esi, *et al.* (1996) virus yang sudah masuk ke dalam tubuh tanaman akan melakukan replikasi dan membentuk protein virus. Pada saat proses ini terjadi, tanaman akan mengalami peningkatan aktivitas protein anaplerotik, peningkatan laju fotosintesis dan peningkatan kandungan pati. Setelah laju replikasi menurun maka laju fotosintesis pun akan menurun. Kloroplas merupakan organel utama yang diserang oleh virus tanaman. Penurunan laju fotosintesis disebabkan karena bentuk kloroplas yang abnormal, dengan ukuran yang relatif lebih kecil dan jumlah tilakoid pada setiap grana yang menurun akibat infeksi virus. Gangguan fotosintesis oleh patogen juga disebabkan oleh klorosis, karat (lesi) dan area nekrotik yang menyebabkan penurunan pertumbuhan. Fotosintesis berkurang karena luas daun berkurang sedangkan fotosintesis di daerah yang tidak terkena dampak patogen tetap berjalan normal. Fotosintesis yang terhenti akan menyebabkan kelayuan tanaman (Evans *et al.* 2013).

Penelitian yang dilakukan Funayama dan Terashima (2006), pada daun tanaman terinfeksi terjadi penghambatan pembentukan klorofil sehingga daun mengalami klorosi. Kecepatan pembentukan klorofil menjadi sama ataupun lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan degradasi klorofil. Hal dapat terjadi karena jumlah membran tilakoid pada grana menurun sehingga terjadi defisiensi klorofil b yang mengakibatkan kecepatan pembentukan klorofil terhambat. Penelitian yang dilakukan Nur Aeni (2007), diperoleh adanya perbedaan kandungan klorofil a, klorofil b, rasio klorofil a/b dan klorofil total pada daun kuning dan daun hijau tanaman yang terinfeksi virus kuning cabai. Klorofil a pada daun hijau tanaman terinfeksi dengan perlakuan pupuk daun jumlahnya lebih rendah apabila dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi pupuk daun. Hasil berbeda diperoleh pada daun kuning, kandungan klorofil b pada tanaman yang tidak diberi perlakuan pupuk daun memiliki kandungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan pupuk daun. Secara keseluruhan klorofil total pada daun hijau lebih besar dibandingkan dengan klorofil total pada daun kuning. Infeksi patogen juga menyebabkan penimbunan gula dan karbohidrat pada daun yang mengalami klorosis. Adapun untuk kandungan nitrogen daun pada tanaman terinfeksi lebih rendah dibandingkan dengan daun tanaman yang tidak terinfeksi. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena tanaman yang terinfeksi virus lebih banyak mengalokasikan nitrogen untuk bertahan dan melakukan replikasi virus dalam tubuh tanaman (Ariyanti, 2011).



Gambar 7.3. Perbandingan Pigmen Fotosintesis pada Daun Normal (A,B) dan Daun yang diinfeksi patogen (C,D) (Sumber: Berger *et al.* 2007)

Busuk tunas yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora* dan karat daun mematikan yang penyebabnya belum diketahui, adalah dua penyakit yang saat ini menjadi ancaman bagi industri kelapa sawit (*Elaeis guineensis*, Jacq). Busuk tunas, pertama kali dilaporkan pada tahun 1964, telah menghancurkan lebih dari 85.000 ha kebun sawit. Karat daun pertama kali dilaporkan pada tahun 1994, telah menghancurkan lebih dari 5.000 ha. Kelapa sawit terkena dampak Busuk tunas dan karat daun menunjukkan anomali dalam sistem fotosintesis. Pengukuran fluoresensi klorofil *a* merupakan alat yang efektif untuk menentukan kerusakan fisiologis yang disebabkan oleh Busuk tunas dan karat daun. Menggunakan metode ini diketahui bahwa penyakit-penyakit ini menyebabkan kerusakan yang cukup besar pada PSII, yang berdampak signifikan terhadap proses penangkapan energi

cahaya, sistem transport elektron, dan membatasi produksi energi. Pada akhirnya dapat disimpulkan bahwa kerusakan pada sistem fotokimia yang disebabkan oleh patogen mempengaruhi proses penangkapan cahaya, konversi energi yang menyebabkan ketidakseimbangan fisiologis pada tanaman. Hal tersebut tercermin dalam variasi klorofil yang diamati, fluoresensi dan suhu daun. Gejala awal yang tampak sangat penting untuk pengelolaan kedua penyakit tersebut yaitu sebagai dasar deteksi dini infeksi patogen (Perez, 2019).

Infeksi patogen juga akan menyebabkan perubahan metabolisme sekunder yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, serangan patogen menyebabkan penurunan hasil panen bahkan hingga kematian tanaman. Baru-baru ini, minat pada bidang penelitian ini telah berkembang yang meliputi aspek fotosintesis, partisi asimilasi, dan sumber nutrisi berbagai jenis patogen tanaman menarik untuk diselidiki. Demikian pula, studi fitopatologi dengan mempertimbangkan status fisiologis jaringan yang terinfeksi untuk menjelaskannya mekanisme infeksi yang terjadi. Tujuan dari tinjauan ini adalah untuk memberikan ringkasan kemajuan terkini dalam keterkaitan timbal balik antara metabolisme primer dan infeksi patogen, serta untuk menunjukkan arus perkembangan teknik non-invasif. Strategi yang digunakan yaitu menggabungkan teknologi molekuler dan teknik fisiologi modern dengan fitopatologi agar mendapatkan hasil yang lebih baik di masa depan (Berger *et al.*, 2007).

7.4.2 Pengaruh Patogen terhadap Respirasi Tanaman

Respirasi merupakan proses pembebasan energi yang berasal dari senyawa organik tersimpan menjadi energi yang siap digunakan. Senyawa organik penyimpan energi tersebut diantaranya adalah karbohidrat, protein, dan lemak. Respirasi juga dapat dikatakan sebagai proses pemecahan senyawa organik dengan hasil akhir berupa karbondioksida (CO_2), air (H_2O), dan

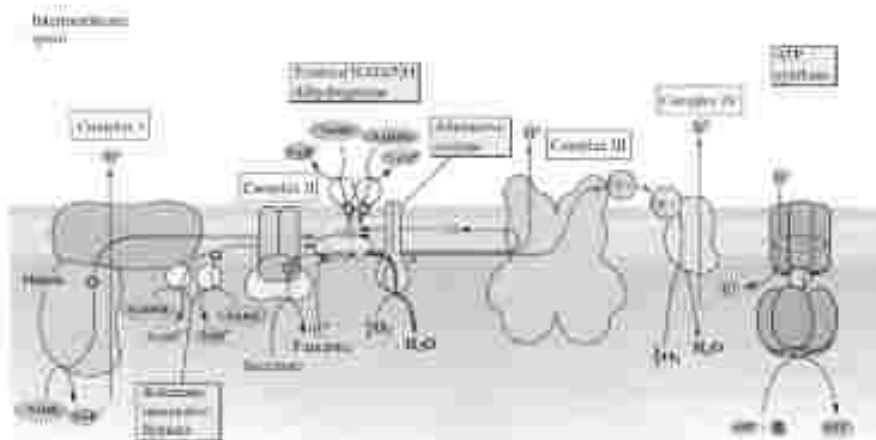
energi. Reaksi yang terjadi pada respirasi merupakan reaksi redoks, yaitu oksidasi karbohidrat menjadi CO_2 serta penyerapan O_2 sebagai oksidator yang selanjutnya diubah menjadi H_2O . Pengertian respirasi lainnya adalah proses pelepasan energi yang tersimpan melalui proses kimia menggunakan oksigen. Hasil akhir proses respirasi adalah energi kimia berupa ATP (Fauziah, 2021).

Substrat respirasi merupakan produk hasil fotosintesis, diantaranya adalah karbohidrat, gula (glukosa, fruktosa, dan sukrosa), pati, lipid (lemak), protein, dan asam organik. Apabila karbohidrat yang digunakan sebagai substrat respirasi teroksidasi secara sempurna, maka jumlah O_2 yang digunakan sama dengan jumlah CO_2 yang dihasilkan. Selain menghasilkan ATP, proses respirasi juga menghasilkan produk sampingan berupa H_2O dan CO_2 . Produk sampingan tersebut akan digunakan sebagai substrat fotosintesis. Bagian-bagian tanaman yang aktif melakukan respirasi diantaranya adalah tunas, biji yang berkecambah, kuncup bunga, meristem batang dan akar (Pujiwati, 2019).

Pada awal tanaman terinfeksi oleh patogen, laju respirasi umumnya meningkat. Artinya jaringan menggunakan cadangan karbohidrat lebih cepat dibandingkan jaringan sehat. Peningkatan laju respirasi muncul segera setelah infeksi dan terus berlanjut selama penggandaan dan sporulasi patogen. Setelah itu, respirasi menurun menjadi normal bahkan lebih rendah daripada tanaman normal. Peningkatan respirasi pada tanaman yang sakit juga disertai dengan peningkatan aktivasi jalur pentosa, yang merupakan sumber utama senyawa fenolik. Peningkatan respirasi terkadang disertai dengan proses fermentasi sebagai akibat kebutuhan energi pada tanaman yang sakit di bawah kondisi di mana respirasi aerobik normal tidak dapat memberikan energi yang cukup. Energi yang dibutuhkan oleh sel untuk proses vitalnya diproduksi melalui cara lain yang kurang efisien, termasuk jalur pentosa dan fermentasi. Peningkatan respirasi tanaman yang sakit juga dapat disebabkan oleh peningkatan metabolisme dalam sel.

Energi yang dibutuhkan untuk aktivitas ini berasal dari ATP yang dihasilkan melalui respirasi. Semakin banyak ATP yang digunakan, semakin banyak pula ADP yang diproduksi dan semakin merangsang terjadinya respirasi. Dapat dikatakan bahwa penggunaan energi ataupun ATP pada tanaman yang terinfeksi patogen kurang efisien dibandingkan tanaman sehat (Angrios, 2004).

Perubahan konsumsi oksigen dapat menunjukkan perubahan spesifik aktivitas metabolisme. Laju respirasi (diukur sebagai laju konsumsi oksigen) tanaman yang sakit selalu meningkat setelah infeksi oleh jamur, bakteri atau virus. Selain itu, suhu daun meningkat secara signifikan selama infeksi karena peningkatan katabolisme glukosa. Allen dan Goddard pada tahun 1938 menunjukkan empat hingga lima kali lipat peningkatan laju respirasi pada daun gandum yang terinfeksi. Meskipun infeksi patogen sebagian besar terbatas pada sel-sel epidermis, peningkatan respirasi juga terjadi pada sel-sel di mesofil. Serangan patogen *Phytophthora nicotianae* pada bibit tembakau diikuti oleh peningkatan serapan oksigen secara bertahap, bertepatan dengan kolonisasi, kemudian peningkatan pesat pada sporulasi. Peningkatan respirasi selama kolonisasi mencerminkan perubahan besar dalam ekspresi gen dan metabolisme yang terjadi pada sel tanaman yang terinfeksi. Lonjakan konsumsi oksigen dapat dikaitkan dengan gangguan regulasi enzimatik metabolisme sel, dan 'pelepasan' transfer elektron selama fosforilasi ADP menjadi ATP (Guest and Brown, 1997).



Gambar 7. 4. Sistem respirasi pada sel tumbuhan normal (Sumber: Pallardy, 2008)

Hal lain yang terjadi adalah peningkatan jumlah enzim yang terkait dengan proses respirasi meningkat pada tanaman yang sakit. Tanaman yang sakit juga melakukan fermentasi lebih banyak daripada tanaman yang sehat (Pallardy, 2008). Terjadinya pemborosan energi pada tanaman yang terinfeksi. Meskipun oksidasi glukosa melalui glikolitik sejauh ini merupakan cara yang paling umum untuk dilalui sel tumbuhan memperoleh energinya, sebagian energi juga dihasilkan melalui jalur pentosa. Tampaknya pada jalur alternatif ini, produksi energi dilakukan oleh tanaman dalam kondisi stres. Jalur pentosa fosfat merupakan sumber utama senyawa fenolik, yang memainkan peran penting dalam mekanisme pertahanan tanaman terhadap infeksi (Angrios, 2004).

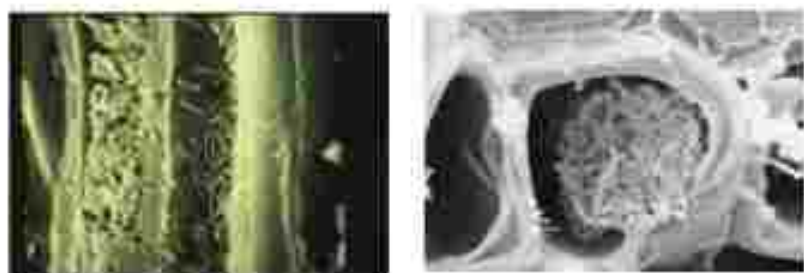
7.4.3 Efek pada Sistem Transportasi

a. Pembuluh Xylem

Patogen mengganggu pergerakan air dan nutrisi anorganik ke bagian tanaman atas serta distribusi zat organik yang dihasilkan oleh tanaman. Terhambatnya pergerakan air

menyebabkan intensitas fotosintesis berkurang bahkan hingga terhenti, selain itu juga terjadi defisiensi nutrisi bagi akar dan bagian organ yang lain dari tanaman. Tanaman akan mengalami kekurangan nutrisi hingga pada akhirnya mengalami kematian (Kumar and Kumar, 2023).

Tanaman menyerap unsur hara anorganik dan air dari tanah sehingga dapat menjalankan fungsi fisiologisnya. Transportasi air ke bagian atas tanaman melalui pembuluh xilem batang kemudian melewati berkas pembuluh tangkai urat daun hingga kemudian masuk ke dalam sel-sel daun. Patogen menyebabkan penyumbatan fisik pada pembuluh xilem sehingga volume air yang melewati xilem menjadi berkurang bahkan tidak ada sama sekali. Pembuluh xilem yang tersumbat disebabkan oleh tumbuhnya miselia, spora, sel bakteri pada daerah tersebut. Selain itu penyumbatan juga dapat disebabkan zat yang disekresikan oleh patogen ataupun oleh inang sebagai respon terhadap patogen (DS, 2017). Penyakit Layu Fusarium menyebabkan Xilem menjadi tersumbat oleh miselium dan spora yang dihasilkan. Selain itu tanaman merespon patogen dengan menghasilkan gel, *gum* dan *tyloses* yang memperparah keadaan. Transportasi air yang terhambat menyebabkan daun-daun rontok, dan tanaman menjadi layu (Kwaasi, 2003).



Gambar 7. 5. Penyumbatan pada pembuluh Xilem yang diinfeksi patogen (Sumber: kumar and kumar, 2023)

Efek lain yang disebabkan oleh patogen dalam sistem transpotrasi adalah mempengaruhi integritas akar. Patogen seperti jamur dan bakteri pembusuk akar, sebagian besar nematoda dan beberapa virus menyebabkan rusaknya akar. Beberapa bakteri dan nematoda menyebabkan bengkak dan simpul akar sehingga mengganggu penyerapan air. Beberapa parasit vaskular menghambat produksi rambut akar dan juga mengubah permeabilitas sel akar sehingga mengurangi penyerapan (Steudle, 2000).

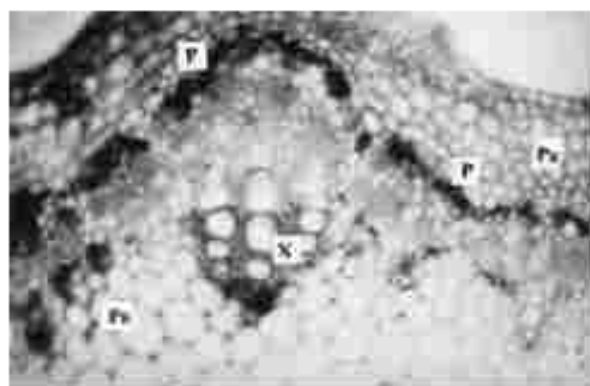
Tanaman yang sakit akan mengalami ketidakseimbangan molekul air akibat perubahan-perubahan permeabilitas sel. Kelayuan patologi pada tanaman yang terinfeksi dapat disebabkan oleh tiga hal yaitu ketidakmampuan untuk menyerap air, gangguan dalam transport air dan tidak berfungsinya stomata. Gangguan penyerapan air pada *Capsicum frutescense* yang terserang oleh virus *Tobacco etch* (TEV) berakibat kematian tanaman setelah beberapa hari infeksi. Studi histologis tanaman *Capsicum frutescense* yang terserang oleh virus *Tobacco etch* (TEV) diperoleh adanya lingkaran sel-sel floem dan kambium yang mengalami nekrosis pada akar tanaman. Nekrosis yang demikian tak dijumpai dalam batang, petiole atau daun serta tidak ditemukan penyumbatan pembuluh xylem ditemukan pada bagian-bagian tanaman lain (Suniti, 2016).

b. Pembuluh Floem

Nutrisi organik yang diproduksi oleh sel daun melalui proses fotosintesis akan berpindah melalui plasmodesmata ke sel yang bersebelahan dengan elemen floem. Selanjutnya masuk ke dalam pembuluh floem dan pada akhirnya melewati plasmodesmata kembali. Nutrisi organik akan didistribusikan ke dalam protoplasma sel hidup nonfotosintetik, dimana nutrisi tersebut akan digunakan ataupun ke dalam organ penyimpan yang menjadi tempat penimbunan nutrisi. Patogen tanaman

dapat mengganggu pergerakan nutrisi organik dari sel daun ke floem dan translokasi melalui elemen floem. Parasit jamur obligat, seperti jamur karat, menyebabkan penumpukan produk fotosintesis, serta nutrisi anorganik, di area yang diserang oleh patogen tersebut. Pada penyakit ini, daerah yang tertular adalah ditandai dengan berkurangnya intensitas fotosintesis dan meningkatnya respirasi. Namun, sintesis pati dan lainnya senyawa, serta berat kering, meningkat sementara di daerah yang terinfeksi. Hal tersebut menunjukkan adanya translokasi nutrisi organik dari area daun yang tidak terinfeksi atau dari daun yang sehat ke daerah yang terinfeksi (Palladry, 2008).

Patogen yang menyerang tanaman juga dapat menghancurkan elemen floem pada daerah infeksi, sehingga mengganggu translokasi nutrisi ke bagian bawah tanaman. Tanaman yang diserang virus *citrus tristeza* mengakibatkan nekrosis beberapa lapisan sel floem selain itu juga menyebabkan pengeritingan daun, penyakit kuning, akumulasi pati dalam daun yang merupakan hasil degenerasi dari floem tanaman yang terinfeksi. Pada kasus lain penyakit patogen akan menghambat kinerja enzim dalam memecah pati menjadi molekul yang lebih kecil sehingga mengganggu proses translokasi nutrisi (Angrios, 2004).



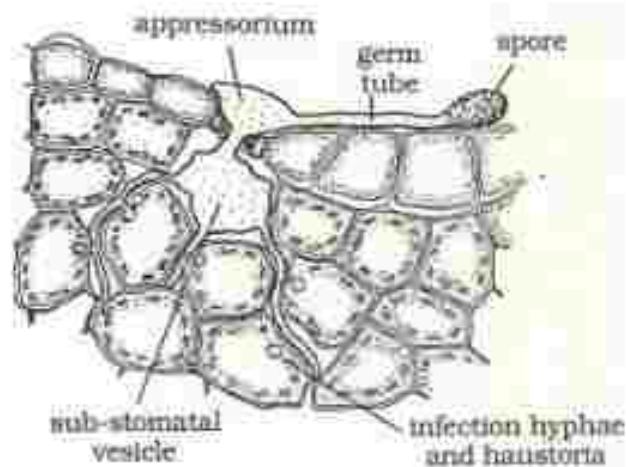
Gambar 7. 6. Sel-sel pembuluh floem yang mengalami nekrosis (P)
(sumber: Angrios, 2004)

7.4.5 Pengaruh Patogen pada Proses Transpirasi

Transpirasi pada dasarnya merupakan proses penguapan yang dikendalikan tidak hanya oleh faktor fisik tetapi juga faktor fisiologis. Dalam hal ini, respirasi dipengaruhi oleh struktur daun dan respons stomata terhadap paparan suhu dan cahaya. Transpirasi terjadi dalam dua tahap yaitu penguapan air dari sel dinding ke ruang antar sel dan difusi air uap ke udara luar (Palladry, 2008). Transpirasi adalah aktivitas fisiologis tanaman yang sangat dinamis. Transpirasi merupakan proses hilangnya air dalam bentuk uap air dari dalam tanaman. Transpirasi juga dapat diartikan sebagai difusi uap air dari udara yang lembab di dalam daun ke udara kering di luar daun. Hilangnya air dalam proses transpirasi dapat terjadi melalui stomata, kutikula, dan lentisel. Fungsi transpirasi salah satunya adalah sebagai mekanisme regulasi dan adaptasi terhadap kondisi internal dan eksternal tubuh tumbuhan. Mekanisme regulasi dan adaptasi tersebut berupa keseimbangan air, pengangkutan air dan unsur hara mineral, pengendalian suhu jaringan, dan pertukaran energi. Keseimbangan air dalam tanaman yang sering dikenal dengan turgiditas sel dan jaringan digunakan untuk mempertahankan turgiditas optimum (Fauziah, 2021). Perubahan dalam transpirasi yang seringkali diikuti oleh dehidrasi, adalah sifat yang umum dari penyakit-penyakit yang disebabkan oleh patogen-patogen yang biasanya tidak berkelompok atau mengumpul dalam elemen-elemen pembuluh. Selain itu juga akan dihasilkan sejumlah metabolit beracun yang akan menyebabkan kelayuan yang cepat dan kematian tanaman secara permanen (Suniti, 2016).

Hasil pengamatan diperoleh bahwa laju transpirasi meningkat pada daun yang terserang patogen (misalnya karat daun). Hal ini terjadi karena penyakit-penyakit tersebut mengakibatkan kehancuran pada jaringan pelindung seperti kutikula, peningkatan permeabilitas daun sel, dan disfungsi stomata. Selain terjadi kehancuran jaringan, pembentukan *tyloses* yang menyebabkan sumbatan, jamur patogen juga dapat

menyerang sel-sel epidermis sehingga menyebabkan hilangnya air secara tidak terbatas. Jumlah sel yang aktif dan sehat akan berkurang, pengangkutan air ke daun melalui xilem menurun bahkan terhenti (Angrios, 2004).



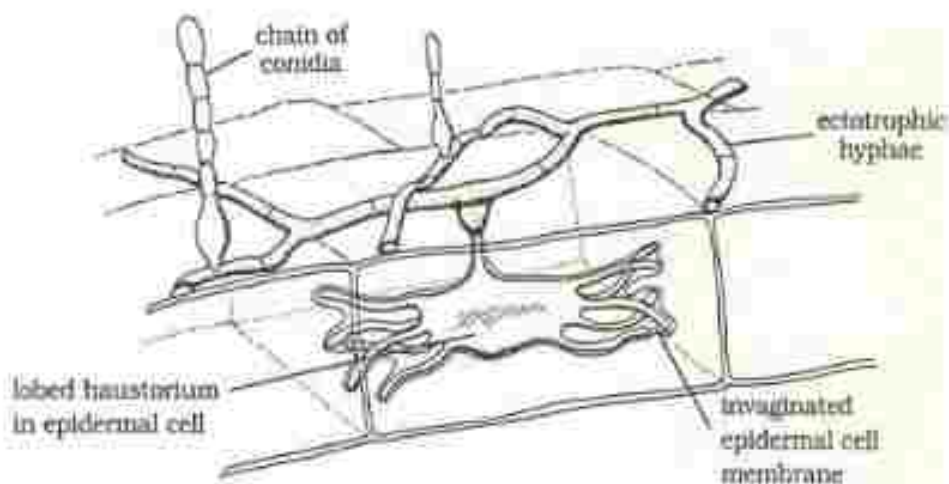
Gambar 7. 7. Infeksi patogen *Puccinia graminis* menyerang stomata daun gandum sehingga menghalangi proses transpirasi (Sumber: Brown, 1980)

Perkembangan penyakit bulai daun mentimun yang disebabkan oleh patogen biotrofik obligat *Pseudoperonospora cubensis*, terbukti berkaitan dengan berbagai perubahan transpirasi serta bergantung pada tahap patogenesis. Perubahan spasial dan temporal dalam transpirasi pada daun mentimun yang terinfeksi dan tidak terinfeksi divisualisasikan dengan termografi inframerah digital yang dikombinasikan dengan pengukuran pertukaran gas serta pengamatan mikroskopis pertumbuhan patogen di dalamnya. Transpirasi yang terjadi pada jaringan daun mentimun berkorelasi dengan suhu daun secara negatif. Area daun yang terinfeksi *Pseudoperonospora cubensis* menunjukkan penurunan suhu hingga $0,8^{\circ}\text{C}$ lebih rendah dibandingkan jaringan yang tidak terinfeksi hal ini terjadi karena gangguan pada

pembukaan stomata. Efek penurunan suhu juga dapat dikaitkan dengan munculnya klorosis yang disebabkan oleh hilangnya integritas membran sel pada jaringan yang terinfeksi. Ketidakmampuan jaringan tanaman yang terinfeksi untuk mengatur pembukaan stomata menyebabkan kematian sel dan jaringan menjadi kering (Lindental *et al.* 2004).

7.4.6 Pengaruh Patogen terhadap Permeabilitas Membran Sel

Membran sel terdiri dari lapisan ganda molekul lipid yang di dalamnya terdapat berbagai jenis molekul protein tertanam. bagian-bagiannya dapat menonjol pada satu atau kedua sisi lapisan ganda lipid. Membran berfungsi sebagai pengatur permeabilitas yang memungkinkan masuknya zat-zat yang dibutuhkan dan menghambat keluarnya zat-zat yang diperlukan oleh sel dari dalam sel. Lapisan ganda lipid tidak dapat ditembus oleh molekul yang berukuran besar. Molekul kecil yang larut dalam air seperti ion (atom bermuatan atau elektrolit), gula, dan asam amino mengalir melalui atau dipompa melalui membran pada saluran khusus yang terbuat dari protein. Adanya dinding sel pada tumbuhan menyebabkan hanya molekul kecil yang mencapai membran sel. Gangguan pada membran sel baik secara kimia maupun fisika akan mengubah permeabilitas membran. Keluar masuknya zat melalui membran sel menjadi tidak terkendali (Brown, 1980).



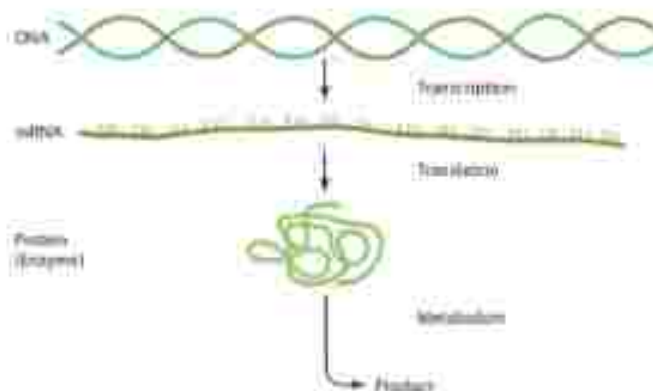
Gambar 7. 8. Kondisi membran sel yang diinfeksi jamur patogen (Sumber: Brown, 1980)

Perubahan permeabilitas membran juga merupakan respon awal terhadap infeksi oleh patogen. Hal umum yang diamati dari perubahan permeabilitas membran sel adalah hilangnya cairan elektrolit sel. Kebocoran elektrolit terjadi jauh lebih cepat pada sel-sel tumbuhan yang rentan terhadap infeksi. (Angrios, 2004). Selain itu juga terjadi perubahan struktur membran khususnya pada plasmodesmata. Pada beberapa kasus diperoleh adanya kejadian berupa pecah atau robek membrane pada sel-sel yang rusak. Pada jaringan yang diserang, terutama tanaman yang sakit, sel-sel seringkali mengalami plasmolisis dengan tiba-tiba (Suniti, 2016).

7.4.7 Efek Patogen pada Transkripsi dan Translasi DNA

Transkripsi DNA seluler menjadi RNA messenger dan translasi RNA messenger untuk menghasilkan protein adalah dua yang paling mendasar, umum, dan terkontrol secara tepat dalam proses biologi sel secara normal. Bagian genom yang terlibat, waktu transkripsi dan translasi berbeda-beda tergantung pada tahap perkembangan dan kebutuhan setiap sel. Namun demikian,

gangguan pada salah satu proses ini, oleh patogen atau faktor lingkungan, dapat menyebabkan perubahan drastis dan tidak menguntungkan dalam struktur dan fungsi sel yang berdampak terhadap ekspresi gen (Pelit *et al.* 2014).



Gambar 7: 9. Proses transkripsi dan translasi DNA pada sel Tumbuhan (Sumber: Angrios, 2004)

Beberapa patogen, terutama virus dan parasit obligat jamur, seperti jamur karat akan mempengaruhi proses transkripsi pada sel yang terinfeksi. Dalam beberapa kasus, patogen mempengaruhi transkripsi sehingga mengubah komposisi, struktur, atau fungsi kromatin berhubungan dengan DNA sel. Pada kasus lain beberapa penyakit tanaman, terutama yang disebabkan oleh virus, melalui enzim yang dihasilkan atau dengan memodifikasi enzim inang menghasilkan enzim RNA polymerase yang akan mengganggu proses transkripsi pada sel tanaman. Terakhir, pada tanaman yang resisten akan dihasilkan kadar HCl yang tinggi dibandingkan tanaman sehat, terutama pada tahap awal infeksi. Peningkatan sintesis zat yang terlibat transkripsi tampaknya merupakan bagian dari mekanisme pertahanan sel tanaman (Angrios, 2004).

Pada Jaringan tanaman yang terinfeksi seringkali mengalami peningkatan aktivitas beberapa enzim, khususnya yang terkait dengan respirasi ataupun atau oksidasi berbagai senyawa fenolik, beberapa di antaranya mungkin terlibat dalam reaksi pertahanan terhadap infeksi. Peningkatan jumlah enzim (komponen utama adalah protein) memerlukan peningkatan aktivitas transkripsi dan translasi. Peningkatan sintesis protein pada tanaman yang terinfeksi jaringan telah diamati terutama pada inang yang resisten terhadap patogen dan mencapai tingkat tertinggi di tahap awal infeksi, yaitu dalam beberapa menit pertama dan hingga 2-20 jam setelah inokulasi. Pengamatan ini menunjukkan hal itu sebagian besar peningkatan sintesis protein pada tanaman terserang patogen mencerminkan peningkatan produksi enzim dan protein lain yang terlibat dalam pertahanan tanaman (Angrios, 2004).

Tumbuhan merupakan bagian dari alam yang berpeluang terpapar patogen. Oleh karena itu perlu adanya fokus pada kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam mekanisme perubahan molekuler yang disebabkan oleh patogen dalam pertumbuhan perkembangan tanaman. Dibutuhkan strategi yang efektif dalam menghadapi patogen ataupun pertahanan aktif tanaman. Penelitian terkini dan berkelanjutan tentang patogen, virulensi, dan pertahanan tanaman dapat memberi kita hal baru pandangan tentang pengendalian penyakit tanaman (Kong *et al.*, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G.N. (2005) *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press: San Diego, California, USA.
- Ariyanti, N. A. (2011) *Mekanisme Infeksi Virus Kuning Cabai (Pepper Yellow Leaf Curl Virus) dan Pengaruhnya terhadap Proses Fisiologi Tanaman Cabai*. seminar nasional VIII 2011 program studi pendidikan biologi fakultas keguruan dan ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Beckerman, J and Creswell, T. (2022) *Symptoms and Signs for Plant Problem Diagnosis - An Illustrated Glossary*. Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University West Lafayette, United States.
- Berger, S., Sinha, A.K. and Raitsch, T. (2007) Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. *Journal Experimental Botany*, Vol. 58, No. 15/16, pp. 4019-4026. 2007 doi:10.1093/jxb/erm298.
- Brown, J.F. 1980. *The infection process and host-pathogen relationships*, in: J. F. Brown (ed.) *Plant protection* pp. 238-253. Australian Vice-Chancellors' Committee, Canberra.
- Bueno, P., Pineda, M.L. and Baron, M. (2019) Phenotyping Plant Responses to Biotic Stress by Chlorophyll Fluorescence Imaging. *Juurnal Frontier Plant Science*. Doi: 10.3389/fpls.2019.01135.
- Guest, D and Brown, J. (1997) *Plant pathogens and plant diseases*. Rockvale publications national library of Australia ISBN 1-86389-439, Page 263-260. Edited by J.F.Brown & H.J. Ogle
- Dijk, L., Ehrlen, J and Tack, A. J. M. (2021) Direct and insect-mediated effects of pathogens on plant growth and fitness. *Journal of Ecology*, 2021:109:2769-2779, DOI: 10.1111/1365-2745.13689.

- D.S. (2017). *Effect of pathogens on the physiological functions of plants*. Botany. Botany Library. <https://www.botanylibrary.com/plant-pathogens/effec t-of-pathogens-on-the-physiological-functions-of-pla nts-botany/15608>.
- Fauziah, A. (2021) *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Biru Atmaja. Tulung Agung, Jawa Timur
- Gafur, A. (2003) Aspek Fisiologis dan Biokimiawi Infeksi jamur patogen tumbuhan. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 3 (1).
- Gautam, H.R. Bhardwaj, M. L. and Kumar, R. (2013) Climate change and its impact on plant diseases. *Current Science*, vol. 105, no. 12, 25 desember 2013.
- Jibril, S.M., B.H. Jadaqa, A.S. Kutama and H. Y. Umar. (2016) *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* ISSN: 2319-7706 Volume 5 Number 6 (2016) pp. 247-257.
- Kong, F. and L. Yang. (2023) Pathogen-triggered change in plant development: Virulence strategies or host defense mechanism. *Frontiers in microbiology*. DOI 10.3389/fmicb.2023.1122947
- Kumar, V. and Kumar, A. (2023). *Effects of Pathogens on Physiological Functions of Plant*. ICAAAS-An Edited Book. Volume-2: 55-58. Astha Foundation, Meerut (U.P.) India.
- Kwaasi, A. A. (2003). Date palm and sandstorm-borne allergens. *Clinical & Experimental Allergy*, 33(4), 419-426.
- Laine, A.L. (2023) Plant disease risk is modified by multiple global change drivers. *Current Biology* 33, R574-R583. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.03.075>.

- Lindenthal, M., U. Steiner., H.W. Dehne, and E.C. Oerke. (2004) Effect of Downy Mildew Development on Transpiration of Cucumber Leaves Visualized by Digital Infrared Thermography. *The American Phytopathological Society*, Vol. 95, No. 3, 2005. DOI: 10.1094/PHYTO-95-0233.
- Nurhayati. (2011) *Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*. Penerbit Universitas Sriwijaya: Palembang.
- Mehrotra, R.S. (2017) *Plant Pathology*. Tata McGraw-Hill Education, Delhi.
- Pallardy, S.G. (2008) *physiology of woody plants*. Academic Press is an imprint of Elsevier, San Diego, California, USA.
- Pelit, P., Acar, T and Karahan, M. (2014) *transcription and translation*. Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Bioengineering, Yildiz Technical University, Esenler-Istanbul Turkey.
- Perez, C. E. A., A. S. Daza, R. A. A. Diazgranados and H. M. Romero. (2020) Chlorophyll a fluorescence and leaf temperature are early indicators of oil palm diseases. *Scientia Agricola Research Article*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0106>.
- Pujiwati, I. (2018) *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Malang: Intimedia.
- Rao, S.M., R. Raghavendra and S.J. Reddy. (2006) *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Sopialena. (2017) *Segitiga Penyakit Tanaman*. Mulawarman University Press, LPPM Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur.
- Suniti, N.W. (2016) *Buku Ajar Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*. Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana Denpasar.

- Sutarman. (2017) *Dasar-dasar Ilmu Penyakit Tanaman*. USMIDA Press, Sidoarjo, Jawa Timur.
- Steudle, E (2000) Water uptake by plant roots: An integration of views. *Plant and Soil*, 226(1): 45-56.
- Tanaka, A. (2020) *Interactions between plant pathogens and their implications for crop protection*. Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Swedish University of Agricultural Sciences, SLU.

BAB 8

KETAHANAN TANAMAN TERHADAP SERANGAN PATOGEN

Oleh Suskandini Ratih

Masing-masing tanaman dapat diserang oleh berbagai macam patogen yang menyebabkan tanaman mengalami kerusakan berat atau ringan. Namun demikian banyak di antara tanaman tersebut yang tetap dapat bertahan hidup mengatasi serangan patogen. Ketika ada serangan patogen, tanaman tidak berdiam diri. Ada tanaman yang imun atau bebas atau ketahanannya absolut dari suatu serangan patogen. Tanaman itu tahan karena dilengkapi dengan struktur pencegahan maupun mekanisme induksi untuk melakukan pertahanan diri terhadap serangan patogen.

Tanaman dapat mempertahankan diri terhadap serangan patogen melalui sistem pertahanan berupa pertahanan struktural atau pertahanan kimiawi atau kombinasi dari dua macam cara pertahanan tersebut. Ketahanan struktural bertindak sebagai penghalang fisik sehingga patogen tidak mendapatkan jalan masuk dan tidak menyebar ke seluruh bagian tanaman. Ketahanan kimiawi adalah reaksi-reaksi biokimia yang berlangsung di dalam sel-sel dan jaringan tanaman serta memproduksi zat-zat yang bersifat racun terhadap patogen ataupun menciptakan kondisi yang mencegah perkembangan patogen di dalam tanaman. Pertahanan tanaman dipengaruhi oleh umur tanaman, macam organ dan jaringan tanaman yang diserang patogen, kondisi cuaca dan unsur hara di dalam tanaman.

Ketahanan struktural maupun ketahanan kimiawi terdiri atas ketahanan pasif dan ketahanan aktif. Apapun macam pertahanan tanaman inang yang digunakan terhadap patogen, kesemuanya itu secara langsung maupun tidak langsung dikendalikan oleh bahan-bahan genetik (gen) dari tanaman inang dan patogen. Suatu tanaman mungkin dengan mudah mempertahankan dirinya sendiri, yaitu tetap tahan (imun) walaupun kontak dengan agen biotik yang patogenik karena tanaman tersebut memang bukan merupakan inang dari patogen yang bersangkutan. Keadaan demikian ini dikenal dengan istilah ketahanan bukan sebagai inang yang merupakan bentuk umum dari ketahanan tanaman di alam. Contoh ketahanan bukan sebagai inang adalah tanaman apel yang tidak dapat diserang oleh patogen yang dapat menyerang tomat atau gandum atau tanaman jeruk karena dalam beberapa hal susunan genetik tanaman apel berbeda dengan tanaman tomat, gandum dan jeruk yang masing-masing mempunyai hubungan dengan jenis patogennya sendiri yang tidak dapat menyerang tanaman apel.

8.1 Mekanisme pertahanan struktural tanaman terhadap penetrasi patogen

Mekanisme pertahanan struktural tanaman terhadap penetrasi patogen dapat terjadi sebelum atau sesudah patogen mempenetrasi. Di bawah ini akan disampaikan pertahanan struktural suatu tanaman.

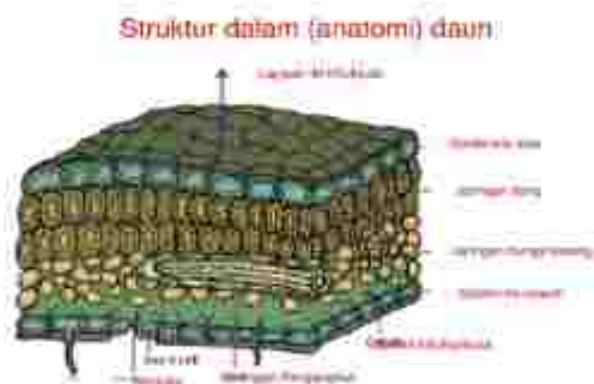
8.1.1 Pertahanan struktur sebelum penetrasi (*pre-existing structure*)

Pertahanan struktural tanaman telah ada sejak awal di permukaan tanaman tempat patogen kontak dan mempenetrasi. Sebagai gambarnya yaitu di permukaan tanaman terdapat lapisan lilin kutikula yang menutupi sel-sel epidermis. Selain itu dipengaruhi juga struktur epidermis dinding sel, ukuran, lokasi

dan bentuk stomata serta lentisel, dan adanya dinding sel yang tebal yang dapat menahan laju serangan patogen. Kutikula inang dapat menyediakan barrier atau tembok pertahanan fisik maupun kimia.

Jaringan muda umumnya lebih rentan dari adanya penetrasi jamur karena kutikulanya lebih tipis daripada jaringan yang dewasa. Apalagi jika memiliki lapisan lilin pada kutikula yang dapat menambah pertahanan tertentu terhadap penetrasi. Lapisan lilin akan lebih menyebabkan lapisan air yang ada di permukaan daun atau buah mengalir (*run-off*) sehingga menghambat pembentukan lapisan atau tetesan air pada lokasi kontak patogen.

Lapisan lilin pada permukaan daun atau buah akan mencegah lapisan air menempel pada kutikula di permukaan tersebut sehingga tidak ada lapisan air yang merupakan tempat sesuai untuk perkecambahan jamur dan pergerakan bakteri menuju lubang alami seperti stomata atau suatu luka. Gambar 8.1 menggambarkan struktur lapisan daun yang juga berlapis lilin.



Gambar 8. 1. Struktur daun

Sumber: <https://sacbiert.blogspot.com/2021/12/apa-fungsi-lapisan-lilin-pada-daun.html>

Kekuatan permukaan tanaman seperti sifat fisik kekerasan dan ketebalan permukaan tanaman mempengaruhi penetrasi aktif jamur patogenik ke dalam jaringan tanaman karena jamur tidak sekedar mempenetrasi memanfaatkan luka maupun lubang alami tanaman. Jamur *Puccinia graminis* tidak mampu mempenetrasi tanaman *Berberis* karena dinding sel daun tebal meskipun daun masih muda. Ketebalan dan kekerasan dinding sel-sel epidermis adalah faktor yang penting dalam ketahanan tanaman terhadap patogen yang melakukan penetrasi langsung pada permukaan tanaman, sehingga patogen sulit bahkan sama sekali tidak dapat mempenetrasi tanaman.

Ukuran, lokasi serta bentuk stomata atau lentisel sangat berpengaruh terhadap penetrasi patogen yang melaluli stomata dan lentisel. Stomata yang membukanya kecil atau letak stomata terhadap sel-sel penyangga yang miring atau stomatanya hanya membuka pada waktu siang hari sehingga lapisan tipis air pada permukaan daun sudah mengering tentunya akan menyulitkan penetrasi patogen. Patogen yang berpenetrasi melalui stomata akan terhambat bila pembukaan stomata kecil, sebagian tertutup, stomata sempit dan memanjang, letaknya menjorok ke dalam, atau stomata dengan sel penjaga yang hampir menutupi pembukaan stomata. Hal yang sama terjadi pada bentuk, ukuran, dan lokasi stomata.

Selain itu bulu-bulu yang tebal pada permukaan tanaman berfungsi mencegah air menempel pada permukaan tanaman sehingga dapat mencegah dan mengurangi infeksi patogen. Permukaan daun atau batang yang berambut lebat dan panjang berfungsi hampir seperti kutikula yang berlapisan lilin, yaitu dapat mengurangi penetrasi dan infeksi.

8.1.2 Pertahanan struktur setelah penetrasi (*induce structure*)

Pertahanan struktural setelah patogen melakukan penetrasi merupakan pertahanan yang aktif, yang akan dibentuk oleh jaringan inang setelah ada stimulasi "benda asing", misalnya patogen, toksin, atau luka. Struktur yang dibentuk disebut *papilla* yang merupakan lapisan jaringan sel inang yang dapat menghambat kolonisasi patogen ke jaringan inang lebih dalam dan luas.

Jaringan ini bersifat sebagai tembok penahan/barrier bagi pergerakan patogen. Pertahanan struktur setelah adanya penetrasi patogen akan dibahas pada mekanisme pertahanan aktif.

1. Mekanisme Pertahanan Pasif Terhadap Perkembangan Patogen

Banyak patogen yang telah berhasil mempenetrasi inangnya, kemudian tidak dapat melanjutkan serangan lebih dalam atau terbatas di area tertentu. Hal tersebut dimungkinkan karena bentuk ketahanan kimia awal (*pre-form defense*) dari inang.

Mekanisme ketahanan awal antara lain sebagai berikut.

- a. Kurang nutrisi tersedia pada tanaman terinfeksi yang dibutuhkan oleh patogen.
- b. Adanya senyawa toksik pada tanaman.
- c. Ketidakmampuan patogen membentuk enzim yang dibutuhkan untuk invasi lanjut.
- d. Adanya jaringan yang memblokir perkembangan lanjut dari patogen, seperti lignifikasi, lapisan suberin, endodermis, dan *schlerenchyma*.

- e. Adanya faktor yang kurang disukai patogen dalam jaringan inang, seperti cekaman air, pH yang terlalu tinggi atau rendah, konsentrasi osmotik yang tidak sesuai.

2. Mekanisme Pertahanan Aktif Terhadap Perkembangan Patogen

Patogen yang telah berhasil menembus inangnya, kemudian tidak dapat melanjutkan serangan lebih dalam atau terbatas di area tertentu karena terjadi induksi ketahanan atau struktur pertahanan yang terbentuk merupakan respon terhadap infeksi patogen. Tanaman memberikan respon dengan pembentukan struktur-struktur khusus yang dapat menahan invasi patogen lebih lanjut. Beberapa struktur yang terbentuk yaitu struktur pertahanan histologis, struktur pertahanan seluler, struktur pertahanan sitoplasmik, dan reaksi pertahanan hipersensitif.

a. Struktur Pertahanan Histologis

Struktur pertahanan secara histologis yaitu jaringan-jaringan tanaman membentuk struktur tertentu sebagai usaha menghalangi patogen berkembang lebih lanjut. Struktur pertahanan histologis antara lain meliputi:

1) Pembentukan lapisan gabus

Infeksi tanaman oleh jamur, bakteri, virus dan nematoda dapat menstimulasi tanaman untuk membentuk lapisan-lapisan sel gabus mengelilingi patogen pada tempat infeksi. Pembentukan sel-sel gabus ini sebagai akibat adanya stimulasi dari zat-zat yang dikeluarkan oleh patogen. Lapisan sel gabus berguna untuk mencegah perkembangan patogen lebih lanjut, mengatasi penyebaran toksin yang dihasilkan patogen serta menyetop aliran air dan

makanan dari bagian jaringan yang masih sehat ke bagian yang terinfeksi, sehingga patogen tidak dapat memanfaatkan air dan makanan tersebut, akibatnya patogen berikut jaringan yang terinfeksi mengalami kematian.

Patogen dan bagian tanaman terinfeksi yang telah mati tersebut berbentuk bercak nekrotik, atau bagian jaringan dan patogen yang mati tersebut didesak oleh jaringan yang masih sehat sehingga membentuk *scab* yang lama-kelamaan lepas dari tanaman.

2) Pembentukan lapisan absisi

Jika daun muda yang aktif berkembang terinfeksi oleh jamur, bakteri, dan virus maka terbentuk lapisan absisi. Lapisan absisi merupakan bidang celah antara dua lapisan di sekitar tempat terjadinya infeksi. Lamela tengah diantara lapisan tersebut larut sehingga terjadi kelayuan diiringi mengerutnya bagian-bagian tersebut dan akhirnya bagian yang terinfeksi berikut patogennya lepas dari tanaman. Lapisan absisi melindungi tanaman terhadap invasi serangan lanjut patogen; dan melindungi sel tanaman dari pengaruh toksin yang dimiliki patogen.

3) Pembentukan Tilosis

Tilosis dibentuk di dalam pembuluh xilem jika jaringan tanaman tersebut diserang patogen. Tilosis terbentuk sebagai akibat terjadinya perkembangan protoplas berlebihan yang bersebelahan dengan pembuluh xilem. Tilosis adalah tonjolan-tonjolan dinding bagian dalam dari pembuluh xilem, berukuran

besar maupun kecil yang dapat menghalangi perkembangan patogen.

4) Pembentukan Cairan Getah

Tanaman yang terinfeksi oleh patogen dapat memproduksi cairan getah yang masuk ke dalam sel dan ruang-ruang antar sel di sekitar tempat infeksi sehingga patogen terbungkus oleh cairan getah. Akibatnya patogen terisolasi, dan tidak berkembang hingga akhirnya mati. Cairan getah ini disebut juga sebagai "gum" (lapisan yang sulit ditembus patogen) di sekitar bercak.

b. Struktur Pertahanan Seluler

Struktur pertahanan seluler merupakan pertahanan sel-sel yang terinfeksi patogen, dimana terjadi perubahan-perubahan morfologis pada dinding sel. Namun demikian efektifitas pertahanan agak terbatas. Perubahan morfologi dinding sel sebagai respon adanya infeksi patogen berupa pembengkakan pada dinding sel parenkima yang terinfeksi bakteri, disertai pembentukan senyawa yang memerangkap dan menahan perkembangan bakteri, penebalan dinding sel sebagai respon infeksi virus dan jamur, dan pembentukan papila di bagian dalam dinding sel yang terinfeksi jamur. Semakin tebal papila, semakin sulit patogen melakukan invasi. Kondisi ini dikatakan inang yang diserang memiliki ketahanan struktural yang aktif.

Dua macam contoh struktur pertahanan seluler yaitu:

1. Lapisan paling luar dari dinding sel parenkim membengkak dan diikuti oleh terbentuknya bahan-bahan serat yang tidak teratur bentuknya, lalu

mengelilingi/memperangkap patogen sehingga patogen tidak dapat berkembang lebih lanjut (pada penyakit yang disebabkan oleh bakteri).

2. Terjadi penebalan dinding sel dengan cara memproduksi selulosa dan zat-zat fenol (pada penyakit-penyakit yang disebabkan jamur dan virus)

c. Struktur Pertahanan Sitoplasmik

Pada struktur pertahanan sitoplasmik, sitoplasma berubah menjadi butiran-butiran kecil dan padat yang merupakan partikel-partikel atau struktur yang mengakibatkan hancurnya miselia jamur. Struktur pertahanan sitoplasmik dibentuk pada sitoplasma sel tanaman yang terserang oleh jamur. Bagi jamur yang bersifat patogen lemah, sitoplasma inang akan mengelilingi kumpulan hifa. Akibatnya, hifa terdisintegrasikan sehingga invasi akan terhenti.

d. Struktur pertahanan Nekrotik/Hipersensitif

Pada struktur pertahanan hipersensitif tanaman digambarkan ujung hifa menyentuh protoplasma inti sel tanaman bergerak ke arah patogen, dan langsung merusak dirinya sendiri (intinya pecah) menjadi butiran-butiran berwarna coklat dan akhirnya seluruh sitoplasma juga berwarna coklat yang mengakibatkan kematian patogen. Infeksi bakteri pada daun akan diikuti oleh reaksi hipersensitif berupa hancurnya seluruh membran sel yang terinfeksi, kemudian mengering dan akhirnya terjadi nekrotik pada jaringan daun yang terinfeksi. Struktur pertahanan nekrotik/hipersensitif ini umumnya terdapat pada tanaman, terutama pada tanaman yang terserang oleh jamur parasit obligat, bakteri, virus dan nematoda. Semakin cepat nekrosis terbentuk, akan menyebabkan semakin resisten tanaman tersebut.

8.2 Mekanisme pertahanan biokimia (metabolik) tanaman terhadap penetrasi patogen

Ketahanan biokimia tanaman terjadi sebelum maupun sesudah infeksi patogen.

8.2.1 Pertahanan kimiawi sebelum adanya serangan patogen

Pertahanan biokimia sebelum penetrasi

Selain adanya pertahanan struktural atau fisik permukaan tanaman, ada pula pertahanan biokimia pada lapisan lilin permukaan tanaman tersebut. Sebagai ilustrasi terdapat senyawa biokimia yang ditemukan dalam menghambat penetrasi yaitu kitin pada jeruk nipis mengandung asam yang sangat beracun bagi *Gloeosporium limetticolum* Clausen, penyebab penyakit mati pucuk tanaman jeruk.

Contoh lain adanya kandungan senyawa pada varietas bawang putih yang kulitnya berwarna sehingga bersifat resisten terhadap busuk yang disebabkan oleh *Colletotrichum circinans* karena kandungan katekol dan asam protokatekol sebagai sekresi kulit bawang yang mati. Senyawa fenolik berfungsi mencegah perkecambahan konidia patogen. Di lain pihak, kulit bawang putih yang tidak berwarna rentan terhadap busuk. Namun, berbeda jenis patogen misalnya *Aspergillus niger* yang dapat mentoleransi asam protokatekol sehingga *Aspergillus niger* dapat menginfeksi bawang putih yang berkulit tidak berwarna maupun yang berwarna.

Tanaman mengeluarkan berbagai macam senyawa penghambat ke lingkungannya seperti asam-asam, minyak, ester dan senyawa-senyawa fenol melalui permukaan tanaman. Eksudat yang bersifat toksik pada permukaan daun pada beberapa tanaman dapat menghambat perkecambahan spora jamur atau perbanyakan bakteri yang berada pada lapisan air, embun pada permukaan daun.

Senyawa-senyawa kimia yang dihasilkan tanaman dapat menghambat enzim-enzim hidrolitik yaitu enzim perusak sel tanaman yang dihasilkan oleh patogen. Contohnya: tomat muda dapat menghasilkan zat tomatin sebagai anti jamur. Kacang tanah yang tahan terhadap penyakit bercak daun *Cercospora* memiliki kandungan riboflavin yang tinggi sebagai anti *Cercospora* spp. Umbi lapis bawang yang memiliki kulit luar berwarna merah tidak diserang oleh jamur *Colletotrichum circinans*, karena kulitnya selain mengandung pigmen merah juga mengandung senyawa fenol berupa asam prokatekuat dan katekol yang bersifat toksik terhadap jamur. Kedua senyawa toksik ini berdifusi ke dalam tetesan air berisi konidia jamur pada kulit bawang sehingga menghambat perkecambahan konidia dan infeksi pun tidak terjadi. Kedua senyawa toksik ini tidak terdapat pada bawang dengan kulit berwarna putih yang menyebabkan bawang jenis ini peka terhadap *C. circinans*.

8.2.2 Pertahanan kimiawi setelah adanya serangan patogen

Setelah ada infeksi patogen maka tanaman menghasilkan senyawa inhibitor sebagai respon adanya luka pada sel. Luka sel tanaman dapat berupa luka mekanik serangga, penetrasi hifa jamur sehingga timbul respon penutup luka berupa struktur kalus atau senyawa fungitoksik berupa asam kafein, senyawa fenol, fitoaleksin.

Respon sel-sel dan jaringan tanaman terhadap adanya patogen adalah terjadinya serangkaian reaksi biokimia di sekitar jaringan tanaman terinfeksi. Reaksi-reaksi biokimia tersebut menghasilkan senyawa-senyawa fenol seperti asam-asam klorogenik dan fitoaleksin. Senyawa-senyawa ini bersifat toksik terhadap patogen, mematikan patogen pada titik masuk (*initial infection*) sehingga sel tanaman nekrotik, melokasir dan membatasi perkembangan patogen virulen secara cepat, disebut sebagai reaksi hipersensitif.

Senyawa fenolik merupakan produk metabolisme sekunder dari tanaman. Pada tanaman sehat, senyawa fenolik terdapat dalam jumlah sedikit. Setelah infeksi patogen, terjadi peningkatan atau penumpukan senyawa fenolik. Senyawa fenolik lebih cepat dan lebih banyak pada tanaman yang mengalami infeksi. Contoh senyawa fenolik yaitu fitoaleksin. Kelompok fitoleksin antara lain berupa: senyawa-senyawa orchinol, pisatin (pada kacang kapri), phaseolin (pada buncis) rishitin (pada kentang), avenalumin (pada tanaman oat/sejenis gandum), oryzaleksin (pada padi) dan ipomeamaron (pada ubi jalar). Tanaman padi yang tahan terhadap jamur *Pyricularia oryzae*, ternyata menghasilkan asam klorogenik dan asam ferulat yang dapat menetralkan racun pirikularin ($C_{18}H_{14}N_2O_3$) dan "L-picnolic acid" ($C_8H_5NO_2$) yang diproduksi oleh *P. oryzae*.

Serangan patogen akan menyebabkan tanaman bereaksi dengan cara mengakumulasi produksi senyawa fenolik yang beracun. Semua jalur enzimatik metabolisme tanaman bekerja melawan adanya patogen. Pada serangan patogen tidak hanya berimpak pada peningkatan produksi enzim peroksidase untuk mengoksidasi peroksida yang beracun, tetapi terjadi juga peningkatan laju pembentukan senyawa mirip lignin yang berfungsi sebagai barier.

Sebagai reaksi adanya infeksi patogen, maka tanaman membentuk senyawa yang menyebabkan substrat resisten terhadap enzim patogen. Substrat anti enzim patogen pada tempat-tempat infeksi sulit didegradasikan oleh patogen sehingga pada tempat-tempat infeksi tersebut tidak terjadi kerusakan jaringan tanaman. Substrat anti enzim patogen merupakan kompleks senyawa-senyawa pektin, protein, kation polivalen seperti kalsium dan magnesium.

Pada tanaman yang diinfeksi oleh patogen terbentuk fenolik dan oksidasi fenolik. Fenolik berfungsi untuk inhibitor, menghambat kerja untuk inaktivasi enzim pektolitik patogen

(enzim yang dimiliki oleh patogen untuk menghancurkan pektin pada tanaman). Atas dasar itu maka pektin tanaman tidak terurai sehingga menghambat kemunculan gejala busuk pada tanaman.

Ada juga pertahanan biokimia tanaman yang diinduksi atau yang timbul karena infeksi patogen berupa terbentuknya sianida. Sianida ini terdapat pada gandum, cassava, dan rami (*flax*) yang dinding selnya mengandung sianogenik glikosida atau ester sianogenik yang sebelumnya tidak beracun di dalam sel apabila senyawa tersebut tidak terhidrolisis. Namun apabila dinding sel tanaman dirusak oleh patogen atau stres pada tempat tertentu sehingga membran pecah maka enzim hidrolitik bereaksi dengan kompleks senyawa sianogenik membentuk senyawa toksin sianida (HCN). Enzim hidrolitik mengubah sianogenik menjadi sianida yang toksik bagi jamur atau mikroorganisme lain yang menginfeksi tanaman. Sianida mengganggu proses respirasi dalam mitokondria patogen.

Kajian sianogenik glikosida yang semula tidak beracun menjadi sianida yang beracun karena terhidrolisis oleh adanya sel bocor akibat penetrasi patogen ternyata tidak konsisten. Di alam dijumpai jamur patogenik yang mampu menginfeksi tanaman sianogenik namun sianida tanaman menjadi metabolit tidak beracun, atau sianida yang terbentuk tidak mengganggu respirasi mitokondria. Mengapa sianida berubah tidak beracun? Ternyata karena ada salah satu enzim pada patogen yang dapat menawarkan sianida adalah enzim formamida hidro liase yang mengubah sianida menjadi formamida non toksin (HCONH₂). Atas dasar kajian tersebut, kehadiran sianida dalam tanaman sianogenik kadang kadang dapat berperan dalam pertahanan tanaman apabila patogennya tidak memiliki enzim formamida hidro liase penawar racun sianida.

Mekanisme lain dalam pertahanan biokimia tanaman yang diinduksi patogen adalah kemampuan tanaman mendetoksifikasi toksin yang dihasilkan patogen. Toksin yang dihasilkan oleh

patogen dimetabolisme lebih cepat oleh tanaman varietas tahan, atau terjadi kombinasi dengan senyawa lain membentuk senyawa tidak beracun. Jumlah senyawa tidak beracun berbanding lurus dengan ketahanan tanaman.

Tanaman varietas tahan atau tanaman bukan inang (*non host*) terhadap infeksi patogen ternyata memberikan respon tahan terhadap toksin spesifik yang dihasilkan oleh jamur *Helminthosporium* spp. Hal ini menjadi kajian apakah daya kerja toksin patogen terhadap tanaman tergantung pada keberadaan gen non reseptor tanaman, atau pada gen detoksifikasi toksin yang ada pada tanaman, atau mekanisme lainnya.

Memahami mekanisme ketahanan tanaman terhadap serangan patogen maupun kerusakan mekanik oleh serangga maupun agen lainnya melatarbelakangi berbagai pembahasan pengendalian terhadap penyakit tanaman maupun serangga vektor patogen tanaman. Selain itu ketahanan tanaman yang ternyata dapat diinduksi menjadi dasar pemikiran untuk penggunaan suatu mikroorganisme non patogenik dapat dimanfaatkan sebagai elisitor induksi ketahanan tanaman. Di negara tropis dengan tingginya biodiversitas mikroorganisme maka eksplorasi mikroorganisme non patogenik yang menguntungkan sebagai penginduksi ketahanan tanaman dapat terus dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios GN. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Academic Press. New York.
- Agrios. G.N. Terjemahan. 1996. Ilmu Penyakit Tumbuhan. Ed. Ketiga. Gadjah Mada
- Goodman RN, Kiraly Z. & Wood KR.1986. The Biochemistry and Physiology of Plant Disease. University of Missouri Press. Columbia.
- Vidyasekaran, P. 1988. Physiology of Disease Resistance in Plants. Vol. I. CRC Press, Inc.
- <https://sacbiert.blogspot.com/2021/12/apa-fungsi-lapisan-lilin-pada-daun.html>

BAB 9

PRINSIP PENGELOLAAN PENYAKIT TANAMAN

Oleh Anwar

9.1 Pendahuluan

Informasi mengenai pengetahuan tentang sumber penyebab dari suatu penyakit (*etiologi*), gejala yang ditimbulkan oleh tanaman dari serangan organisme pengganggu tanaman, proses bagaimana penyakit bermula atau berkembang (*patogenesis*), dan pola penyebaran penyakit tanaman (*epidemiologi*) menarik secara intelektual dan penting untuk dikaji sehingga dapat membantu dalam perumusan metode yang dikembangkan untuk keberhasilan pengelolaan penyakit dan sehingga meningkatkan kuantitas dan meningkatkan kualitas tanaman dan produk tanaman dari yang membudidayakan.

Prinsip pengelolaan penyakit tanaman adalah panduan atau dasar untuk mengendalikan serangan organisme pengganggu tanaman dilahan budidaya. Tujuannya adalah melindungi tanaman budidaya agar dapat mencapai produksi maksimal sesuai harapan yang dilakukan dengan cara terstruktur. Dalam pengelolaan penyakit tanaman, terdapat strategi dan taktik yang perlu diperhatikan. Dimana strategi merupakan perencanaan atau pengelolaan implementasi upaya untuk mengendalikan penyakit tanaman, sementara taktik adalah metode yang digunakan untuk mencapai tujuan sesuai dengan strategi yang telah dirancang (Sopialena, 2018).

Praktek dari pengelolaan penyakit pada tanaman menunjukkan tingkat variasi yang signifikan dalam respons terhadap berbagai penyakit yang dipengaruhi oleh jenis patogen inang dan faktor biotik maupun abiotik yang terlibat didalamnya. Hal tersebut bertentangan jika dikaitkan dengan pengelolaan penyakit pada manusia dan hewan dimana setiap individu harus ditangani. Tetapi pada tanaman umumnya diperlakukan sebagai populasi dan tindakan atau pengelolaan yang digunakan lebih bersifat preventif dibandingkan kuratif. Metode pengendalian penyakit tanaman pertama kali diklasifikasikan oleh (Whetzel, 1929) menjadi eksklusi, pemberantasan, perlindungan dan imunisasi. Lebih lanjut dalam patologi tanaman mengarah ke pengembangan metode yang lebih baru dimana ada dua prinsip lagi dalam pengelolaan penyakit tanaman yaitu penghindaran dan terapi (Maloy, 1993).



Gambar 9. 1. Prinsip utama pengelolaan penyakit tanaman

Sumber: <https://www.slideserve.com/kim/pengendalian-penyakit-tanaman>

9.2 Pertimbangan Dasar Pengelolaan Penyakit Tanaman

Dasar pertimbangan pengelolaan penyakit tanaman merupakan aspek penting dalam dunia pertanian untuk menentukan dan memastikan kesehatan dan produktivitas tanaman yang dibudidayakan. Beberapa pertimbangan dasar yang perlu diketahui dan dipahami dalam pengelolaan penyakit tanaman (Sutarman, dkk. 2020)

1. Identifikasi Penyakit

Identifikasi penyakit dimaksudkan untuk memahami gejala penyakit tanaman yang sedang terjadi di lapangan, dan mengidentifikasi patogen penyebab penyakit seperti yang disebabkan oleh bakteri, cendawan, virus maupun nematoda.

2. *Surveillance* (Pemantauan)

Surveillance yaitu melakukan pemantauan rutin untuk mendeteksi gejala penyakit sejak dini pada tanaman serta menggunakan teknologi dan alat yang tepat untuk memudahkan pemantauan.

3. Karantina dan Isolasi

Karantina dan isolasi ini dilakukan untuk memisahkan tanaman yang terinfeksi untuk mencegah penyebaran penyakit tanaman dan menerapkan praktik karantina pada tanaman baru yang datang untuk mencegah masuknya penyakit baru di areal pertanaman.

4. Sanitasi

Sanitasi yang dimaksudkan adalah menjaga kebersihan areal pertanaman untuk mengurangi resiko penyebaran penyakit serta membuang sisa-sisa tanaman yang terinfeksi penyakit baik yang disebabkan oleh virus, cendawan, bakteri, maupun nematoda dengan baik dan benar.

5. Rotasi Tanaman

Mengimplementasikan rotasi tanaman untuk mengurangi resiko penyebaran penyakit tertentu dan melakukan penanaman yang berbeda pada lokasi atau areal yang sama secara bergantian sehingga dapat memutus siklus perkembangan penyakit tanaman.

6. Penggunaan Varietas Tahan Penyakit

Pemilihan varietas tanaman yang tahan terhadap penyakit tertentu atau mendorong pengembangan dan penggunaan varietas tanaman yang tahan penyakit.

7. Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan lingkungan dilakukan untuk menciptakan lingkungan yang tidak mendukung perkembangan patogen penyakit dengan cara mengelola kelembaban, sirkulasi udara dan faktor lingkungan lainnya.

8. Pengendalian Biologis

Pengendalian biologis ini dilakukan dengan cara menggunakan musuh alami penyakit tanaman seperti predator alami atau parasitoid. Menerapkan mikroorganisme yang menghambat pertumbuhan patogen seperti penggunaan Biofungisida maupun Biobakterisida.

9. Pengendalian Kimia

Pengendalian kimia dilakukan dengan menggunakan pestisida atau fungisida secara bijaksana dan sesuai petunjuk atau rekomendasi yang telah ditetapkan pemerintah serta memilih bahan kimia yang efektif dan ramah lingkungan.

10. Edukasi dan Pelatihan

Edukasi dan pelatihan ini dilakukan untuk membimbing petani dan pemangku kepentingan tentang pengelolaan penyakit tanaman. Serta memberikan pelatihan mengenai tanda-tanda dan gejala-gejala serangan patogen serta metode pengendalian penyakit pada tanaman

11. Kerja Sama Antar Petani

Mendorong kolaborasi antara petani untuk meminimalkan resiko penyebaran penyakit dan berbagi informasi dan pengalaman dalam mengelola penyakit tanaman

12. Riset dan Inovasi

Riset dan inovasi ini dapat mendukung riset untuk mengembangkan metode pengelolaan penyakit yang lebih efektif serta mengadopsi inovasi dan teknologi terbaru dalam pengelolaan penyakit tanaman.

Dengan memperhatikan pertimbangan dasar ini, petani dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan penyakit tanaman dan meminimalkan kerugian hasil pertanian.

9.3 Prinsip Pengendalian Penyakit Tanaman

Menurut Sutarman (2017), dalam upaya pengendalian penyakit tanaman pada prinsipnya dikelompokkan menjadi beberapa bagian diantaranya:

1. Eksklusi (Pencegahan patogen)

Eksklusi dapat diartikan sebagai usaha mencegah masuknya atau berkembangnya patogen ke suatu wilayah baru atau areal pertanaman. Beberapa cara yang perlu dilakukan untuk mencegah penyebaran pathogen tersebut

yaitu melarang masuknya bahan tanam yang mungkin mengandung penyakit, sertifikasi benih, pemeriksaan tanaman, pemberantasan inokulum dan atau serangga hama.

2. Eradikasi (Membasmi)

Eradikasi dapat diartikan sebagai proses mengurangi, menonaktifkan, menghancurkan atau menghilangkan inokulum sebelumnya baik dari suatu wilayah atau dari suatu tanaman sebelum menyebar lebih luas. Pemberantasan atau pembasmi melibatkan pemusnahan patogen dari daerah yang terinfestasi, dimana besarnya semua tindakan pengendalian mungkin sangat bervariasi. Salah satu pemberantasan tindakan pengendalian yang paling luas yang telah dilakukan sejauh ini adalah memberantas penyakit kanker pada tanaman jeruk yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas axonopodis* (Shahbaz et al., 2023).

- a. Kasus ini terjadi di Amerika Serikat selama tahun 1927 sampai tahun 1935, dimana sebanyak empat juta pohon jeruk di tebang dan dibakar dengan kerugian ditaksir mencapai 2,5 juta dolar untuk melakukan pemberantasan patogen *xanthomonas axonopodis* tersebut. Beberapa cara yang perlu dilakukan atau diperhatikan untuk mengatasi hal tersebut adalah melakukan rotasi tanaman, sanitasi areal pertanaman, perlakuan panas atau perlakuan kimia pada bahan tanam dan tanah, pengendalian biologis dan lain-lain.

3. Proteksi (perlindungan)

Perlindungan tanaman dapat diinterpretasikan sebagai tindakan untuk melindungi tanaman atau mencegah terjadinya kontak antara inang dan patogen. Perlindungan terhadap infeksi patogen akan melawan inokulum dari banyak penyakit menular yang menyebar dengan cepat baik itu yang terbawa oleh angin dari lahan yang memiliki patogen atau inang lainnya. Prinsip eksklusif dan eradikasi mungkin

belum cukup untuk mencegah kontak inang dengan patogen, sehingga perkembangan penyakit akan segera terjadi. Olehnya itu diperlukan tindakan untuk mengatasi hal tersebut dengan cara melindungi permukaan tanaman inang dari serangan inokulum. Untuk mencapai tujuan tersebut adalah melalui penggunaan metode kultur teknis (sanitasi, pengelolaan tanah, pengelolaan air, rotasi tanaman, tanaman serempak, pengaturan jarak tanam, tumpang saru dan menanam varietas unggul), secara fisik (perlakuan panas, penggunaan air sabun, penggunaan penghalang/barrier), secara mekanis, perlakuan semprotan bahan kimia, modifikasi lingkungan, dan modifikasi nutrisi inang (Sutarman, 2017).

4. Resistensi (ketahanan)

Resistensi dapat diartikan sebagai upaya untuk mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh penyakit pada inang dengan membuat ketahanan pada inang tersebut. Ini menggunakan mekanisme bawaan untuk melawan berbagai aktivitas serangan patogen. Infeksi yang disebabkan oleh patogen dapat menjadi tidak efektif melalui manipulasi genetik. Teknik pemuliaan digunakan untuk mengembangkan kultivar tahan dari berbagai jenis tanaman yang tahan terhadap patogen atau kelompok patogen tertentu dengan menggunakan alat bioteknologi seperti kultur jaringan, rekayasa genetika dan fusi protoplas.

5. *Avoidance* (Pencegahan)

Hal ini dilakukan untuk menghindari penyakit yang disebabkan oleh patogen dengan menanam pada waktu atau di areal yang tidak memiliki inokulum awal. Tujuan utamanya adalah untuk memungkinkan inang menghindari kontak langsung dengan patogen atau untuk memastikan bahwa tanaman yang rentan tidak terinfeksi patogen baik itu

bertepatan dengan kondisi yang menguntungkan bagi patogen itu sendiri.

Praktik utama yang harus diperhatikan agar terhindar dari infeksi patogen adalah pemilihan lahan, pemilihan waktu tanam, pemilihan benih, bibit dan bahan tanam, varietas bebas penyakit serta modifikasi kegiatan budidaya. Sebagai contoh budidaya tanaman kentang di dataran tinggi lebih relatif bebas dari penyakit virus jika dibandingkan di tanam pada areal dataran rendah, karena kondisi lingkungan yang ada tidak memungkinkan untuk terjadinya penumpukan populasi vektor. Demikian pula dengan penanaman awal tanaman gandum atau kentang di dataran rendah Indonesia dapat terhindar dari penyakit busuk daun atau penyakit karat batang pada masing-masing tanaman

6. *Therapy* (Terapi)

Terapi ini merupakan pengobatan tanaman inang yang mengalami infeksi patogen yang coba dilakukan secara ekonomis. Sebagai prinsip pengendalian penyakit tanaman, hal ini memberikan peluang penyembuhan atau peremajaan tanaman inang yang sakit dengan menggunakan bahan fisik atau kimia. Terapi adalah prosedur kuratif dan diterapkan pada individu tanaman setelah infeksi terjadi. Berdasarkan konsep pengelolaan penyakit prinsip ini telah diklasifikasikan menjadi lima kategori (Sutarman, dkk., 2020) yaitu:

- a. Pengelolaan lingkungan fisik
- b. Pengendalian microbiota terkait
- c. Pengelolaan gen inang
- d. Pengelolaan dengan bahan kimia
- e. Pengelolaan dengan terapi

9.4 Strategi Pengelolaan Penyakit Tanaman

Strategi pengelolaan penyakit tanaman merupakan bagian integral dari pertanian yang berkelanjutan dan produktif. Pengelolaan penyakit tanaman melibatkan tahapan-tahapan pencegahan, pemantauan, dan intervensi yang tepat. Pada umumnya ada tiga pendekatan yang bisa dilakukan dalam pengelolaan penyakit tanaman (Suganda, 2020) yaitu :

1. Strategi Untuk Mengurangi Inokulum Awal

Dalam melakukan penurunan jumlah inokulum awal dapat dilakukan dengan cara sanitasi, baik itu dilakukan pada awal pertanaman di persawahan atau di ladang sebagai sumber infeksi sehingga terjadinya perkembangan penyakit dapat dihindari. Sanitasi telah umum dilakukan oleh para pembudidaya tanaman pada semua bentuk pertanaman. Dalam tindakan sanitasi untuk mengurangi jumlah inokulum awal didalamnya juga dapat dilakukan penggunaan varietas tahan, penggunaan benih sehat, perlakuan benih penggunaan fungisida, bakterisida atau desinfektan. Taktik yang dapat dilakukan untuk mengurangi inokulum awal adalah dengan cara:

- a) *Avoidan* (memperhatikan waktu tanam, lahan perlu di bersihkan dan memperhatikan lingkungan yang tidak cocok dengan patogen)
- b) *Therapy* (melakukan terapi air panas, kimia, dan memperhatikan benih atau bagian tanaman vegetative bebas penyakit)
- c) *Eradikasi* (melakukan sanitasi, memusnakan sumber inokulum, memusnakan inang antara)
- d) *Ekslusi* (mengurangi jumlah inokulum awal yang berasal dari luar lahan pertanaman)

- e) *Proteksi* (Mengaplikasikan fungisida maupun bakterisida atau membuat penghalang infeksi pada tanaman)
- f) *Resisten* (menggunakan kultivar yang tahan terhadap infeksi inokulum awal)

2. Strategi Untuk Mengurangi Laju Infeksi.

Dalam mengurangi laju infeksi patogen dapat ditekan melalui penggunaan varietas tanaman yang tahan patogen. Namun, lebih optimal jika menggunakan tanaman yang mempunyai sifat ketahanan alami. Ada dua jenis ketahanan tanaman secara umum, yaitu ketahanan vertikal dan horizontal. Ketahanan vertikal merupakan hasil rekayasa genetik oleh pemulia tanaman, yang umumnya terkait dengan satu atau beberapa gen dan hanya efektif pada satu varietas atau ras tertentu. Sedangkan ketahanan horizontal adalah ketahanan alamiah yang dimiliki tanaman dan dikendalikan oleh berbagai gen (Santoso, dkk., 2020). Ciri dari ketahanan horizontal ini adalah gen ketahanannya tidak dapat diidentifikasi, ketahanannya relatif bagus, dikuasai oleh banyak gen, tahan terhadap semua varietas atau ras terhadap serangan patogen, dan pewarisannya tidak seperti pewarisan hukum mendel yakni dalam pembentukan gamet, kedua gen induk yang merupakan pasangan alel akan berpisah dan akan menyebabkan tiap gamet menerima satu gen dari induknya (Yuliani and Rohaeni, 2017). Taktik yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju infeksi adalah dengan cara :

- a) *Avoidan* (Laju infeksi dikurangi dengan waktu tanam, lahan, dan lingkungan yang cocok)
- b) *Ekslusi* (Kurangi masuknya inokulum selama terjadinya perkembangan penyakit)
- c) *Eradikasi* (melakukan penebangan, pemangkasan, dan melakukan pemusnahan inokulum selama terjadinya epidemi)

- d) *Proteksi* (mengurangi laju infeksi dengan fungisida, bakterisida, nematisida atau penghalang lain)
- e) *Resisten* (menghambat laju infeksi atau perkembangan patogen melalui ketahanannya dengan menggunakan kultivar yang tahan)
- f) *Therapy* (Menyembuhkan tanaman yang telah terinfeksi)

3. Strategi Untuk Mengurangi Lamanya Epidemil

Untuk mengurangi lamanya epidemil atau penyebaran penyakit dapat dilakukan dengan cara:

- a) *Avoidan* (menanam tanaman yang cepat dewasa agar terhindar dari infeksi)
- b) *Ekslusi* (mengambat introduksi inokulum dari luar dengan karantina).

Strategi di atas dapat diterapkan sesuai dengan keadaan atau masalah yang dihadapi di lapangan. Pada bentuk perkembangan penyakit monosiklik, peran inokulum awal, laju infeksi dan waktu menjadi faktor penentu terhadap tingkat keparahan penyakit yang terjadi. Penyakit monosiklik memiliki potensi yang menyebabkan kerugian hasil produksi tanaman yang signifikan atau bahkan kehilangan tanaman hanya dalam satu siklus infeksi selama satu musim tanaman. Mengurangi inokulum awal dan laju infeksi akan secara proporsional menurunkan intensitas penyakit selama periode epidemil. Menanam lebih awal atau menggunakan varietas tahan dengan siklus hidup yang lebih pendek dapat mengurangi periode perkembangan penyakit secara proporsional.

Tabel 9. 1. Strategi pengelolaan penyakit tanaman berdasarkan asas-asas epidemiologi (Nurhayati, 2011).

No	Strategi	Menekan inokulum awal	Menekan laju infeksi	Menekan lama epidemic
1.	Penghindaran	Mengurangi tingkat penyakit dengan memilih musim tanam yang memiliki inokulum rendah atau lingkungan yang tidak mendukung infeksi	Mengurangi produksi inokulum, laju infeksi dan laju penyebaran penyakit dengan memilih musim/ lingkungan yang tidak mendukung penyebaran infeksi patogen	Menanam varietas dengan siklus hidup singkat atau pada musim dimana tanaman tumbuh dan berkembang dengan cepat
2	Ekslusi	Mencegah inokulum dan luar untuk masuk	Mengendalikan atau mengurangi kemungkinan introduksi dari luar selama periode epidemi	Mengendalikan melalui penerapan karantina tanaman
3	Eradikasi	Mengurangi produksi inokulum awal dengan menghancurkan sumber inokulum awal melalui sanitasi dan memusnakan	Menghambat produksi inokulum selama periode epidemic dengan menghilangkan sumber inokulum	

No	Strategi	Menekan inokulum awal	Menekan laju invekasi	Menekan lama epidemic
		zumber inokulum awal, termaksud inang alternatifnya.		
4	Proteksi	Mengurangi tingkat inokulum awal dengan menggunakan senyawa toksik atau sejenisnya.	Mengurangi laju infeksi dengan menggunakan senyawa tokrik	
5	Resistensi	Penggunaan kultivar tahan terutama terhadap invekasi awal	Menggunakan kultivar yang dapat mengurangi laju produksi inokulum, laju infeksi dan laju epidemik	
6	Terapi	Melakukan pengobatan kimia, terapi panas, atau penggunaan bibit yang telah bersertifikasi	Menangani tanaman yang telah terinfeksi dan mengurangi produksi inokulum awal	

9.5 Taktik atau Teknik Pengelolaan Penyakit Tanaman

Taktik atau teknik pengelolaan penyakit ini dipakai untuk mencapai tujuan berdasar strategi yang dicanangkan atau yang telah dilakukan. Menurut Suganda (2020), aplikasi pengendalian atau pengelolaan yang dapat diterapkan/dilakukan di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Taktik Karantina

Taktik karantina ini dilakukan dengan melarang impor bahan perbanyak tanaman dari luar negeri atau daerah tertentu. Sebagai contoh, penyakit darah pada tanaman pisang yang disebabkan oleh patogen *Pseudomonas celebensis* yang telah di atur dalam Undang-undang Negara nomor 532 tanggal 10 september 1921, yang mengeluarkan larangan membawa bibit pisang dari wilayah Sulawesi guna mencegah penyebaran penyakit tersebut. Upaya lainnya, melibatkan pemeriksaan sumber-sumber penyebaran penyakit di perbatasan wilayah terhadap pergerakan tanaman yang bertujuan untuk menghalangi masuknya penyakit ke daerah baru.

2. Taktik Pengendalian Dengan Uji Kesehatan Tanaman

Taktik ini melibatkan penggunaan biji atau bibit yang tidak terinfeksi penyakit. Sebagai contoh, biji diberi perlakuan dengan fungisida Ridomil untuk mencegah penyakit bulai pada tanaman jagung yang disebabkan oleh cendawan *Scelerospora maydis*.

3. Taktik Pengendalian Sertifikasi

Pelaksanaan strategi ini di lapangan dilakukan dengan memberikan sertifikat tanaman sehat dan menghilangkan tanaman yang terinfeksi oleh penyakit yang disebabkan oleh patogen.

4. Taktik Pengendalian dengan Disinfeksi

Pengaplikasian taktik ini dilapangan dilakukan dengan cara: a) Menerapkan perlakuan kimia pada biji, seperti merendam benih padi untuk mematikan bakteri tular benih *Xantomonas* yang menjadi penyebab penyakit bercak daun pada tanaman padi. b) Menangani dengan menggunakan air panas, sebagai contoh merendam biji kubis dalam air panas pada suhu 50 °C selama 30 menit untuk mengatasi bakteri *Xanthomonas campestris* penyebab penyakit busuk hitam.

5. Taktik Pengendalian dengan Pemeriksaan

Pengendalian dengan taktik pemeriksaan umumnya diterapkan pada kebun-kebun buah ataupun pertanaman hortikultura, dengan melakukan deteksi pada dahan-dahan yang terinfeksi dan mengendalikan tanaman yang terinfeksi tersebut.

6. Taktik Pengendalian dengan Pemeliharaan Tanaman Antagonis

Taktik pengendalian dan pemeliharaan tanaman antagonis dapat dilakukan dengan mengimplementasikan penerapan strategi pengendalian, dengan menggunakan tanaman antagonis sebagai tanaman sela. Contohnya menggunakan tanaman *Tagetes sp.* atau dengan memanfaatkan organisme antagonis terhadap patogen, seperti *Trichoderma sp.*

7. Taktik Pengendalian dengan Meniadakan Makanan Utama

Taktik ini diterapkan dengan melakukan pergiliran tanaman, dimana tanaman utama ditanam secara bergilir dengan tanaman yang bukan menjadi inang penyakit utamanya.

9.6 Manajemen Pengelolaan Penyakit Terpadu

Pengelolaan Penyakit Terpadu (PPT) adalah suatu pendekatan yang holistik untuk mengendalikan penyakit pada tanaman atau hewan. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi kerugian yang disebabkan oleh penyakit melalui kombinasi berbagai metode pengendalian, sehingga tidak hanya mengandalkan satu strategi saja. PPT mencakup sejumlah langkah-langkah yang dapat diterapkan secara terpadu untuk mencapai keberhasilan dalam pengendalian penyakit (Sutarman, dkk., 2020).

Sementara itu, penanganan mikroorganisme penyebab penyakit melibatkan kegiatan yang bertujuan untuk mengecualikan, mengurangi, atau memberantas sumber infeksi. Penanganan inang melibatkan praktik yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman, merangsang resistensi melalui nutrisi tanaman, memperkenalkan ketahanan genetik melalui pemuliaan, dan memberikan perlindungan sesuai kebutuhan dengan menggunakan metode kimisawi. Penanganan lingkungan mencakup praktik yang mengubah kondisi lingkungan agar tidak mendukung perkembangan patogen atau penyakit, tanpa mempengaruhi tanaman inang secara negatif (Indiati and Marwoto, 2017).

Dengan menerapkan manajemen pengelolaan penyakit terpadu, petani dapat mencapai pendekatan yang lebih holistik dan berkelanjutan dalam mengatasi tantangan penyakit tanaman. Pendekatan ini memaksimalkan efisiensi pengelolaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan sambil meningkatkan produktivitas pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Indiati, S.W. and Marwoto, M. (2017) 'Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (Pht) Pada Tanaman Kedelai'. *Buletin Palawija*, 15(2), p. 87. doi:10.21082/bulpa.v15n2.2017.p87-100.
- Maloy, O.C. (1993) *Pengendalian Penyakit Tanaman: Prinsip dan Praktek*. John Wiley dan Sons. New York: Inc.
- Nurhayati (2011) *Epidemiologi Penyakit Tumbuhan*. Edisi pert. Palembang: Universitas sriwijaya.
- Santoso, S. Nasution, A. and Yunani, N. (2020) 'KERAGAMAN DAN SUMBER GEN KETAHANAN VARIETAS PADI LOKAL TERHADAP PATOGEN *Pyricularia grisea* PENYEBAB PENYAKIT BLAS'. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(2), pp. 119-128. doi:10.31186/jipi.22.2.119-128.
- Shahbaz, E. et al. (2023) 'Citrus Canker Pathogen, Its Mechanism of Infection, Eradication, and Impacts'. *Plants*, 12(1). doi:10.3390/plants12010123.
- Sopialena (2018) *Pengendalian hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba*. Mulawarman University Press. Samarinda: Mulawarman University Press.
- Suganda, T. (2020) *aktik Pengendalian dan Strategi Pengelolaan Penyakit Tanaman*. Bandung: Unpad Press.
- Sutarman (2017) *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tanaman*. Umsida Press. Sidoarjo: Umsida Prees. Available at: [http://eprints.umsida.ac.id/4208/1/Buku DASAR-DASAR ILMU PENYAKIT TANAMAN.pdf](http://eprints.umsida.ac.id/4208/1/Buku_DASAR-DASAR_ILMU_PENYAKIT_TANAMAN.pdf).
- Sutarman, PrihatinIngrum, A.E. and Miftakhurrohmat, A. (2020) *Pengelolaan Penyakit Tanaman Terpadu*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS.
- Whetzel, H.H. (1929) *Terminologi Patologi Tumbuhan. Proses. Int. Kong. Ilmu Tumbuhan*. Ithaca: NY.

Yuliani, D. and Rohaeni, W.R. (2017) 'Heritability, Gene Resource, and Durability of Rice Varieties Resistance To Bacterial Leaf Blight Disease', *Jurnal Litbang Pertanian*, 36(2), p. 99.

BAB 10

STRATEGI PENERAPAN PHT

Oleh Lutfi Afifah

Pengendalian OPT yang sering digunakan oleh petani yaitu pestisida sintetik yang jika digunakan secara terus menerus dalam jumlah banyak dapat menyebabkan residu pada produk pertanian dan hama menjadi resisten terhadap pestisida sintetik. Salah satu pengendalian menggunakan pestisida sintetik yaitu pemakaian insektisida secara berlebihan dapat membuat dampak negatif yang mempengaruhi keanekaragaman serangga seperti mematikan serangga predator alami, serangga penyerbuk dan serangga non target (Iswara *et al.* 2022). Perlu ada pengendalian lain sehingga pestisida sintetik dijadikan pengendalian terakhir. Metode pengendalian OPT secara terpadu dapat dijadikan sebagai pengendalian utama dikenal dengan istilah pengendalian hama terpadu (PHT).

Menurut Afifah *et al.* (2015), Pengendalian Hama Terpadu (PHT) adalah suatu pengendalian OPT dengan pertimbangan ekologi dan efisiensi ekonomi dalam rangka pengelolaan ekosistem yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Menurut Mulyasa *et al.* (2020), pengurangan penggunaan berbahan insektisida sintetik untuk menunjang konsep PHT perlu pengendalian bersifat ramah lingkungan antara lain menggunakan perangkap berperekat (*yellow sticky trap*), penggunaan bahan bioaktif seperti pestisida nabati dan musuh alami (predator, patogen dan parasitoid). PHT merupakan sistem pengendalian OPT yang aman bagi lingkungan, efisien, dan efektif karena dilakukan dengan memadukan beberapa teknik pengendalian. Sistem PHT biointensif memiliki tahapan pengendalian diawali dari sistem budidaya, pemilihan varietas, pemupukan, pemilihan lokasi dan waktu tanam. PHT memiliki

prinsip yaitu budidaya tanaman sehat, pemanfaatan musuh alami, pengamatan (*monitoring*) dan petani sebagai ahli (Megasari *et al.* 2022). Pengendalian hama pada tanaman dengan menggunakan musuh alami merupakan alternatif pengendalian yang direkomendasikan. Musuh alami baik predator maupun parasitoid dapat mengendalikan populasi hama sehingga terjadi keseimbangan alam seperti menjaga kestabilan jaring-jaring makanan dalam ekosistem dan dapat mengurangi penggunaan pestisida sehingga keadaan musuh alami di lapang perlu diperhatikan (Yanti *et al.* 2022).

Pengelolaan Hama Terpadu merupakan komponen vital dari sektor pertanian regenerative. Proses mencapai pertanian bebas pestisida sintetik merupakan salah satu proses dari pertanian berkelanjutan menuju pertanian regenerative. Pertanian regenerative bertujuan untuk meningkatkan keanekaragaman hayati dengan mengurangi input yang membahayakan terhadap keanekaragaman hayati, meningkatkan kualitas tanah agar dapat meningkatkan keanekaragaman hayati mikroba, dan meningkatkan keanekaragaman spesies di lahan pertanian (Rehberger *et al.* 2023).

Keanekaragaman serangga merupakan salah satu keanekaragaman hayati menjadi kekayaan di bumi yang berada di berbagai tempat. Keanekaragaman serangga sangat berpengaruh terhadap peran musuh alami dalam menekan populasi hama. Keanekaragaman serangga yang tinggi mengindikasikan terdapat keseimbangan ekosistem karena memiliki tingkat elastisitas tinggi dalam menghadapi guncangan dalam ekosistem. Keanekaragaman serangga yang rendah pada suatu ekosistem menunjukkan adanya tekanan sehingga dapat mempengaruhi kualitas ekosistem (Apriliyanto dan Sarno, 2018). Strategi pengendalian hama terpadu merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengurangi penggunaan pestisida dan menjaga kesehatan tanaman, ekologi, dan ekonomi. Berikut adalah beberapa strategi pengendalian hama terpadu yang dapat diadopsi:

- 1) Budidaya tanaman sehat: Menjaga kesehatan tanaman dengan benar agar mengurangi risiko penggunaan pestisida yang tidak perlu
- 2) Penyeimbangan komponen ekobiota lingkungan: Menjaga keseimbangan antara spesies yang bermanfaat dan yang potensial menjadi penyebab kerusakan hama
- 3) Pelestarian musuh alami: Menggunakan musuh alami untuk membantu dalam mengendalikan hama tanpa mengurangi kesehatan tanaman.
- 4) Pemantauan ekosistem secara terpadu: Melakukan pemantauan lingkungan sekitar dan mengidentifikasi sinyal perubahan yang mungkin terjadi sehingga dapat diidentifikasi hama dan dampak pestisida.
- 5) Mewujudkan petani aktif sebagai ahli PHT: Melibatkan petani dalam proses pengendalian hama terpadu untuk memastikan bahwa strategi yang digunakan sesuai dengan konteks lokal dan kondisi tanaman.
- 6) Pemantauan: Melakukan pemantauan secara berkala untuk memantau perilaku dan perkembangan populasi hama
- 7) Pencegahan: Mengurangi risiko terjadinya hama dengan cara yang efektif seperti rotasi tanaman, penanaman pendamping, atau penanaman kelompok.
- 8) Kontrol: Menggunakan teknik kontrol yang tepat untuk mengendalikan hama, seperti penyebaran pestisida atau musuh alami.

Musuh alami yaitu organisme hidup golongan invertebrata yang dapat memangsa, menghambat, merusak dan mematikan organisme lain (hama penyakit) yang dimanfaatkan sebagai pengendalian populasi hama di pertanian. Pengendalian menggunakan musuh alami bersifat aman dan direkomendasikan karena menekankan kepada aspek ekologi. Musuh alami memiliki peran membantu manusia menjaga kestabilan jaring-jaring makanan dalam suatu ekosistem pertanian untuk pengendalian hama (Hidayat *et al.* 2022). Berbagai alternative pengendalian yang bisa digunakan yaitu dengan penggunaan cendawan

entomopatogen, penggunaan agens antagonis seperti *Paenibacillus polymyxa*, penggunaan Biosaka, penggunaan pestisida nabati, PGPR atau *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, dsb.

Menurut Simanjutak *et al.* (2014), salah satu alternatif pengendalian yang cukup potensial dalam menangani hama adalah cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* yang dapat mengakibatkan gangguan pada inti sel serangga inang dan menginfeksi serangga inang karena produksi *beauvericin* yang dihasilkan oleh *B. bassiana*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nursahid *et al.* (2019) pengaplikasian *B. bassiana* dapat meminimalisir kelimpahan hama penting pada tanaman kacang panjang sehingga sangat disarankan kepada petani karena cendawan ini memiliki berbagai macam inang salah satunya hama kutu daun (*Aphis* sp.) yang terdapat pada tanaman kacang panjang.

Menurut Sari dan Ilmiah (2021), *Paenibacillus polymyxa* merupakan bakteri yang berperan sebagai agen hayati karena dapat menghasilkan senyawa beracun bagi bakteri patogen tanaman. *P. polymyxa* memiliki peran lain yang dapat menekan serangan penyakit tanaman dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Syamsiah (2015), *P. polymyxa* mengeluarkan racun yang berupa polimiksin dimana mempunyai daya hambat terhadap mikroorganisme lain. Konsentrasi optimum dapat menekan perkembangan penyakit salah satunya *Xanthomonas campestris*.

Menurut Sumartono *et al.* (2023), Biosaka adalah elisitor berupa bahan yang terbuat dari larutan tanaman atau rerumputan yang dapat melindungi tanaman dari penyakit dan hama serta mengurangi penggunaan pupuk kimia hingga 50-90%. Tumbuhan elisitor mengandung senyawa biologis yang menyebabkan peningkatan produksi fitoaleksin bila diaplikasikan pada kultur sel tumbuhan.

Menurut Jujaningsih *et al.* (2021), daun pepaya memiliki kandungan senyawa toksik seperti flavonoid, papain, saponin, dan alkaloid karpain. Senyawa tersebut tidak berpengaruh terhadap fotosintesis dan fisiologis tanaman, namun berpengaruh terhadap sistem pernafasan, sistem saraf otot, anti makan, perilaku berupa penarik, keseimbangan hormon, dan reproduksi pada hama sasaran. Kerja dari ekstrak daun pepaya dapat mencegah pencemaran lingkungan akibat pemakaian pestisida sintetik. Pestisida nabati ini dapat digunakan sebagai pengendalian hama penggerek polong yang menyerang tanaman polong-polongan. Penggunaan pestisida nabati menjadi insektisida alternatif supaya tidak terjadi resistensi dan resurgensi terhadap hama yang ada di tanaman kacang panjang (Pramadani *et al.* 2021).

PGPR atau *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* adalah kumpulan mikroba yang berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman yang dapat bersimbiosis mutualisme dengan akar tumbuhan. PGPR dapat meminimalisir serangan hama dan penyakit tanaman. PGPR dapat menghasilkan fitohormon yaitu IAA, giberelin, sitokinin, dan senyawa penghambat produksi etilen. PGPR juga dapat meningkatkan penyerapan unsur hara melalui transformasi dan mineralisasi (Khaeriah, 2022).

Pengendalian menggunakan kimia dalam PHT dapat digunakan apabila cara pengendalian yang lain sudah tidak efektif dalam menekan populasi hama. Pengaplikasian menggunakan kimia harus didasarkan pada nilai ambang kendali hama yang dikendalikan. Insektisida yang digunakan harus efektif terhadap hama sasaran dan aman terhadap musuh alami. Waktu dan cara aplikasi juga merupakan faktor menentukan efektivitas pengendalian (Wowu *et al.* 2021).

Pestisida kimia racun kontak dengan bahan aktif metomil sangat ampuh mengendalikan hama pada tanaman. Bahan aktif metomil merupakan insektisida jenis karbamat yang berfungsi membasmi serta membunuh serangga kelas Lepidoptera.

Hemiptera dan Homoptera (Rahmadhini *et al.* 2023). Bahan aktif deltametrin yang termasuk insektisida piretroid sintetis berspektrum luas dengan cara kerja sebagai racun perut dan racun kontak dengan merusak sel-sel saraf yang berakhir dengan kelumpuhan dan kematian pada hama target. Deltametrin dapat membunuh serangga kelas Lepidoptera, Diptera, Hemiptera, dan Coleoptera (Rahmawati, 2022).

Hasil penelitian dari Raihan (2023) menunjukkan bahwa perlakuan dengan pengendalian kombinasi dapat direkomendasikan menjadi teknik pengendalian hama tanaman padi karena memberikan nilai intensitas serangan hama relatif rendah yang sama dengan pengendalian sintetis, namun pengendalian kombinasi lebih baik dalam menjaga keanekaragaman dan kestabilan serangga. Perlakuan kombinasi memberikan nilai indeks keanekaragaman tertinggi sebesar 3,34. Bahan aktif yang digunakan tidak menimbulkan toksisitas yang tinggi terhadap serangga bukan target, sehingga keanekaragamannya dapat terjaga.

Dalam pengendalian hama terpadu, penting untuk melibatkan berbagai pihak, seperti petani, pembuat kebijakan, dan peneliti, untuk menciptakan strategi yang efektif dan berkelanjutan. Dalam pengendalian hama terpadu, beberapa stakeholder yang berperan penting meliputi: petani, pemerintah, kelompok tani, tenaga ahli, pengusaha, lembaga penyuluhan. Petani: Petani merupakan pengguna langsung dari lahan dan mereka yang terdampak langsung dengan serangan hama. Petani harus memiliki ketrampilan dan pengetahuan yang baik dalam pengendalian hama untuk meningkatkan kualitas dan produksi tanaman. Pemerintah: Pemerintah mengatur perlindungan tanaman melalui sistem Pengendalian Hama Terpadu (PHT) dan memberikan bantuan dalam kondisi tertentu apabila masyarakat tani tidak mampu. Kelompok Tani: Kelompok tani merupakan grup petani yang bekerja sama dalam mengelola usaha tani.

mempersiapkan sumber daya, dan memantau pengendalian hama. Tenaga Ahli: Tenaga ahli yang berpengalaman dalam pengendalian hama, seperti para ahli peternakan, agronomist, dan tenaga ahli lingkungan, memainkan peran penting dalam pengendalian hama terpadu. Pengusaha: Pengusaha yang memiliki usaha tani, seperti perkebunan kakao, juga berkolaborasi dengan pemerintah dan kelompok tani dalam pengendalian hama terpadu. Lembaga Penyuluhan: Lembaga penyuluhan, seperti Balai Proteksi Tanaman Pertanian Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan, berperan dalam melatih petani, memberikan informasi dan teknologi terbaru, serta mendampingi penerapan PHT. Dalam pengendalian hama terpadu, kolaborasi dan komunikasi yang baik antara stakeholder sangat penting untuk menjaga keberhasilan dan kelangsungan usaha tani.

10.1 Pengendalian Kultur Teknis

Pengendalian kultur teknis adalah salah satu strategi dalam pengendalian hama terpadu yang terkait dengan tahapan budi daya yang baik. Pengendalian kultur teknis dilakukan sebelum serangan hama terjadi dengan sasaran agar populasi tidak meningkat. Beberapa contoh pengendalian kultur teknis antara lain sanitasi, pengolahan tanah, pengelolaan air, rotasi tanaman, penanaman serempak, pengaturan jarak tanam, pengendalian gulma, drainase, dan penentuan waktu panen. Pengendalian kultur teknis juga dapat dilakukan dengan cara penanaman tanaman penghalang, sistem pengairan yang teratur, pergiliran tanaman bukan inang, dan sanitasi. Dari pengetahuan biologi dan ekologi hama, dapat diketahui tentang titik lemah hama sehingga dapat diketahui fase hidup hama yang tepat untuk dilakukan pengendalian. Menurut Pedigo dan Rice (2009), sebagian besar teknik pengendalian hama secara budidaya dapat dikelompokkan menjadi empat sesuai dengan sasaran yang akan dicapai yaitu: mengurangi kesesuaian ekosistem, mengganggu kontinuitas penyediaan keperluan hidup hama, memindahkan populasi hama

agar jauh dari tanaman, dan mengurangi dampak kerusakan tanaman. Menurut Indiaty dan Marwoto (2017), beberapa teknik bercocok tanam antara lain penanaman lebih awal, penggunaan mulsa, penanaman varietas tahan, tanaman perangkap, tanaman pendamping, pengairan pancur, pergiliran tanaman, sanitasi dan penetapan masa tanam dan serentak.

Pengendalian dengan cara ini bertujuan untuk membuat lingkungan tanaman menjadi kurang sesuai bagi kehidupan dan pembiakan atau pertumbuhan serangga hama dan penyakit serta mendorong berfungsinya agens pengendali hayati. Pengendalian preventif, dilakukan sebelum serangan hama terjadi agar populasi tidak meningkat sampai melebihi ambang kendalinya. Teknik pengendalian ini merupakan bagian teknik budidaya tanaman yang umum dalam pelaksanaannya (Indiaty & Marwoto, 2017). Pengembangan teknik pengendalian hama ini diperlukan pengetahuan sifat-sifat ekosistem setempat khususnya tentang ekologi dan perilaku hama seperti tentang bagaimana hama memperoleh berbagai persyaratan bagi kehidupannya termasuk makanan, perkawinan, dan tempat persembunyian untuk menghindarkan serangan cuaca buruk dan berbagai musuh alami (Untung, 2013).

Pengendalian cara Bercocok tanam merupakan upaya untuk memanipulasi lingkungan dengan maksud tertentu, yaitu membuatnya kurang sesuai, sehingga dapat tercapai pengendalian yang ekonomis terhadap hama atau tidak dapat mengurangi laju peningkatan dan kerusakannya. Manipulasi meliputi seluruh kegiatan Bercocok tanam yang berkisar dari keputusan pengelolaan dalam memilih tanaman yang akan ditanam atau varietasnya, waktu tanam, jarak tanam, pemupukan, cara panen, pengolahan tanah dan waktu panen, pergiliran tanam, pengairan dan sanitasi (Saller, 1981).

10.2 Pengendalian Fisik dan Mekanik

Pengendalian fisik adalah tindakan yang dilakukan dengan tujuan secara langsung dan tidak langsung dengan mematikan hama untuk mengurangi populasi hama, mengganggu aktivitas fisiologis hama yang normal, dan mengubah lingkungan fisik menjadi kurang sesuai bagi kehidupan dan perkembangan hama. Pengendalian secara fisik dan mekanik adalah tindakan mengubah lingkungan untuk mematikan atau menghambat kehidupan hama. Penerapan pengendalian secara fisik juga harus dilandasi oleh pengetahuan yang menyeluruh tentang ekologi serangga hama, karena setiap jenis serangga memiliki batas toleransi terhadap faktor lingkungan fisik seperti suhu, kelembaban, bunyi, sinar, spektrum elektromagnetik, dan lain-lain (Indiati & Marwoto, 2017). Pengendalian secara fisik adalah tindakan pengendalian hama yang menggunakan faktor fisik seperti menaikkan suhu dengan cara pembakaran, menurunkan suhu dengan penggenangan, solarisasi tanah, lampu perangkap, serta pengaturan cahaya dan suara. Dengan kata lain, Pengendalian fisik merupakan usaha dengan menggunakan atau mengubah faktor lingkungan fisik sedemikian rupa sehingga dapat mematikan atau menurunkan populasi hama yang ditujukan khusus untuk membunuh hama. Metode pengendalian secara fisik dalam perlindungan tanaman terdiri dari teknik yang membatasi akses hama ke tanaman, mendorong perubahan perilaku, atau menyebabkan kerusakan/kematian hama secara langsung (Anonimous : 2001).

Pengendalian secara mekanis adalah tindakan mematikan hama secara langsung dengan menggunakan tangan atau alat (Wigenasantana : 2001). Pengendalian secara mekanis bertujuan untuk mematikan hama secara langsung baik dengan hanya menggunakan tangan atau dengan menggunakan alat bantu lain. Teknik mekanik meliputi pengambilan dengan tangan (kelompok telur penggerek batang), Gropyokan (pengendalian hama tikus dengan membunuh tikus menggunakan alat), memasang perangkap (menangkap hama dengan memasang alat perangkap pada tempat yang sering dilalui hama), Pemasangan umpan

(mengendalikan hama walang sangit dengan menggunakan umpan daging busuk), pengusiran (memasang orang-orangan di tengah sawah). Pengendalian mekanik bertujuan untuk mematikan atau memindahkan hama secara langsung, baik dengan tangan atau dengan bantuan alat dan bahan lain. Cara ini mampu menurunkan populasi hama secara nyata, bila dilakukan secara tepat, dapat menyelamatkan hasil tanaman. Pelaksanaannya dapat diambil langsung dengan tangan, gropyokan, memasang perangkap, pengusiran, penggunaan lampu perangkap, pengasapan, pemangkasan bagian tanaman yang terserang, kemudian dibakar. Pengendalian ini dapat diterapkan pada areal yang sempit/kecil karena harus dilakukan secara berulang dan membutuhkan banyak tenaga (Indiati & Marwoto, 2017).

10.3 Pengendalian Biologi (Biointensif)

Pengendalian secara biologi adalah pemanfaatan dan penggunaan musuh alami untuk mengendalikan hama. Pengendalian hayati dilandasi oleh pengetahuan dasar ekologi terutama teori pengaturan populasi oleh pengendali alami dan keseimbangan dinamis ekosistem. Musuh alami yang terdiri dari parasitoid, predator dan patogen serangga hama merupakan pengendali alami utama hama. Keberadaan musuh alami tidak dapat dilepaskan dari kehidupan dan perkembangan hama. Peningkatan populasi hama yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomi bagi petani antara lain disebabkan oleh keadaan lingkungan yang kurang memberikan kesempatan kompleks bagi musuh alami dalam menjalankan fungsinya (Indiati & Marwoto, 2017).

Pengendalian secara biologi dilakukan dengan pemanfaatan dan penggunaan musuh alami yang dapat mengontrol populasi hama disuatu daerah karena musuh alami membuat hama menjadi tidak berkembang biak (Priyanti, 2022). Musuh alami terdiri dari parasitoid, patogen, dan predator. Parasitoid merupakan serangga penting dalam teknik pengendalian hayati karena proses kehidupannya terdapat fase dimana serangga parasitoid hidup

didalam tubuh inang. Fase telur, larva maupun imago pada serangga dapat menjadi mangsa parasitoid (Sarmila *et al.* 2022). Parasitoid dapat menekan populasi serangga hama yang dapat menyebabkan kerusakan tanaman dan meminimalisir penggunaan insektisida (Martuti dan Anjarwati, 2022).

Menurut Sudantha (2017), Teknologi PHT Biointensif pada prinsipnya sama dengan PHT Konvensional, perbedaannya adalah pendekatan ekologiinya lebih ditekankan pada kondisi yang menguntungkan musuh alaminya dan merugikan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) dengan cara merancang ulang agroekosistemnya dan lebih mengutamakan kesehatan lingkungan secara berkelanjutan. PHT Biointensif sebenarnya merupakan tingkatan yang lebih tinggi dari PHT Konvensional yaitu pengelolaan OPT dilakukan berdasarkan ekologi OPT. Langkah pertama yang dilakukan adalah mendiagnosis secara akurat biologi OPT dan organisme bermanfaat yang berasosiasi dengan OPT dan interaksinya dalam lingkungan usahatani.

Pengetahuan lengkap dari perkembangan OPT yang penting adalah hubungannya fase lemah dalam siklus hidupnya yaitu ketika OPT peka terhadap perlakuan pengendalian. Pengelolaan OPT harus sesuai dengan alat dan teknik dari PHT Biointensif dalam mengelola beberapa OPT. Sebagai pengganti pestisida kimiawi digunakan biopestisida atau *biorational pesticide* yaitu formulasi pestisida yang berasal dari bahan alami dan mikroorganisme. *Biorational pesticide* mempunyai spektrum sempit dan aman terhadap lingkungan. Pestisida nabati misalnya mimba, cengkeh. Pestisida mikroba seperti bakteri *Bacillus thuringiensis*, cendawan *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* untuk pengendalian hama, cendawan *Trichoderma harzianum* dan *Gliocladium virens* untuk pengendalian pathogen (Sudantha, 2017).

Musuh alami merupakan salah satu komponen penting dalam pengendalian hama secara terpadu. Musuh alami merupakan organisme yang secara alami terdapat pada suatu ekosistem yang dapat melemahkan, membunuh dan menurunkan fase reproduktif dari serangga hama akibat dari terbunuhnya hama

oleh musuh alami. Musuh alami dapat menurunkan populasi hama hingga tidak menimbulkan kerugian pada suatu ekosistem (Taurualina *et al* 2015). Dilihat dari jenis nya musuh alami dapat dikelompokkan menjadi:

10.3.1 Predator

Predator merupakan organisme yang hidup bebas dengan memangsa atau memakan organisme lain. Tidak seperti parasitoid yang hanya memiliki 1 serangga inang, predator membutuhkan banyak mangsa. Predator dapat memangsa telur, larva, kepompong bahkan imago serangga lainnya. Predator umumnya bersifat polifag, meskipun ada beberapa predator yang memiliki preferensi mangsa yang spesifik (Herlinda dan Irsan, 2015). Menurut Gazali (2015) predator digolongkan menjadi 2 jenis yaitu predator yang menyebabkan kematian dimana predator memangsa habis hama contohnya laba - laba dan capung. Lalu predator yang tidak mematikan secara langsung seperti semut, kepinding buas dll. Musuh alami ini merupakan organisme yang hidup bebas dengan memangsa serangga lain dalam semua tingkatan perkembangan mangsanya baik telur, larva, nimfa, pupa, dan imago. Predator memangsa serangga lain untuk dirinya sendiri. Predator membunuh mangsanya dengan memakan atau menghisap cairan tubuhnya dengan mulutnya yang berbentuk seperti jarum (Fitriani, 2018).

Menurut Suparni *et al* (2017) serangga yang berperan sebagai predator berasal dari ordo Diptera dan Coleoptera. Sementara menurut Hendrival *et al* (2017) ordo serangga yang dapat berperan sebagai predator diantaranya adalah Coleoptera, Dermaptera, Odonata dan Orthoptera dan termasuk dalam family Carabidae, Coccinellidae, Staphylinidae, Carcinophoridae, Coenagrionidae, Gryllidae, Lycosidae, Lynphiidae dan Tetragnathidae.

Keberadaan serangga predator di lahan sawah berperan sebagai musuh alami dalam mengurangi populasi serangga hama pada areal sawah. Banyaknya populasi predator pada suatu ekosistem sawah memberikan keuntungan bagi petani dalam

menekan jumlah populasi serangga hama. Para predator hama akan memangsa hama dan mengendalikan populasi sehingga tidak terjadi kehilangan hasil dan ledakan hama (Budiarti et al. 2021). Beberapa contoh predator hama padi diantaranya adalah *Oxyopes javanus*, *Paederus fuscipes*, *Mantis sp.*, *Verania linata* dll (Rohmah et al. 2022).



Gambar 10. 1. Predator Hama Padi (a. Coccinellidae, b. *Paederus fuscipes*, c. *Oxyopes javanus*, d. carabidae) Sumber: Murthada (2012)

10.3.2 Parasitoid

Parasitoid merupakan organisme dalam hal ini serangga yang hidup dengan memarasit pada atau di dalam serangga dan arthropoda lain. Parasitoid bersifat parisitik hanya pada fase larva, sementara pada fase imago hidup bebas dan tidak terikat pada satu inang. Parasitoid hanya memiliki inang pada takson yang sama baik serangga maupun arthropoda. Hal ini berbeda dengan parasit, dimana parasit dapat memiliki inang yang berbeda taksonnya. Parasitoid cenderung memiliki tubuh besar dibanding dengan inangnya, parasitoid tidak akan berpindah inang selama masa perkembangannya (Herlinda dan Irsan, 2015).

Berdasarkan letak parasitoid dalam tubuh inang Gazali (2015) membedakan menjadi 2 jenis yaitu ektoparasitoid, yaitu parasitoid yang selama siklus hidupnya terletak di luar tubuh inang dan endoparasitoid yang selama siklus hidupnya berada dalam

tubuh inang. Sementara berdasarkan stadia inang yang diserang dibedakan menjadi parasitoid telur, parasitoid larva, parasitoid nimfa, parasitoid pupa dan parasitoid imago.

Parasitoid sebagian besar termasuk dalam ordo Hymenoptera dan diptera. Pada ordo Hymenoptera family yang banyak mengandung serangga parasitoid yaitu Ichneumonidae dan Braconidae. Sementara pada ordo Diptera, family yang keseluruhannya berperan sebagai serangga parasitoid yaitu Tchinidae. Beberapa contoh parasitoid diantaranya adalah *Trichogramma sp.* yang merupakan parasitoid telur Lepidoptera dan *Diadegma semiclausum* yang merupakan parasitoid larva *Plutella xylostella* (Herlinda dan Irsan, 2015).



Gambar 10. 2. Parasitoid (a. *Trichogramma sp.* dan b. *Diadegma semiclausum*)

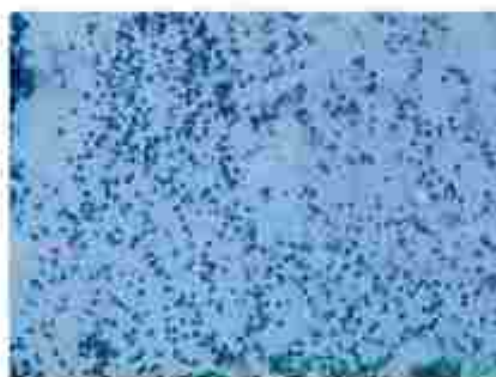
10.3.3 Entomopatogen

Musuh alami lain adalah patogen serangga yang merupakan mikroorganisme yang dapat menyebabkan infeksi dan menimbulkan penyakit pada inang. Secara spesifik mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit pada serangga disebut mikroorganisme entomopatogen. *B. bassiana* merupakan cendawan entomopatogen dapat dikembangkan untuk pengendalian OPT yang tidak membahayakan serangga lain bukan sasaran dan tidak meninggalkan residu beracun pada hasil

pertanian, dalam tanah maupun pada aliran air (Aristyawan *et al.* 2020).

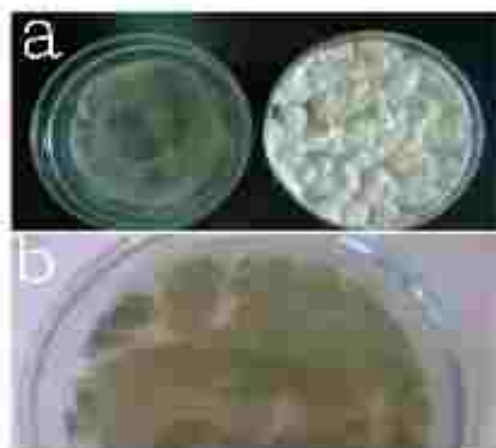
Patogen (virus, bakteri dan cendawan) tidak hanya dapat menginfeksi tanaman saja namun dapat juga menginfeksi serangga. Patogen yang mampu menginfeksi serangga dikenal dengan entomopatogen. Entomopatogen umumnya menyerang hama dari ordo Orthoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Coleoptera, Diptera dan Hymenoptera.

Virus entomopatogen yang telah dikenal sebanyak >700 spesies yang sebagian besar termasuk dalam genus Baculovirus, Poxvirus, Iridovirus, Enterovirus dan Rhabdovirus. Gejala serangga yang terinfeksi virus entomopatogen yaitu malas bergerak dan mati dengan posisi menggantung serta mengeluarkan cairan seperti susu. Contoh entomopatogen yaitu *Nuclear Polyhedrosis Virus* pada Lepidoptera (Helinda dan Irsan, 2015).



Gambar 10. 3. Nuclear Polyhedrosis Virus (Davis, 2006)

Cendawan entomopatogen yang telah diidentifikasi sebanyak 750 spesies dari 100 genus. Gejala serangga yang terinfeksi cendawan entomopatogen yaitu tidak mau makan, kurang aktif, dan tubuh berubah warna serta kaku. Contoh cendawan entomopatogen yaitu *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* pada Lepidoptera (Helinda dan Irsan, 2015).



Gambar 10. 4. Cendawan Entomopatogen (a. *B. bassiana* dan b. *M. anisopliae*) (Frauchi, 2020)

Bakteri entomopatogen dibedakan menjadi 2 yaitu bakteri berspora dan bakteri tidak berspora. Gejala serangga yang terinfeksi bakteri entomopatogen yaitu tidak mau makan, lemah, lembek, kulit berwarna hitam dan saat serangga mati mengeluarkan cairan hitam berbau. Contoh bakteri entomopatogen yaitu *Bacillus thuringiensis* pada Lepidoptera (Herlinda dan Irsan, 2015).



Gambar 10. 5. *Bacillus thuringiensis* (Panji, 2017)

10.4 Pengendalian Kimia

Pengendalian kimia merupakan cara pengendalian yang sering dilakukan karena mudah diterapkan dan hasilnya cepat terlihat, namun apabila penggunaannya kurang bijaksana akan mencemari lingkungan. Penggunaan insektisida untuk pengendalian hama sebaiknya digunakan bila cara pengendalian yang lain sudah tidak efektif untuk menekan populasi hama. Oleh karena itu aplikasinya harus didasarkan pada nilai ambang kendali hama yang akan dikendalikan. Insektisida yang digunakan sebaiknya yang bersifat selektif, artinya insektisida tersebut efektif terhadap hama sasaran, dan aman terhadap musuh alami hama. Penggunaan pestisida secara berlebihan untuk mengendalikan hama dapat memiliki pengaruh samping mematikan parasit dan predator, pencemaran hasil pertanian, dan peracunan hewan, ternak dan manusia. Selain jenis insektisida, waktu dan cara aplikasi juga merupakan faktor yang menentukan efektivitas pengendalian. Penyemprotan sebaiknya dilakukan pada pagi hari yang cerah (tidak hujan) dan tidak berangin, agar takaran insektisida yang diberikan dapat diambil tanaman secara maksimal (Indiati & Marwoto, 2017).

Pestisida kimia merupakan pestisida yang bahannya terbuat dari sintetis. Pengendalian kimia merupakan cara pengendalian yang sering dilakukan karena mudah diterapkan dan hasilnya cepat terlihat, namun apabila penggunaannya kurang bijaksana dan dilakukan secara terus menerus akan mencemari lingkungan serta menyebabkan efek samping diantaranya yaitu resistensi terhadap pestisida, resurgensi hama, dan kontaminasi lingkungan (Ahmad, 2011). Penggunaan pestisida untuk pengendalian OPT sebaiknya digunakan bila cara pengendalian yang lain sudah tidak efektif untuk menekan OPT. Oleh karena itu aplikasinya harus didasarkan pada nilai ambang kendali OPT yang akan dikendalikan. Pestisida kimia yang digunakan sebaiknya yang berkifiat selektif, artinya pestisida kimia tersebut efektif terhadap OPT sasaran, dan aman terhadap musuh alami.

Pengendalian hama terpadu (PHT) merupakan pendekatan holistik yang mengintegrasikan berbagai metode pengendalian hama untuk mengurangi efek negatif dari pestisida kimia dan meningkatkan keberlanjutan pertanian. Strategi penggunaan pestisida dalam PHT melibatkan serangkaian langkah untuk memastikan penggunaan yang efektif dan minimal. Identifikasi dan pemantauan hama merupakan tahap awal, dengan penentuan jenis hama, pemahaman siklus hidup, dan kebiasaan mereka. Pemantauan rutin dilakukan untuk menentukan tingkat infestasi, memungkinkan intervensi tepat waktu.

Ambang ambang ekonomi ditegakkan untuk menentukan kapan tindakan pengendalian diperlukan guna mencegah kerugian ekonomi yang signifikan, menghindari penggunaan pestisida secara rutin kecuali diperlukan. Pemilihan pestisida yang tepat menjadi fokus berikutnya, dengan memilih senyawa yang spesifik untuk target hama dan memiliki risiko minimal terhadap organisme non-target. Penggunaan pestisida dengan tingkat residu rendah dan waktu paruh singkat juga diupayakan untuk mengurangi dampak lingkungan.

Strategi rotasi dan penggunaan bergantian dipraktikkan untuk menghindari resistensi hama terhadap pestisida. Alternatif pengendalian biologis atau mekanis diterapkan untuk menggantikan pestisida kimia sesuai kebutuhan. Penyesuaian penggunaan pestisida dengan siklus hidup hama, seperti pengaplikasian pada tahap telur atau larva, serta menghindari penggunaan saat resistensi hama lebih tinggi, juga menjadi strategi efektif. Integrasi dengan metode pengendalian lain, seperti pengendalian biologis, mekanis, dan praktik budidaya, dilakukan untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Peningkatan keanekaragaman hayati di sekitar lahan pertanian mendukung keberhasilan musuh alami hama. Pelatihan petani tentang PHT dan penggunaan pestisida yang tepat, serta peningkatan kesadaran terhadap dampak lingkungan dan kesehatan manusia, juga menjadi bagian integral dari strategi ini. Evaluasi dan pemantauan terus-menerus dilakukan untuk mengukur efektivitas metode pengendalian yang diterapkan dan

dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan menerapkan strategi ini, diharapkan dapat mencapai tujuan pengendalian hama yang efektif sekaligus mengurangi dampak negatif pestisida kimia pada lingkungan dan kesehatan manusia.

10.5 Pemilihan Pestisida yang baik dan benar

Pemilihan pestisida sintetik yang baik dan benar dalam konteks pengendalian hama terpadu (PHT) memerlukan pendekatan yang cermat untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia sambil tetap mencapai pengendalian hama yang efektif. Identifikasi dan pemantauan hama merupakan langkah awal yang penting dalam PHT. Setelah mengetahui jenis hama yang ada, siklus hidup, dan tingkat infestasinya, pemilihan pestisida harus dilakukan dengan mempertimbangkan spesifitas terhadap target hama.

Pestisida sintetik yang dipilih harus memiliki selektivitas yang tinggi terhadap hama target, sekaligus merendahkan risiko terhadap organisme non-target. Penggunaan pestisida dengan tingkat residu rendah dan waktu paruh yang singkat juga harus menjadi pertimbangan utama untuk mengurangi dampaknya pada ekosistem. Dalam konteks PHT, rotasi dan penggunaan bergantian antara jenis pestisida perlu diterapkan untuk mencegah resistensi hama terhadap senyawa kimia tertentu. Penyesuaian penggunaan pestisida dengan siklus hidup hama menjadi strategi yang esensial dalam PHT. Aplikasi pestisida sebaiknya dilakukan pada tahap siklus hidup hama yang paling rentan, seperti telur atau larva, untuk meningkatkan efektivitas pengendalian dan mengurangi jumlah pestisida yang diperlukan. Selain itu, menghindari penggunaan pestisida pada tahap di mana resistensi hama cenderung lebih tinggi dapat membantu mempertahankan efektivitas pestisida tersebut.

Penting juga untuk mempertimbangkan integrasi dengan metode pengendalian lainnya, seperti pengendalian biologis atau mekanis, untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida sintetik. Pelatihan petani tentang PHT, termasuk pemilihan dan aplikasi pestisida yang bijak, serta peningkatan kesadaran tentang dampak lingkungan, merupakan aspek penting dalam memastikan penggunaan pestisida yang sesuai dengan prinsip keberlanjutan. Dengan memadukan pemahaman mendalam tentang ekologi hama, spesifiktas pestisida, dan prinsip PHT, pemilihan pestisida sintetik dalam konteks pengendalian hama terpadu dapat menjadi bagian integral dari pendekatan yang berkelanjutan, yang tidak hanya efektif tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, L., Hidayat, P., Buchori, D., M., & Rahardjo, B. T. (2015). Pengaruh Perbedaan Pengelolaan Agroekosistem Tanaman Terhadap Struktur Komunitas Serangga Pada Pertanaman Kedelai Di Ngale, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 15(1), 53. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11553-64>
- Apriliyanto, E., & Sarno. (2018). Pemantauan Keanekaragaman Hama dan Musuh Alami pada Ekosistem Tepl dan Tengah Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera : A Scientific Journal*, 35(2), 69-74. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2018.35.2.603>
- Aristyawan, T., Muchtar, R., & Meidiantie, D. (2020). Pengaruh Agen Hayati terhadap Wereng Batang Cokelat (*Nilaparvata lugens* Stall) Pada Tanaman Padi. *Jurnal Ilmiah Respati*, 11(1), 69-74.
- Fitriani, F. (2018). Identifikasi Predator Tanaman Padi (*Oryza sativa*) pada Lahan yang Diaplikasikan Dengan Pestisida Sintetik. *AGROVITAL*, 3(8), 65-69.
- Hidayat, G. W., Romansah, E., & Andriyani, L. (2022). Inventarisasi Serangga Hama dan Predator pada Pertanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.) di Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-10 Tahun 2022*, 6051, 414-422.
- Indiati, S. W., & Marwoto. (2017). Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (Pht) Pada Tanaman Kedelai. *Buletin Palawija*, 15(2), 87. <https://doi.org/10.21082/bulpa.v15n2.2017.p87-100>
- Iswara, D., Afifah, L., Abadi, S., Prabowo, P., Irfan, B., & Widiawan, A. B. (2022). Kelimpahan Serangga pada Berbagai Perangkap dengan Beberapa Teknik Pengendalian Berbeda pada Pertanaman Jagung Pioneer 36. *Agroplasma*, 9(8.5.2017), 2003-2005.

- Jujuaningsih, Rizal, K., Triyanto, Y., Lestari, W., & Harahap, D. A. (2021). Penggunaan Pestisida Nabati Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L.*) pada Tanaman Kacang Panjang (*Vigna Sinensis L.*) untuk Mengurangi Dampak Pencemaran Lingkungan di Desa Gunung Selamat, Kec. Bilah Hulu, Kab. Labuhanbatu. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(3), 1-4.
- Khaeriah. (2022). *Isolasi dan Karakterisasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) dari Rizosfer Tanaman Kacang Panjang Vigna sinensis L.* Universitas Hasanuddin Makassar.
- Martuti, N. K. T., & Anjarwati, R. (2022). Keanekaragaman Serangga Parasitoid (Hymenoptera) di Perkebunan Jambu Biji Desa Kalipakis Sukorejo Kendal. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 45(1), 1-8.
- Megasari, D., Wiseno, R. A., Nikijuluw, R. P. F., Irsyadillah, M. R., Ratnadewi, A. S., Widyana, A., & Septafio, R. A. (2022). Monitoring Kutudaun dan Penyakit Belang Kacang Tanah dalam Penerapan Prinsip Pengendalian Hama Terpadu di Kabupaten Sidoarjo. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 575-583.
- Mulyasa, A. K., Pradihana, W., & Nasruddin, W. (2020). Fungsi Kelompoktani dalam Pengendalian Hama Terpadu pada Tanaman Padi di Kecamatan Sukaraja Kabupaten Tasikmalaya Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 1(3), 429-434.
- Nursahid, H., Brotedjojo, R. R. R., & Padmini, O. S. (2019). Pengaruh Penggunaan *Beauveria bassiana* untuk Pengendalian Hama Utama Kacang Panjang (*Vigna sinensis L.*) terhadap Kerusakan dan Hasil Tanaman. *Jurnal Agrivet*, 25(1), 59-69.
- Pedigo, L. P., & Rice, M. E. (2009). *Entomology and Pest Management. Sixth Edition*. Pearson Prentice Hall, USA.

- Pramadani, D., Triyanto, Y., Rizal, K., Walida, H., Elizabeth, N., & Harahap, D. A. (2021). Optimalisasi Bahan-bahan Pertanian dalam Pembuatan Pestisida Nabati untuk Menanggulangi Hama pada Tanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L) di Desa Gunung Selamat. *Minda Baharu*, 5(1), 57-63.
- Priyanti, R. (2022). *Aplikasi Berbagai Konsentrasi Campuran Crescentia cujete (L) & Calotropis gigantea (L) W.T. Aiton terhadap Spodoptera frugiperda J. E. Smith*. Universitas Hassanuddin.
- Rahmadhini, N., Rahmawati, E. D., & Wuryandari, Y. (2023). Pengaruh Pemberian Pestisida Nabati Tanaman Tembakau dan Brotowali terhadap Tingkat Kerusakan Hama Kutu Hijau pada Tanaman Kopi Varietas Robusta di Desa Dompok, Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 1(23), 949-957. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v23i1.3020>
- Rahmawati, A. (2022). *Pengaruh Insektisida Deltametrin terhadap Pertumbuhan dan Patogenesis Beauveria bassiana pada Wereng Batang Coklat (Nilaparvata lugens stal) di Laboratorium*. Universitas Lampung.
- Raihan, S. H. (2023). *Analisis Keanekaragaman Arthropoda dan Intensitas Serangan Hama Utama Pada Tanaman Padi (Oryza sativa L) Varietas Cihayang Dengan Beberapa Teknik Pengendalian*. Universitas Singaperbangsa Karawang.
- Rehberger, E., West, P. C., Spillane, C., & McKeown, P. C. (2023). What Climate and Environmental Benefits of Regenerative Agriculture Practices? An Evidence Review. *Environmental Research Communications*.
- Sari, I. M., & Ilmiah, S. N. (2021). Penggunaan Bahan Dasar Kedelai Sebagai Media Kultur Alternatif Paenibacillus Polymyxa. *Prosiding Seminar Nasional Bio*, 1(1), 653-658.
- Sarmila, S., Sasdar, R., Kurniati, E., & Indra, A. N. (2022). *Organisme Pengganggu Tumbuhan dan Pengendaliannya*.

- Simanjatak, Y. C. B., Pangestiningih, Y., & Lisnawita. (2014). Pengaruh Jenis Insektisida terhadap Lalat Bibit (*Ophiomyia phaseoli* Try.) pada Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). *Jurnal Online Agroekoteknolog*, 2(2337), 933-941.
- Sudantha, I. M. (2017). Eksplorasi Sumberdaya Alam (Biokompos, Bioaktivator, Biochar dan FMA) Untuk Mengembangkan Tanaman Pangan Sistem Organik Di Lahan Kering. *Prosiding Seminar Nasional MIPA 2017, 11 Desember 2017, Mataram (ID)*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Nahdlatu Wathan Mataram, 136-150.
- Sumartono, E., Arianti, N. N., & Sukiyono, K. (2023). Biosaka Pengembangan Pertanian Organik. *Community Development Journal*, 4(2), 2939-2945.
- Syamsiah, M. (2015). Efektifitas Aplikasi *Paenibacillus polymyxa* dalam Pengendalian Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi Varietas Mekongga. *Jurnal Agrosience*, 5(1), 24-28.
- Untung, K. (2013). *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu. Edisi Kedua*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Wowu, H. D., Agastya, I. M. I., & Marwoto. (2021). Aplikasi Fipronil sebagai Insektisida dan ZPT pada Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiate* L.). *Jurnal Buana Sains*, 21(2), 35-44.
- Yanti, P., Prasetyo, J. C., Zahra, M., Nurjannah, N., Apriani, R., Anggreni, U. A., Umayah, A., Gunawan, B., & Arsi, A. (2022). Ketertarikan Berbagai Spesies Serangga pada Pan Trap di Lahan Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.) di Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-10 Tahun 2022, 6051*, 524-532.

BIODATA PENULIS



Sutiharni

**Dosen Program Studi Agroteknologi,
Jurusan Budidaya Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Papua**

Lahir di Bandung, 30 Juni 1961. Anak kedelapan dari 14 bersaudara. Lahir dari keluarga TNI (Angkatan Udara) dari alm. Bapak Mulyadi bin Sarjan dan almh. Ibu Fatimah binti Santani. Menikah pada dengan Wahyu Witjaksono. Perguruan Tinggi: Universitas Papua; Status: Dosen; Alamat Perguruan Tinggi: Jalan Gunung Salju Amban Manokwari; Fakultas Pertanian Universitas Papua; Jurusan Budidaya Pertanian Prodi Agroteknologi; S1: Agronomi Faperta UNCEN; S2: Ilmu Hama Tumbuhan Pascasarjana UGM; Pernah menempuh Program Doktorat di Program S3 Ilmu Pertanian Pasca Sarjana UGM. Ilmu yang ditekuni: Ilmu Hama Tumbuhan. Berperan aktif dalam penulisan buku Bookchapter, Referensi dan Monograf, telah menyelesaikan 35 publikasi ketiga jenis buku tersebut ber ISBN. Email: naningmulyadi@gmail.com, s.sutiharni@unipa.ac.id.

BIODATA PENULIS



Dr. Jefri Sembiring., SP, MSi

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Musamus

Penulis lahir di Tigapanah Kabupaten Karo Sumatra Utara tanggal 18 Oktober 1983. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Musamus. Menyelesaikan Pendidikan S3 Bidang Entomologi pada Tahun 2016. Penulis menekuni bidang entomologi khususnya yang berkaitan dengan ekologi.

BIODATA PENULIS



Dr. Silvia Permata Sari, SP., MP.

Dosen Program Studi Agroteknologi, Departemen Agronomi
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas

Dr. Silvia Permata Sari, SP., MP. lahir di Kota Padang, Sumatera Barat pada tanggal 21 Mei 1986 sebagai anak pertama dari 5 bersaudara dari Bapak Syofyan Tanjung dan Ibu Kasmawati, S.Pd. Penulis lulus pendidikan SD Negeri 30 Cengkeh tahun 1998, SLTP Negeri 11 Padang tahun 2001, dan SMA Negeri 4 Padang tahun 2004. Pendidikan Sarjana (S1) ditempuh di Fakultas Pertanian Universitas Andalas tahun 2004 dan lulus tahun 2008 dengan predikat lulusan terbaik. Penulis mendapatkan beasiswa *Fast Track* Magister (S2) di Universitas Andalas tahun 2008 dan lulus dengan predikat *Cumlaude* (Dengan Pujian) tahun 2010. Lulus pendidikan Magister: penulis lulus PNS sebagai dosen Fakultas Pertanian, Universitas Andalas pada tahun 2010. Pada tahun 2012, penulis mewakili Indonesia dalam kegiatan pengembangan Gandum Tropis ke Slovakia, Eropa Timur. Tahun 2013-2018, penulis mendapatkan beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri dari Kemeristek Dikti untuk pendidikan Doktor (S3) pada Program Studi Entomologi di Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan IPK 3,76. Kemudian tahun 2018, penulis kembali menempuh pendidikan

Doktor pada program studi Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas dan lulus pada tahun 2022 dengan IPK 3,97 pada usia 36 tahun. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kegiatan, mulai dari mengajar perkuliahan, penelitian, pengabdian kepada masyarakat, mengikuti seminar nasional dan internasional, menulis jurnal nasional dan internasional terindeks Scopus, Chief editor di jurnal nasional, reviewer jurnal nasional dan jurnal internasional, serta menulis buku dan artikel di media massa nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS



Dr. Araz Meilin, SP., M.Si.

Peneliti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) RI

Lahir di Muara Bungo, Jambi 22 Februari 1972. Dari ayah bernama Armein Arief dan Ibu bernama Ratna Zaitun. Ia memiliki seorang suami bernama Ir. Muhammad Sugihartono, M.Si. Penulis bertempat tinggal di Jl. HM. Yusuf Nasri No. 40 RT 05/003 Kelurahan Wijaya Pura, Kecamatan Jambi Selatan, Kota Jambi. Telah menyelesaikan studi strata satu di Program Studi Hama dan Penyakit Tumbuhan (1990-1995). Lulus strata dua di Program Studi Entomologi, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor (1996-1999). Lulus strata tiga di Program Studi Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2010-2012). Karirnya dimulai sebagai dosen Yayasan Pendidikan Jambi di Universitas Batanghari, Jambi sejak tahun 1995, kemudian bergabung menjadi peneliti di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jambi, Balitbangtan, Kementerian Pertanian (2005-2022), dan saat ini sebagai peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional (2022-sekarang). Aktif terlibat dalam organisasi profesi diantaranya sebagai Anggota Perhimpunan Peneliti Indonesia/Perhimpunan Periset Indonesia (2019-sekarang), Ketua Perhimpunan Entomologi Indonesia Cabang Jambi (2015-sekarang), pengurus Perhimpunan Entomologi Indonesia Pusat (2015-sekarang), pengurus Ikatan Cendekiawan Muslim Indonesia Orwil Jambi (2023- sekarang), Dewan Pakar pada Pengurus

kagama Provinsi Jambi (2023-sekarang), anggota Perhimpunan Fitopatologi Indonesia Komda Jambi (2020-sekarang), anggota Perhimpunan Ilmu Gulma Indonesia (2019-sekarang), anggota Pokja Asosiasi Perlembahan Indonesia dan pengurus Asosiasi Perlembahan Indonesia Daerah Jambi (2022-sekarang).

Buku yang telah dihasilkan antara lain: Peran Penting Serangga dalam Produksi Tanaman Pertanian (2018), Budidaya Tanaman Kopi Olahannya untuk Kesehatan (2023), Buku GREEN TECHNOLOGY INNOVATION (Transformasi Teknologi Ramah Lingkungan berbagai Sektor) (2023), Buku Manajemen Hijau (Teori dan Konsep) (2023). Penulis juga aktif menjadi penulis bagian buku diantaranya buku Dasar-dasar Perlindungan Tanaman (2022) dan Teknologi Perlindungan Hama dan Penyakit Tanaman Umbi-umbian Lokal (2023), Ekologi Serangga (2023), Optimalisasi Penggunaan Lahan Pertanian (2023). Penulis aktif menjadi editor pada Buku Hama Utama Tanaman Perkebunan (2023), Buku FITOPATOLOGI "MENUJU PERTANIAN BERKELANJUTAN" (2023), dan Buku Minyak Kelapa dan Minyak Sawit "Dampak Kesehatan, Lingkungan, Ekonomi dan Sosial Di Balik Produksi (2023). Selain menulis buku dan editor, Penulis juga aktif dalam menghasilkan Karya Tulis Ilmiah baik Nasional maupun Internasional juga aktif dalam aktivitas penelitian terkait hama dan penyakit tanaman serta ilmu gulma dan menjadi pemakalah dalam seminar nasional/internasional.

BIODATA PENULIS



Oktaviani, S.P., M.Si.

Dosen Program Studi Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Oktaviani, S.P., M.Si. merupakan alumnus dengan predikat lulus tercepat dan alumni terbaik Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya 2019 dan sebagai lulusan terbaik Program Pascasarjana Entomologi di Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor 2022. Penulis kelahiran Palembang, 31 Oktober 1998 ini merupakan peraih Juara 3 Lomba Essay Pergerakan se-Sumatra Selatan 2017 diselenggarakan oleh BEM KM FT UNSRI. Penulis terpilih menjadi penerima Fully Funded program Indonesian Youth Social Expedition (IYSE) di Pulau Pari Kepulauan Seribu sebagai Koordinator Divisi Lingkungan Hidup 2018, dan terpilih kembali menjadi Koordinator Divisi Lingkungan pada Eskpedisi Sapa Papua di Pulau Friwen Raja Ampat 2021. Penulis mendirikan NGO Pemuda Penggerak Bangsa (P2B) dengan proyek sosial TANPA BATAS (Tangan Pemuda Bersama Disabilitas) di SLB Negeri Ogan Ilir, Sumatera Selatan 2018-2019. Penulis tergabung dalam Best Group di PARE (*Population, Activities, Resources, Environment*) Spring School 2022. Penulis aktif di Liaison Office Hokkaido

University in Indonesia hingga 2022. Penulis berprofesi sebagai dosen tetap (ASN) di Universitas Sriwijaya sejak 2023-sekarang. Dan Penulis juga terpilih sebagai Inspiring Lecturer Program oleh Paragon Corps 2023-2024.

BIODATA PENULIS



Effi Alfiani Sidik, S.P., M.Sc.
Peneliti Ahli Pertama
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Maumere pada tanggal 4 April 1989. Penulis menempuh program Sarjana (S1) tahun 2007 di Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, dengan program studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan. Studi Magister (S2) ditempuh tahun 2014 di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, dengan program studi Fitopatologi. Mulai tahun 2021 diangkat sebagai Peneliti Ahli Pertama di Loka Penelitian Penyakit Tungro, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian. Selanjutnya pada tahun 2022 hingga saat ini penulis diangkat sebagai Peneliti Ahli Pertama di Pusat Riset Tanaman Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Sejak kuliah hingga sekarang penulis aktif terlibat dalam berbagai penelitian dan publikasi yang mengkaji hama dan penyakit tanaman, serta kegiatan penelitian bidang molekuler di laboratorium.

BIODATA PENULIS



Decenly, S.Si, M.Si.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Baun Bango (Kalimantan Tengah) pada 20 November 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Palangka Raya. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Biologi FSM Universitas Diponegoro Semarang dan melanjutkan S2 pada Program Biologi FSM Universitas Diponegoro Semarang. Penulis menekuni bidang Fisiologi Tumbuhan dan Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tumbuhan terutama kaitannya dengan pengobatan (Medis).

BIODATA PENULIS



Anwar, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Musamus

Penulis bernama lengkap ANWAR, dilahirkan pada tanggal 12 september 1992, di Desa Lahontohe Kecamatan Tongkuno Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara. Penulis adalah anak ke empat dari 5 bersaudara dari pasangan bapak La Sarihimu dan Ibu Martina.

Pendidikan formal diawali di Madrasah Ibtidaiyah Negeri 1 Muna pada tahun 1999 dan lulus tahun 2004, kemudian pada tahun 2004 melanjutkan studinya di Madrasah Tsanawiyah Negeri 2 Muna dan tamat tahun 2008, dan pada tahun 2010 lulus dari SMAN 1 Tongkuno. Pada tahun 2010 penulis diterima sebagai mahasiswa Universitas Halu Oleo Kendari Fakultas Pertanian Jurusan Agroteknologi melalui jalur Seleksi Lokal Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SLMPTN) kemudian tahun 2015 memperoleh gelar Sarjana Pertanian (S1) dengan judul penelitian "**Peranan *Azotobacter* sp. dalam Upaya Pengurangan Pupuk Anorganik Urea pada Tanaman Jagung Lokal (*Zea mays* L.) Di Tanah Ultisol**" Di tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa Pascasarjana Universitas Halu Oleo pada Program Studi Agronomi minat Hama Penyakit Tumbuhan.

Pada tahun 2017 penulis memperoleh gelar Magister Pertanian (M.P). dengan judul Tesis " **Efektivitas Kombinasi Pupuk Hayati Biofresh, Dosis Pupuk Anorganik NPK dan Bokashi dalam Meningkatkan Kesehatan dan Produktivitas Beberapa Varietas Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merril) Di Lahan Ultisol**".

Pada Tahun 2022 penulis lulus menjadi Dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Musamus Merauke melalui jalur pengadaan tes CPNS tahun 2021.