

PENGENDALIAN HAYATI dengan Memberdayakan Potensi Mikroba

Penulis : Sopialena
Penata Letak : Aldi Meidian Halim
Cover Design : Aldi Meidian Halim

ISBN : 978-602-6834-XX-X © 2018.
Mulawarman University Press

Cetakan Pertama : Oktober 2018

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan.

Sopialena. 2018. Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba. Mulawarman University Press. Samarinda.



**Mulawarman
University PRESS**
Member of IKAPI & APPTI

Penerbit
Mulawarman University PRESS
Gedung LP2M Universitas Mulawarman
Jl. Krayan, Kampus Gunung Kelua
Samarinda - Kalimantan Timur - Indonesia 75123
Telp/Fax (0541) 747432, Email : mup@lppm.unmul.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, sehingga Bahan Ajar Pengendalian Hayati ini dapat diselesaikan dengan baik. Pembahasan materi pada bahan ajar ini dilakukan dengan cara memaparkan landasan teori pengendalian hayati dalam sistem pengendalian hama terpadu (PHT).

Isi bahan ajar ini mencakup materi pengendalian hayati yakni sejarah singkat dan perkembangan pengendalian hayati, pengertian dan lingkup pengendalian hayati, lingkup materi kuliah pengendalian hayati, peranan musuh alami sebagai sarana pengendali, pengendalian hayati dalam sistem pht, definisi pengendalian hayati, peranan pengendalian hayati, teknik pengendalian hayati, agen pengendalian hayati, cara penggunaan patogen serangga di lapangan, pendekatan pemanfaatan agensia hayati, langkah-langkah pengembangan agensia hayati, keunggulan dan keuntungan pengendalian hayati, konservasi musuh alami, cara penggunaan patogen serangga di lapangan, peranan pengendalian hayati, potensi (*Beauveria bassiana*) sebagai agens hayati, potensi jamur *Trichoderma* sp. sebagai agensia hayati, potensi nematoda entomopatogen sebagai agensia hayati, potensi bakteri sebagai pengendali hayati

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan bahan ajar. Mudah-mudahan bahan ajar ini bermanfaat.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
PENDAHULUAN	1
A. Tinjauan Umum Pengendalian Hayati	1
B. Pengertian.....	3
BAB I.....	6
SEJARAH SINGKAT DAN PERKEMBANGAN PENGENDALIAN HAYATI.....	6
A. Sejarah Pengendalian Hayati di Luar Negeri.....	6
B. Sejarah Pengendalian Hayati di Indonesia.....	8
BAB II	11
PENGETERIAN DAN LINGKUP PENGENDALIAN HAYATI	11
BAB III	16
LINGKUP MATERI KULIAH PENGENDALIAN HAYATI	16
BAB IV.....	22
PERANAN MUSUH ALAMI SEBAGAI SARANA PENGENDALI	22
A. Pengendalian Alami	22
B. Pengendalian Hayati	23
C. Pengendalian Hayati Dalam Sistem PHT.....	26
BAB V	27
DEFINISI PENGENDALIAN HAYATI.....	27
BAB VI.....	29
TEKNIK PENGENDALIAN HAYATI.....	29
A. Konservasi dan peningkatan musuh alami (<i>Conserving and enhancing natural enemies</i>).....	29
B. Augmentasi populasi musuh alami (<i>Augmentation natural enemy populations</i>).....	30
C. Introduksi musuh alami	31
BAB VII.....	33
AGEN PENGENDALIAN HAYATI	33
A. Parasitoid.....	34
B. Predator	37
C. Patogen.....	39
BAB VIII	41
PENDEKATAN PEMANFAATAN AGENSIA HAYATI ...	41

BAB IX	44
LANGKAH-LANGKAH PENGEMBANGAN AGENSIA HAYATI	44
Pendekatan Pengendalian Hayati	44
BAB X	52
KEUNGGULAN DAN KEUNTUNGAN PENGENDALIAN HAYATI	52
A. Keterbatasan atau Kelemahan Pengendalian Hayati.....	52
B. Tipe-tipe Musuh Alami	53
1. Biologi dan Impek Predator.....	55
2. Biologi Parsitoid.....	61
BAB XI	66
KONSERVASI MUSUH ALAMI	66
BAB XII	70
Augmentasi Musuh Alami	70
BAB XIII	72
PERANAN PENGENDALIAN HAYATI.....	72
BAB XIV	76
POTENSI (<i>Beauveria bassiana</i>) SEBAGAI AGENS HAYATI ...	76
Hama Putih Palsu (<i>Chanaphalocrosis medinalis</i>)	78
BAB XV	81
POTENSI JAMUR <i>Trichoderma</i> sp. SEBAGAI AGENSIA HAYATI	81
BAB XVI	90
POTENSI NEMATODA ENTOMOPATOGEN SEBAGAI AGENSIA HAYATI.....	90
Mortalitas larva <i>T. molitor</i> L. yang terinfeksi nematoda entomopatogen.....	93
BAB XVII.....	94
POTENSI BAKTERI SEBAGAI PENGENDALI HAYATI. 94	
Pengaruh Formulasi <i>B. cepacia</i> isolat E76 terhadap Pertumbuhan <i>R. Solani</i>	94
KESIMPULAN	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98

PENDAHULUAN

A. Tinjauan Umum Pengendalian Hayati

Pengendalian Hayati merupakan suatu pemanfaatan mikroorganisme yang bertujuan untuk mengendalikan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Adapun kegiatan atau aktivitas dalam pengendalian hayati yaitu pemberian mikroorganisme antagonis dengan perlakuan tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah diantaranya dengan pemberian bahan organik sehingga mikroorganisme antagonis menjadi tinggi aktivitasnya di dalam tanah. Secara alamiah mikroorganisme antagonis banyak dijumpai pada tanah-tanah pertanian sehingga menciptakan tingkat pengendalian hayati itu sendiri terhadap satu atau banyak jenis patogen tumbuhan, tanpa adanya campur tangan manusia. Namun demikian, manusia sudah banyak memanfaatkan dan meningkatkan efektifitas antagonisme itu dengan memasukan jenis antagonisme baru serta meningkatkan populasinya. Contoh mengintroduksi *Trichoderma harzianum* dan atau *Bacillus penentrans*, pada lahan-lahan untuk meningkatkan jumlah antagonis yang tadinya berjumlah sedikit, atau untuk berperan dalam merangsang pertumbuhan mikroorganisme antagonis serta untuk meningkatkan aktivitas penghambat terhadap patogen (Agrios, 1995).

Pengetahuan dasar ekologi, yang utamanya yaitu teori mengenai pengaturan populasi oleh pengendali alami ataupun keseimbangan ekosistem merupakan dari berbagai latar belakang pengendalian hayati. Populasi OPT yang meningkat sementara kondisi lingkungan yang kurang memberi kesempatan bagi musuh alaminya.

Apabila kita memberikan kesempatan berfungsinya musuh alami antara lain dengan jalan rekayasa lingkungan seperti mengintroduksi musuh alami, memperbanyak dan melepaskanya serta mengurangi berbagai dampak negatif terhadap musuh alami, maka musuh alami akan melaksanakan fungsinya dengan baik.

Ada beberapa ketidakmampuan antagonis dalam mengendalikan populasi OPT disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya yaitu jumlah populasi musuh alami yang rendah sehingga tidak mampu memberikan respon cepat untuk mengimbangi peningkatan populasi OPT. Selain itu, infeksi pada OPT sangat mempengaruhi oleh kepadatan inang (Semangun, 2001).

Banyak keuntungan dan kerugian penggunaan agensia hayati dalam pemanfaatannya untuk mengatasi penyakit tanaman. Agensia hayati berfungsi untuk menekan populasi patogen sehingga berakibat pada perbaikan pertumbuhan tanaman. Agensia pengendali hayati pada perakaran tanaman sangat unik karena keterkaitannya dengan eksudat akar. Pada lingkungan tanah, posisi agensia hayati sebagai penyeimbang antara tanaman dan patogen. .

Agensia hayati berpengaruh terhadap tanaman, patogen serta lingkungan. Pengaruh agensia hayati terhadap tanaman yaitu kemampuan melindungi tanaman atau mendukung pertumbuhan tanaman melalui salah satu mekanismenya, yaitu mendukung pertumbuhan tanaman. Sementara itu tanaman menyediakan nutrisi bagi agensia pengendali hayati dalam bentuk eksudat akar, yang sangat diperlukan untuk pertumbuhannya. Sedangkan pengaruh agensia hayati terhadap patogen sangat jelas yaitu menekan daya tahan dan pertumbuhan patogen. Penekanan ini akan menyebabkan penurunan

populasi patogen di alam. Lingkungan hidup, baik itu biotik maupun abiotik sangat berperan dalam kelangsungan hidup agensia pengendali hayati. Agensia hayati sangat dipengaruhi oleh iklim terutama iklim mikro (suhu, pH, kelembaban, dan beberapa komponen lainnya).

B. Pengertian

1. Pengendalian Hayati (*Biological Control*) adalah pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT) oleh musuh alami atau agensia pengendali hayati. Namun dapat juga disebut mengendalikan penyakit dan hama tanaman dengan secara biologi, yaitu dengan memanfaatkan musuh-musuh alami. Dalam hal ini yang dimanfaatkan yaitu Musuh Alami, sedangkan yang menggunakan atau memanfaatkannya adalah manusia. Berarti ada campur tangan manusia pada setiap pengendalian hayati.
2. Pengendalian Hayati Terapan adalah pengendalian organisme pengganggu tumbuhan (OPT) dengan menggunakan agensia hayati. Berarti diperlukan adanya campur tangan manusia untuk penyediaan dan pelepasan musuh alami.
3. Agensia Pengendali Hayati (*Biological Control Agens*) yaitu setiap organisme yang meliputi subspecies, spesies, varietas, semua jenis protozoa, serangga, bakteri, cendawan, virus serta organisme lainnya yang dalam tahap perkembangannya bisa dipergunakan untuk keperluan pengendalian hama dan penyakit atau organisme pengganggu tumbuhan dalam proses produksi, pengelolaan hasil pertanian keperluan lainnya. Dalam memanipulasi/ rekayasa teknologi musuh alami (Parasitoid, Predator, Virus, Cendawan, Bakteri, dll) menjadi agens hayati. Dalam pengendalian OPT perlu

adanya campur tangan manusia Pengendalian hayati sebagai komponen utama Pengendalian Hama Terpadu pada dasarnya adalah untuk mengendalikan populasi organisme pengganggu tumbuhan yang merugikan dengan penggunaan dan pemanfaatan musuh alami. Pengendalian hayati dilatarbelakangi oleh berbagai pengetahuan dasar ekologi khususnya teori tentang pengaturan populasi oleh pengendali alami serta keseimbangan ekosistem. Musuh alami yang terdiri atas predator, parasitoid, dan patogen adalah pengendali alami utama hama yang bekerja secara “terkait kepadatan populasi” sehingga agensia hayati tersebut tidak dapat dilepaskan dari kehidupan serta perkembangbiakan hama. Adanya populasi hama yang meningkat dapat mengakibatkan kerugian ekonomi bagi petani disebabkan karena keadaan lingkungan yang kurang memberi kesempatan bagi musuh alami untuk menjalankan fungsi alaminya. Apabila musuh alami kita berikan kesempatan berfungsi antara lain dengan introduksi musuh alami, memperbanyak dan melepaskannya, serta mengurangi berbagai dampak negatif terhadap musuh alami, musuh alami dapat melaksanakan fungsinya dengan baik. Supaya tidak timbul kerancuan lebih dahulu maka perlu dibedakan antara pengendalian hayati (biological control) dan pengendalian alami (natural control). Pengendalian Hayati merupakan pemanfaatan atau memanipulasikan musuh alami untuk menurunkan atau mengendalikan populasi hama dan merupakan suatu taktik pengelolaan hama. De Bach tahun 1979 mendefinisikan Pengendalian Hayati sebagai pengaturan populasi organisme melalui musuh-musuh alami sehingga kepadatan populasi

organisme tersebut berada di bawah rata-ratanya dibandingkan bila tanpa pengendalian sama sekali. Pengendalian Alami merupakan proses pengendalian yang berjalan sendiri tanpa adanya unsur kesengajaan yang diciptakan atau dimanipulasi oleh manusia. Pengendalian alami terjadi tidak hanya oleh karena bekerjanya musuh alami dari organisme yang akan dikendalikan, tetapi juga oleh komponen ekosistem lainnya seperti makanan dan cuaca.

BAB I

SEJARAH SINGKAT DAN PERKEMBANGAN PENGENDALIAN HAYATI

A. Sejarah Pengendalian Hayati di Luar Negeri

Sejarah pengendalian hayati hampir sama tuanya dengan upaya awal dari manusia untuk bercocok tanam. Misalnya:

- a. Pada tahun 300-an masehi tercatat bahwa untuk melindungi tanaman jeruk Mandarin dari hama, bangsa Cina sudah menggunakan semut rangrang (*Oecophylla smaragdina*). Mereka memasang bambu-bambu diantara pohon jeruk sebagai media berpindah semut tersebut sehingga dapat berpindah dan bergerak antar tanaman. Pada akhirnya semut mampu berkolonisasi, sehingga semut akan menurunkan serangan hama dari ordo Lepidoptera.
- b. Di Yaman, petani kurma menggunakan semut predator yang dikumpulkan dari gunung untuk mengendalikan hama yang berupa semut herbivora di perkebunan kurma yang berada di daerah dataran rendah.
- c. Pada tahun 1762 tercatat adanya introduksi musuh alami dari satu negara ke negara lainnya, yaitu Importasi burung mynah (*Gracula religiosa*) dari India untuk mengendalikan belalang *Nomadacris septemfasciata* di kepulauan Mauritius.
- d. Di Eropa pada tahun 1776, musuh alami pertama yang dilaporkan digunakan adalah penggunaan predator kepik *Picromerus bidens* (L) untuk mengendalikan tinggi populasi bedbug-Cimycidae.

- e. Pada awal tahun 1800 Erasmus Darwin memberikan penyuluhan kepada para petani agar menggunakan lalat syrphid dan kumbang koksi di rumah kaca untuk mengendalikan kutu daun.
- f. Pelepasan parasitoid dari satu lokasi ke lokasi lain di Amerika dilakukan oleh CV Riley yang melepas parasitoid kumbang moncong *Conotrachelus nenuphar* yaitu *Aphytis mytilaspidis* di antara dua kota di Illinois.
- g. Pada tahun 1883 parasitoid *Apanteles glomerata* dibawa dari Inggris ke Amerika untuk mengendalikan *Pieris rapae*. Importasi *Trichogramma* spp. dari Amerika ke Kanada untuk mengendalikan telur sawfly *Nematus ribesii*. introduksi kumbang Vedalia (*Rodolia cardinalis* Mulsant) dari Australia ke California Amerika pada tahun 1888 dan berhasil dengan sempurna untuk mengendalikan kutu jeruk *Icerya purchasi* Maskell.
- h. Di dunia Barat, kesuksesan praktek pengendalian hayati dicapai sekitar akhir abad ke-19, yaitu dengan keberhasilan kumbang *Rodolia cardinalis* menekan perkembangan populasi hama kutu kapas, *Icerya purchasi* di California.
- i. Pada tahun 1869 *Icerya purchasi* masuk ke California dan pada tahun 1886 mampu menghancurkan industri perkebunan jeruk. Kemudian didatangkan dua musuh alami untuk mengendalikan hama tersebut dari Australia yaitu kumbang koksi/kumbang vedalia *Rodolia cardinalis* dan parasitoid larva *Chryptochaetum iceryae*.
- j. Pada tahun 1986, Greathead mencatat importasi parasitoid *Encarsia berlesii* dari Italia ke Amerika untuk mengendalikan kutu perisai *Pesudaulacapsis pentagona*.

- k. Selanjutnya, sejak awal abad ke-20, upaya pengendalian hayati sudah mulai mempertimbangkan sisi ekologis dan ekonomis dari suatu agroekosistem karena upaya pemanfaatan musuh alami tidaklah selalu berhasil. Misalnya, penggunaan bahan pestisida ditengarai dapat menurunkan populasi musuh alami, sehingga kekuatan penekanan pada organisme pengganggu akan menurun. Penelitian terkini juga mengungkapkan adanya kompleksitas hubungan antar organisme, termasuk persaingan antar jenis predator yang dapat mempengaruhi keberhasilan dari penekanan suatu populasi organisme pengganggu oleh musuh alami.

B. Sejarah Pengendalian Hayati di Indonesia

- a. Masa Pendudukan Belanda :
- 1) Serangan kutu putih *Ceratovacuna lamigera* ditekan dengan penggunaan parasit lokal *Encarsia flavoscutelum*. Bila ditemukan suatu daerah yang terserang maka akan diintroduksi kutu putih yang terparasit dari tempat lain.
 - 2) Augmentasi lalat tachinid asal Jatiroto, *Diatraephaga striatalis* dan parasitoid telur *Trichogramma australicum* dan *T. Japonicum* untuk mengendalikan populasi penggerek batang tebu.
- b. Tahun 1931: Introduksi *Diadegma fenetralis* dari Eropa untuk menekan hama tanaman sayur kubis *Plutella xylostella*, tetapi sayangnya tidak berhasil. Kemudian dicoba diintroduksi kembali dengan *D. Semiclausum* dari Inggris.
- c. Tahun 1920: Van der Goot mengintroduksi kumbang coccinelid *Cryptolaemus montrouzieri* untuk menekan populasi kutu coccidae pada lamtoro *Ferrisia virgata*, Sirsak *Coccid planococcus* dan *P. Citri*

- (kutu dompolan pada tanaman kopi). Pada tahun 1928, sekitar 2000 ekor kumbang ini diintroduksi ke daerah Toraja untuk mengendalikan kutu pada tanaman kopi dan selanjutnya pada tahun 1929 diintroduksi juga ke daerah Siantar. Selanjutnya pada tahun 1939 ke Kuala Tungkal untuk mengendalikan coccid pada tanaman kelapa.
- d. Tahun 1938: Untuk mengendalikan *Aspidiotus destructor* pada tanaman kelapa, dilakukan introduksi *Cryptognatha nodiceps* yang berasal dari daerah tropis Amerika.
 - e. Karena terjadi serangan *Artotona catoxantha*, dilakukanlah introduksi lalat tachinid *Bessa remota*. Diintroduksi juga ke Fiji untuk mengendalikan *Levuana iridiscens* dari Malaysia. Pada populasi *A. Catoxantha* juga ditemukan parasitoid hymenoptera, *Apanteles arttonae* dan *Argyrophyllax fumipennis*.
 - f. Tahun 1923: Untuk mengendalikan hama bubuk buah kopi, *Hypothenemus hampei*, Diintroduksi braconid, *Heterospilus coffeicola* yang berasal dari Afrika Barat.
 - g. *Macrocentrus homonae* adalah braconid yang umum ditemukan di daerah Jawa. Tahun 1935 braconid ini diintroduksi ke daerah Srilangka dari Jawa untuk mengendalikan Tea tortrix (*Homona coffearia*)
 - h. *Lefmansia bicolor*, parasit telur pada *Sexava nubile* yang umum ditemukan di kepulauan Maluku. Pada tahun 1925 Leefmann mentransfer parasit tersebut dari daerah Ambon ke daerah Talaud.

Dalam periode modern, sejak tahun 1956 hingga saat ini, pengendalian hayati dicirikan oleh perencanaan yang lebih teliti, hati-

hati serta evaluasi yang lebih tepat terhadap musuh alami. Aktivitas pengendalian hayati di dunia mencapai puncaknya pada tahun 1930 hingga 1940, musuh alami sebanyak 57 jenis telah dikenal di berbagai daerah. Namun perang Dunia II menyebabkan aktivitas pengendalian hayati menurun drastis. Selanjutnya setelah PD II pengendalian hayati menjadi tidak populer, oleh karena kalah bersaing dengan produksi insektisida organik sintetik yang relatif sangat mahal.

Sementara itu penelitian entomologi mulai berpindah ke penelitian pestisida. Kini sejak mulai disadarinya efek negatif pestisida kimia, penelitian pestisida semakin menurun dan kembali ke penelitian entomologi atau pengendalian hayati yang arahnya ke pestisida hayati yang akrab lingkungan. Stern *et al.*, (1959) mengusulkan pendekatan baru dalam pengendalian populasi hama yang antara lain dengan memadukan pengendalian hayati dan pengendalian kimiawi.

BAB II PENGERTIAN DAN LINGKUP PENGENDALIAN HAYATI

Sejak istilah “pengendalian hayati” untuk pertama kali digunakan oleh Harry S. Smith pada tahun 1919, banyak pengertian diberikan terhadap istilah tersebut. Smith mula-mula memberikan pengertian kepada pengendalian hayati sebagai penggunaan musuh alami suatu organisme yang diintroduksi maupun yang dimanipulasi dari musuh alami setempat untuk menekan populasi serangga hama.

Dari sudut pandang praktis, pengendalian hayati dapat dibedakan menjadi dua:

- 1) Introduksi musuh alami yang tidak terdapat pada daerah yang terinfestasi hama
- 2) Peningkatan secara buatan jumlah individu musuh alami yang telah ada di wilayah tertentu yang terinfestasi hama dengan melakukan manipulasi sehingga musuh alami yang ada dapat menimbulkan mortalitas yang lebih tinggi terhadap hama yang ingin dikendalikan.

Pengertian pengendalian alami yang telah diberikan oleh Smith tersebut kemudian diperluas oleh P. de Bach pada tahun 1964 dengan membedakan pengertian dari pengendalian alami dan pengendalian hayati:

- 1) Pengendalian alami adalah usaha untuk menjaga populasi organisme yang berfluktuasi dalam batas atas dan batas bawah selama rentang waktu tertentu melalui pengaruh faktor lingkungan abiotik maupun biotik

- 2) Pengendalian hayati adalah kemampuan predator, parasitoid, maupun patogen dalam menjaga kepadatan populasi organisme lain lebih rendah dibandingkan kepadatan populasi dalam keadaan tanpa kehadiran predator, parasitoid, atau patogen.

De Bach membedakan pengertian dari pengendalian alami dan pengendalian hayati, tetapi harus dicermati bahwa:

- 1) Tidak terlalu jelas perbedaan antara pengaruh faktor lingkungan biotik dalam pengendalian alami terhadap pengaruh predator, parasitoid, atau parasit dalam pengendalian hayati
- 2) Pengendalian alami menurut de Bach juga mencakup pengaruh dari faktor lingkungan abiotik

Pada 1962, Bosch dan kawan-kawan memodifikasi pengertian pengendalian alami dan pengendalian hayati yang dikemukakan de Bach sebelumnya menjadi:

- 1) Pengendalian hayati alami (*natural biological control*) sebagai pengendalian yang terjadi tanpa adanya campur tangan manusia.
- 2) Pengendalian hayati terapan (*applied biological control*) sebagai manipulasi musuh alami oleh campur tangan manusia untuk mengendalikan hama.

Selanjutnya Bosch dan kawan-kawan membedakan tiga kategori pengendalian hayati terapan sebagai berikut:

- 1) Pengendalian hayati klasik melalui introduksi musuh alami untuk menekan populasi hama
- 2) Augmentasi musuh alami melalui usaha meningkatkan populasi atau pengaruh menguntungkan yang diberikan oleh musuh alami
- 3) Konservasi musuh alami melalui usaha yang dilakukan dengan sengaja untuk melindungi dan menjaga populasi musuh alami.

Pengendalian hayati diperluas menjadi mencakup faktor-faktor seperti ketahanan tanaman, autosterilisasi, manipulasi genetik, pengendalian budidaya, dan bahkan penggunaan pestisida generasi ketiga semacam zat pengatur tumbuh serangga pengertian ini merupakan perkembangan lanjutan dari pengendalian hayati. Namun dalam perkembangan lebih lanjut, pengertian luas tersebut kembali ditinggalkan dan yang kemudian kembali menggunakan pandangan Bosch dan kawan-kawan yaitu perubahan istilah pengendalian hayati alami menjadi pengendalian alami (*natural control*) dan pengendalian hayati terapan menjadi pengendalian hayati (*biological control*).

Memberikan pengendalian hayati sebagai penggunaan mahluk hidup semacam predator, parasitoid, dan patogen dengan melibatkan campur tangan manusia untuk mengendalikan hama, penyakit, dan gulma yang pengertian ini merupakan contoh dari kelompok Weeden dan kawan-kawan dari Universitas Cornell, AS. Upaya yang dilakukan oleh manusia untuk memanipulasi musuh alami yang terdiri atas predator, parasitoid, patogen, dan pesaing hama (*pest competitor*) atau sumberdayanya untuk mendukung pengendalian hama dalam arti yang lebih luas. Pengertian diatas yang dikemukakan oleh Universitas Negara Bagian Michigan, AS. kurang lebih sama dengan apa yang diungkapkan oleh kelompok Weeden dan Kawan-kawan.

Pada 1987, Komisi Ilmu Pengetahuan, Keteknikan, dan Kebijakan Publik (The Committee on Science, Engineering and Public Policy, COSEPUP) dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Amerika, Lembaga Keteknikan Amerika, dan Lembaga Kedokteran Amerika menganjurkan penggunaan definisi yang luas untuk pengendalian hayati sebagai penggunaan organisme alami atau hasil rekayasa, gen,

atau hasil rekayasa gen untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh organisme hama dan dampak positif yang ditimbulkan oleh organisme bermanfaat seperti tanaman, pohon hutan, ternak, serangga dan organisme-organisme bermanfaat lainnya. Definisi yang diperluas ini akhirnya ditolak oleh Divisi Pengendalian Hayati UCB karena tidak dapat memberikan perbedaan yang jelas dengan metode pengendalian hama lainnya, khususnya dalam hal ciri utama pengendalian yang bersifat self-sustaining tanpa harus diberikan masukan secara terus menerus dan tergantung kepadatan populasi dalam mekanismenya mengendalikan hama. Divisi Pengendalian Hayati UCB tetap mempertahankan pengertian pengendalian hayati sebagaimana diberikan oleh DeBach sebagai kinerja parasitoid, predator, atau patogen dalam menekan kepadatan populasi organisme lain pada taraf yang lebih rendah dibandingkan tanpa kehadiran musuh alami tersebut.

Pengertian yang diberikan oleh Midwest Institut for Biological Control, AS, tentang pengendalian hayati yang digunakan dewasa ini dan mudah diingat adalah yang mendefinisikan pengendalian hayati sebagai tiga kelompok yang masing-masing terdiri atas tiga unsur (*three sets of three*). Ketiga kelompok yang dimaksudkan tersebut mencakup “siapa” (*who*), yaitu musuh alami yang digunakan sebagai agen pengendali, “apa” (*what*), yaitu tujuan dari pengendalian hayati, dan “bagaimana” (*how*), yaitu cara musuh alami digunakan guna mencapai tujuan pengendalian hayati. Kelompok “siapa” terdiri atas unsur-unsur predator, parasitoid, dan patogen, kelompok “apa” terdiri atas unsur-unsur reduksi, prevensi, dan penundaan, dan kelompok “bagaimana” terdiri atas unsur-unsur importasi, augmentasi, dan

konservasi. Sebagaimana akan diuraikan di dalam bab-bab selanjutnya, pengertian *three sets of three* tersebut tentu saja tidak merupakan harga mati, melainkan hanya untuk mempermudah mengingatnya. Karena sebenarnya kelompok “apa” ternyata tidak hanya terdiri atas unsur-unsur predator, parasitoid, dan patogen, tetapi juga pemakan gulma (*weed feeders*) dalam pengendalian hayati gulma dan antagonis dalam pengendalian hayati penyakit tumbuhan.

BAB III

LINGKUP MATERI KULIAH PENGENDALIAN HAYATI

Sebelum mempelajari pengendalian hayati secara lebih mendetail sebagaimana akan diuraikan pada bab-bab selanjutnya, terlebih dahulu perlu diperoleh gambaran sekilas mengenai apa itu pengendalian hayati. Hal ini diperlukan sebagai panduan untuk melihat keterkaitan satu bab dengan bab lain sehingga dengan mempelajari secara detail bab demi bab, gambaran utuh pengendalian hayati dapat dilihat dengan jelas.

Pengendalian hayati yang akan dibahas pada bab-bab selanjutnya pada dasarnya merupakan materi yang diberikan untuk memberikan wawasan dasar atau pengantar mengenai pengendalian hayati serangga hama, patogen, dan gulma pertanian dalam konteks sebagai salah satu komponen dari Pengendalian Hama Terpadu (PHT). Untuk memudahkan pemahaman dan mempertahankan keterkaitan antar topik, materi akan disajikan dalam bab-bab yang disusun sebagai berikut:

- 1) Pendahuluan dan dasar-dasar ekologis, yang berisi penjelasan-penjelasan yang akan menguraikan sejarah dan pengertian pengendalian hayati, dasar-dasar dinamika populasi, dinamika interaksi predator-mangsa, interaksi parasitoid-inang, dan patogen-inang.
- 2) Pengenalan Agen Pengendali Hayati yang berisi penjelasan-penjelasan yang akan menguraikan pengenalan mengenai predator, parasitoid, patogen, antagonis, dan pemakan gulma.
- 3) Pengembangan dan penerapan pengendalian hayati yang berisi penjelasan-penjelasan yang akan menguraikan mengenai prosedur

pengembangan pengendalian hayati klasik, prosedur pengembangan pestisida hayati, prosedur konservasi musuh alami, serta penerapan dan evaluasi pengendalian hayati.

Sebagaimana yang telah diuraikan pada bagian pengertian dan lingkup dari pengendalian hayati, pengendalian hayati ialah upaya manusia dalam memanipulasi musuh alami untuk mengendalikan atau menekan hama dalam arti luas. Pengertian tersebut berarti bahwa pengendalian hayati adalah tindakan manipulasi ekosistem yang berkaitan dengan interaksi antara populasi musuh alami dengan populasi hama yang menjadi sasaran yang akan dikendalikan. Interaksi tersebut perlu dipahami sebagai dasar pemahaman cara kerja pengendalian hayati secara menyeluruh.

Berkaitan dengan pengendalian alami, peran dari musuh alami tersebut dalam mengendalikan populasi hama dalam arti luas sebagaimana tanpa adanya campur tangan manusia. Musuh alami terdiri dari seluruh makhluk hidup yang memanfaatkan makhluk hidup lain untuk menjamin kelangsungan hidupnya. Musuh alami yang sama yang secara sengaja melalui importasi, augmentasi, dan konservasi digunakan untuk mengendalikan suatu populasi hama disebut agen pengendali hayati (*biological control agent*). Di dalam buku-buku teks berbahasa Indonesia mengenai pengendalian hayati, istilah *biological control agent* dibahasa indonesiakan menjadi “agensia pengendali hayati”. Namun pengindonesiaan kata Inggris “agent” menjadi “agensia” tidaklah sesuai dengan kaidah pembentukan istilah dalam kata bahasa Indonesia (misalnya “president” diindonesiakan menjadi “presiden” dan bukan “presidensia”, “antagonist” menjadi “antagonis” dan bukan “antagonisia”). Sedangkan istilah “agensi” juga

tidak tepat karena dalam bahasa Inggris kata “agency” mempunyai arti yang berbeda dengan kata “agent” sebagaimana digunakan dalam istilah biological control agents. Oleh sebab itu, selanjutnya istilah yang akan digunakan untuk menyebut kepada musuh alami yang digunakan secara sengaja untuk mengendalikan populasi hama dalam arti luas adalah agen pengendali hayati.

Pengendalian hayati awalnya digunakan terhadap binatang hama sebagaimana telah dijelaskan dalam sejarah pengendalian hayati. Dalam pengendalian binatang hama, agen pengendali yang umumnya digunakan adalah predator, parasitoid, dan patogen sehingga komponen “apa” dalam pengertian pengendalian hayati menurut Midwest Institut for Biological Control hanya terdiri atas tiga unsur. Saat ini pengendalian hayati telah dilakukan terhadap binatang hama, penyakit tumbuhan, dan gulma sehingga tiga unsur tersebut harus diperluas dengan ditambahkan antagonis dan pemakan gulma (*weed feeder*). Dengan pengendalian hayati yang kini mencakup diantaranya: pengendalian binatang hama, penyakit tumbuhan, dan gulma, maka agen pengendali hayati terdiri atas unsur-unsur sebagai berikut:

- 1) Predator, yaitu mahluk hidup yang memangsa mahluk hidup lain yang lebih kecil atau lebih lemah dari dirinya. Mahluk hidup lain yang dimangsa oleh predator disebut mangsa (prey) dan proses pemakanannya disebut predasi.
- 2) Parasitoid, yaitu mahluk hidup yang hidup secara parasit di dalam atau di permukaan tubuh dan pada akhirnya menyebabkan kematian mahluk lain yang ditumpanginya. Mahluk lain yang ditumpanginya parasitoid tersebut disebut inang (*host*) dan proses interaksinya disebut parasitasi.

- 3) Patogen, yaitu mahluk hidup mikroskopik yang hidup secara parasit di dalam atau di permukaan tubuh dan pada akhirnya menyebabkan kematian mahluk hidup lain yang diserangnya. Mahluk lain yang diserang patogen disebut inang (*host*).
- 4) Antagonis, yaitu mahluk hidup mikroskopik yang dapat menimbulkan pengaruh yang tidak menguntungkan bagi mahluk hidup lain melalui parasitasi, sekresi antibiotik, kerusakan fisik, dan bentuk-bentuk penghambatan lain seperti persaingan untuk memperoleh hara dan ruang tumbuh.
- 5) Pemakan gulma, yaitu mahluk hidup yang memakan gulma namun tidak mamakan tumbuhan lain yang bermanfaat.

Istilah “parasit” sering juga digunakan dalam buku-buku teks pengendalian hayati, mengacu kepada parasitoid. Hal ini perlu diperhatikan bahwa penggunaan parasit hanya untuk mengacu kepada parasitoid dapat menimbulkan kebingungan karena ada parasit yang merupakan patogen atau bahkan merupakan antagonis. Dalam pengendalian hayati istilah “patogen” mencakup patogen terhadap binatang hama, penyebab penyakit tumbuhan, dan gulma.

Mengingat pengendalian hayati dilakukan dengan cara memanfaatkan mahluk hidup lain untuk menekan populasi hama dalam arti luas maka banyak kalangan yang menganggap pengendalian hayati sebagai metode pengendalian yang sekali dilakukan maka akan berlangsung terus-menerus dengan sendirinya sehingga biayanya akan menjadi murah. Padahal dalam kenyataannya, pengertian murah dalam pengendalian hayati masih bersifat sangat relatif dan kontekstual.

Namun demikian, pengendalian hayati memiliki sejumlah kelebihan dibanding metode pengendalian lainnya. Kelebihan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Dalam skala aplikasi oleh para petani, pengendalian hayati (khususnya pengendalian hayati klasik) merupakan metode pengendalian yang relatif cukup murah. Namun pengembangan pengendalian hayati klasik pada umumnya memerlukan sumber biaya dan sumberdaya lain dalam jumlah yang relatif besar.
- 2) Pengendalian hayati merupakan metode pengendalian yang alami sehingga aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Pengendalian hayati aman bagi lingkungan karena tidak membahayakan makhluk hidup lain yang bukan merupakan sasaran sehingga tidak menimbulkan resurgensi hama maupun ledakan hama kedua. Pengendalian hayati aman bagi kesehatan manusia karena makhluk hidup yang digunakan merupakan makhluk hidup yang tidak berbahaya bagi kesehatan manusia.
- 3) Pengendalian hayati tidak mendorong terjadinya hama, patogen penyakit tumbuhan, maupun gulma yang yang mampu beradaptasi untuk melawan atau menahan serangan/pengendalian yang dilakukan seperti halnya yang dapat terjadi dalam pengendalian kimiawi.

Namun selain kelebihan tersebut, pengendalian hayati juga mempunyai keterbatasan. Keterbatasan-keterbatasan yang cukup penting adalah sebagai berikut:

- 1) Pengendalian hayati tidak mungkin dilakukan untuk mengeradikasi hama sarannya sebab kelangsungan hidup agen pengendali hayati, khususnya pengendalian hayati klasik, sangat

bergantung pada ketersediaan hama sasarannya sebagai bahan makanan bagi kelangsungan hidupnya

- 2) Efektivitas pengendalian hayati umumnya memerlukan waktu yang cukup lama dan sifatnya relatif dalam kaitannya dengan ambang ekonomi yang harus ditetapkan terlebih dahulu.
- 3) Pengembangan pengendalian hayati merupakan pekerjaan yang membutuhkan dukungan sumberdaya yang cukup besar dalam hal tenaga ahli, fasilitas, dana, dan waktu serta tanpa adanya jaminan keberhasilan.

Saat ini pengendalian hayati modern merupakan salah satu metode pengendalian yang masih relatif baru. Penerapannya seringkali menemui banyak kendala, baik kendala teknis maupun non-teknis. Namun meskipun metode ini masih relatif baru, pengendalian hayati merupakan metode pengendalian yang banyak dibahas dan banyak tersedia literaturnya di dunia digital atau internet. Banyak situs-situs internet dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi tambahan untuk dapat lebih memahami segala hal yang berkaitan dengan pengendalian hayati. Hampir seluruh universitas di Amerika menyediakan situs khusus mengenai pengendalian hayati, selain juga situs yang disediakan oleh organisasi-organisasi yang bergerak di bidang pengendalian hayati.

BAB IV

PERANAN MUSUH ALAMI SEBAGAI SARANA PENGENDALI

Telah disebutkan di muka, bahwa pendekatan ekologi dengan mempertimbangkan keanekaragaman hayati merupakan dasar pemikiran dan pelaksanaan pengendalian hayati. Dengan demikian musuh alami menjadi komponen penting ekosistem dalam setiap kegiatan pengendalian hayati. Keberadaan musuh alami dalam ekosistem dapat dilihat dari peranannya dalam pengendalian alami (*Natural Control*) dan pengendalian hayati (*Biological Control*) serta Statusnya sebagai “Agensia Hayati”.

A. Pengendalian Alami

Dalam proses Pengendalian Alami (PA) musuh alami menekan populasi jasad pengganggu tanpa campur tangan manusia, dan semua terjadi menurut hukum alam yang sempurna. Musuh Alami (MA) itu sendiri dalam proses tersebut merupakan faktor hayati yang berinteraksi dengan jasad pengganggu, yang juga dipengaruhi oleh faktor non hayati. Maksudnya, kecuali menekan populasi jasad pengganggu dalam kegiatannya MA tersebut juga dipengaruhi oleh faktor non hayati.

Dengan sifatnya yang tergantung pada inang atau mangsanya, maka sekaligus kehidupan musuh alami itu juga dipengaruhi oleh jasad pengganggu yang bersangkutan, terutama parasit (oid) dan patogen. Mungkin baiknya MA maupun jasad pengganggunya sama-sama tertekan jika faktor non hayati lebih kuat pengaruhnya .

Hal itu antara lain akibat penyimpangan iklim misalnya hujan yang amat lebat, kekeringan atau penurunan dan kenaikan suhu yang terjadi secara tiba-tiba. Karena sifat ketergantungan MA terhadap inang atau mangsanya, maka keberadaan inang yang dibutuhkan bagi pertumbuhan dan perkembangbiakan MA adalah mutlak. Dengan kata lain, untuk kesinambungan MA selalu dibutuhkan ketersediaan jasad pengganggu yang bersangkutan. Ini berarti, untuk kelestarian MA, maka populasi jasad pengganggu tidak boleh mencapai nol, atau tidak ada jasad pengganggu yang tersisa. Dengan lain perkataan kita tidak boleh memusnahkan sesuatu jasad pengganggu, agar keseimbangan hayati dan alami dapat dilestarikan.

Komposisi musuh alami yang menekan populasi jasad pengganggu di suatu tempat biasanya merupakan Kompleks Musuh Alami yang membentuk Komunitas khusus. Jika Keevolusi yakni evolusi bersama antara jasad pengganggu dan musuh alami lainnya telah berjalan demikian lanjut, maka komunitas yang terdiri dari jasad pengganggu dan musuh alaminya berada dalam keseimbangan hayati, dan dengan lingkungan non hayati terjadi keseimbangan alami. Kondisi inilah yang seharusnya selalu dipertahankan, sesuai dengan prinsip keanekaragaman hayati dalam suatu ekosistem.

B. Pengendalian Hayati

Agak berbeda dengan pengendalian alami, maka pengendalian hayati merupakan proses penekanan populasi jasad pengganggu dengan campur tangan manusia. Pengertian ini sesuai dengan definisi yang dikemukakan oleh Smith di muka yang tersirat dalam istilah memanfaatkan atau menggunakan. Dalam hal ini yang dimanfaatkan

atau digunakan yakni MA sedangkan yang menggunakan atau memanfaatkan adalah manusia. Jadi jelas ada campur tangan manusia dalam setiap upaya PH.

Dalam berbagai pustaka antara lain yang dikemukakan oleh Simmonds (1970) yang menyitir definisi yang dikemukakan oleh Debach (1964), bahwa PH adalah “Kegiatan parasit, pemangsa dan patogen dalam menekan kepadatan populasi suatu jenis organisme lain pada suatu tingkat rata-rata yang lebih rendah dibanding dalam kondisi yang terjadi ketika mereka tidak ada (absen)”. Berdasarkan definisi itu timbullah istilah yang menyamakan pengendalian alami sebagai “Pengendalian hayati yang terjadi secara alami (*Naturally Biological Control* (NBC))”. Istilah NBC masih perlu ditelaah karena sepintas lalu memang logis, tetapi kalau diperhatikan lebih dalam sesungguhnya tersirat makna yang kurang logis, sehingga rancu.

Penulis tidak sependapat dengan istilah terakhir untuk memberi makna pada pengendalian alami dengan NBC, karena hal itu akan merancukan pengertian. Kerancuan itu terjadi karena istilah NBC tidak dipisahkan antara proses yang terjadi di alam tanpa campur tangan manusia dan proses yang terjadi dengan campur tangan manusia. Kita harus konsisten dengan kata pemanfaatan atau penggunaan (*the use*) yang maknanya ada sesuatu atau seseorang yang menggunakan. Dalam hal ini yang menggunakan musuh alami adalah manusia. Dengan demikian kita dapat membedakan secara tegas antara pengendalian alami dan hayati berdasarkan pemahaman ada tidaknya campur tangan manusia sebagai pihak yang menggunakan musuh alami sebagai agens pengendalian hayati.

Penulis menduga bahwa istilah NBC muncul, karena mungkin dulu ada penulis yang belum memasukan komponen manusia dalam ekosistem. Kini hampir dalam tiap pemaparan ekosistem, komponen manusia telah dimasukan dalam ekosistem. Oleh karena itu istilah Pengendalian Hama Terpadu (PHT) disempurnakan menjadi Pengelolaan Hama Terpadu (juga disingkat PHT), karena keberadaan komponen manusia sebagai pengelola ekosistem dinilai penting.

Musuh alami kurang berfungsi

- Kualitas inang Enkapsulasi Hiperparasitisme
- Penggunaan pestisida
- Lingkungan kurang mendukung
- Populasi musuh alami rendah

Keuntungan Pemanfaatan Musuh Alami :

- Relatif murah & sangat menguntungkan
- Aman terhadap lingkungan, manusia dan hewan berguna
- Berdaya guna (efektif) dalam pengendalian hama sasaran
- Efisiensi dalam jangka panjang (tidak memerlukan ulangan pengendalian)
- Kompatibel/dapat digabungkan dengan cara-cara pengendalian lainnya

Kelemahan Pemanfaatan Musuh Alami :

- Perlu waktu lama, kira-kira 3-5 th
- Tingkat keberhasilan (efektifitas) tergantung pada ketangguhan MA yang digunakan
- Tidak dapat digunakan untuk mengendalikan hama baru karena inangnya spesifik

- Kadang-kadang timbul kekebalan hama sasaran tetapi sangat jarang
- Perlu waktu tertentu dalam aplikasinya (utamanya jenis jamur, bakteri & virus)

Kendala Pemanfaatan Musuh Alami :

- Modal Investasi, Fasilitas dan SDM, Kebiasaan Petani
- Inang tersedia
- Musuh alami ada

C. Pengendalian Hayati Dalam Sistem PHT

Prinsip pengelolaan hama terpadu (PHT) ialah budidaya tanaman sehat, pemberdayaan musuh alami, monitoring dan petani sebagai ahli PHT. Semaksimal mungkin proses pengendalian hama terjadi secara alami terutama oleh bekerjanya faktor biotik yang antara lain ialah musuh alami hama.

Pengendalian hayati merupakan komponen utama dari PHT, dan mengingat dasar dari PHT adalah ekologi, ekonomi dan sosial Pengendalian hayati mengoptimalkan peranan musuh alami dalam usaha pengelolaan populasi hama, dimana musuh alami merupakan bagian dari mata rantai dalam agro-ekosistem.

Agensia pengendalian hayati (APH) sangat berperan penting dalam proses menuju kondisi agro-ekosistem yang stabil. Peranan tersebut ditunjukkan oleh kemampuan agensia pengendalian hayati dalam menekan kepadatan populasi hama sasaran di atas ambang ekonomi hingga di bawah ambang ekonomi, dan meregulasi populasi hama tetap berada di bawah ambang ekonomi.

BAB V

DEFINISI PENGENDALIAN HAYATI

- 1) H. S. Smith (1919) pertama kali menggunakan istilah **“Pengendalian Hayati”** untuk menyatakan **pemanfaatan musuh alami dalam mengendalikan hama-hama serangga**.
P. DeBach (1964) lebih lanjut memperbaiki istilah pengendalian hayati dan membedakan antara “pengendalian alami” dari “pengendalian hayati”.
 - a. **Pengendalian alami** adalah proses pengaturan kepadatan populasi suatu organisme yang berfluktuasi di antara batas bawah dan batas atas populasi selama kurun waktu tertentu oleh pengaruh faktor-faktor lingkungan abiotik atau biotik.
 - b. **Pengendalian hayati** (dari pandangan **ekologis**) adalah **“aksi parasit(oid), predator dan patogen”** dalam pemeliharaan kepadatan populasi organisme lain pada suatu rata-rata populasi yang lebih rendah daripada yang akan terjadi jika musuh alami tersebut tidak ada.
- 2) Van den Bosch *et al.*, (1982) memodifikasi sebagian istilah-istilah tersebut di atas menurut dua pengertian:
 - a. **Pengendalian hayati terapan** adalah **manipulasi** musuh alami oleh manusia untuk pengendalian hama.
 - b. **Pengendalian hayati alami** adalah pengendalian hama oleh musuh alaminya yang terjadi tanpa intervensi manusia.

Pengendalian hayati terapan dapat dipecah lagi menjadi tiga kategori pokok yaitu:

- Pengendalian hayati **klasik**, yaitu pengendalian suatu jenis hama dengan **introduksi** musuh alami.
 - **Augmentasi** musuh alami, yaitu upaya meningkatkan populasi musuh alami atau efeknya yang menguntungkan.
 - **Konservasi** musuh alami, yaitu upaya melestarikan, melindungi dan menjaga populasi musuh alami.
- 3) Definisi lebih lanjut dikembangkan dengan memasukkan faktor-faktor yang non pengendalian hayati seperti tanaman inang tahan hama, tanaman transgenik, **autosterilisasi**, manipulasi genetik suatu spesies, kultur teknik, dan bahkan beberapa insektisida generasi ke-3 (penghambat pertumbuhan serangga, dan lainnya).

Definisi pengendalian hayati yang memasukkan faktor-faktor tersebut **bukan** “pengendalian hayati”, sehingga pengendalian hama dengan tanaman inang tahan hama bukan pengendalian hayati.

BAB VI

TEKNIK PENGENDALIAN HAYATI

Ada tiga hal dasar pendekatan yang digunakan dalam pengendalian hayati, yaitu :

- a. **Konservasi dan peningkatan musuh alami (*Conserving and enhancing natural enemies*).**
- b. **Augmentasi populasi musuh alami (*Augmentation natural enemy populations*).**
- c. **Introduksi musuh alami.**

A. Konservasi dan peningkatan musuh alami (*Conserving and enhancing natural enemies*).

Pendekatan ini bertujuan untuk konservasi dan meningkatkan dampak dari musuh alami yang telah ada pada areal pertanaman. Salah satu caranya adalah dengan memperkecil dampak negatif penggunaan pestisida. Biasanya musuh alami lebih sensitif terhadap pestisida dibandingkan dengan hama. Efek bahan pestisida kimia pada musuh alami dapat bersifat langsung (*direct effects*) dan tidak langsung (*indirect effects*). Efek langsung pestisida dapat mempengaruhi kematian musuh alami dalam waktu jangka pendek atau kurang dari 24 jam (*short term mortality*) dan jangka panjang (*long term sublethal*).

Beberapa tindakan untuk mengurangi dampak penggunaan pestisida terhadap musuh alami :

1. Semprot jika diperlukan
2. Pemantauan populasi hama
3. Hindari kontak antara musuh alami dengan pestisida

4. Pemilihan insektisida yang tepat
5. Pengujian efikasi pestisida
6. Perhitungkan efek samping pestisida

Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan mengubah lingkungan pertanaman dan cara bercocok tanam yaitu dengan cara meningkatkan peran lingkungan untuk meningkatkan jumlah musuh alami.

Adapun pendekatan yang dapat dilakukan adalah :

1. Mengubah lingkungan pertanaman
2. Mengubah tata cara praktik budidaya

B. Augmentasi populasi musuh alami (Augmentation natural enemy populations)

Pendekatan ini dilakukan apabila populasi musuh alami di alam jumlahnya sangat rendah, karena secara alami populasi predator atau parasitoid gagal berkolonisasi untuk menekan populasi hama. Jika musuh alami yang ada di areal pertanaman tidak mampu menekan populasi hama, maka dilakukan pembiakan massal musuh alami tersebut di laboratorium dan kemudian melepaskannya ke lapangan dengan tujuan untuk mengakselerasi populasinya sendiri dan menjaga populasi serangga hama. Dalam pendekatan ini ada dua metode yang dikenal yakni **inokulasi dan inundasi**.

Inokulasi dilakukan apabila musuh alami di areal pertanaman tidak bertahan lama dari satu waktu ke waktu musim tanam berikutnya karena faktor iklim atau cuaca yang tidak menguntungkan, pelepasan musuh alami dilakukan cukup sekali dalam satu musim. Tujuan dari penggunaan metode ini adalah progeni

dari musuh alami yang dilepas diharapkan *survive* dan *multiply*, Populasi hama target ialah generasi hama yang akan datang (musim selanjutnya. Strategi dari metode ini bersifat **preventif**.

Sedangkan **inundasi** ialah pelepasan musuh alami dalam jumlah sangat banyak atau secara sekaligus sehingga dapat menurunkan populasi hama dengan cepat. Metode ini dilakukan ketika musuh alami tidak berhasil mencegah peningkatan hama menuju level yang merusak. Metode ini diharapkan dapat secara cepat menurunkan populasi hama. Dalam satu musim tanam, pelepasan musuh alami dilakukan beberapa kali aplikasi. Tujuan dari metode ini ialah musuh alami dilepas tanpa ada ekspektasi progeni untuk *survive*. Populasi hama target adalah generasi hama saat dilepas. Strategi dari metode ini bersifat **kuratif**.

C. Introduksi musuh alami

Pendekatan ini dilakukan jika tidak ada spesies musuh alami yang mampu secara efektif mengendalikan populasi hama, maka introduksi atau importasi musuh alami ke daerah yang terserang hama harus dilakukan. Pendekatan ini dikenal dengan pengendalian hayati klasik. Musuh alami yang diintroduksi ke lingkungan diharapkan dapat mengembalikan keseimbangan dalam lingkungan baru.

Strategi dari pendekatan ini ialah metode produksi massal dalam jumlah besar agar musuh alami dapat dilepaskan guna mengendalikan serangga hama. Tujuan pendekatan ini sangatlah spesifik, yaitu melepas musuh alami eksotik ke dalam lingkungan baru sehingga nantinya dapat stabil dan mapan secara permanen dan

mampu mengendalikan populasi hama dalam jangka waktu panjang tanpa perlu intervensi lebih lanjut.

Keuntungan pengendalian hayati klasik diantaranya:

1. Mengeksploitasi proses alami dan tidak berhubungan dengan penggunaan bahan pestisida kimia
2. Pembiayaannya hanya diperlukan pada awal introduksi
3. Strategi pengendalian bersifat permanen dan jangka panjang
4. Tidak membahayakan kesehatan manusia, produksi tanaman, dan organisme menguntungkan yang lain

Kerugian pengendalian hayati klasik

1. Bukan metode eradikasi
2. Program jangka panjang
3. Dampaknya sulit diprediksi

BAB VII

AGEN PENGENDALIAN HAYATI

Sebagai konsekuensi penggunaan istilah dengan pengertian baku yang jelas, antara pengertian Musuh Alami dan Agensia Pengendali Hayati (APH) yang dialih bahasakan dari *Biological Control Agents* (BCA) perlu dibedakan. Di forum nasional, khususnya Pusat Karantina Tumbuhan (PUSKARA) kini menggunakan istilah “Agensia Hayati” sebagai alih bahasa dari *Biotic agents*, termasuk di dalamnya BCA sehingga dalam kegiatan rapat dinas yang diadakan setahun sekali ada Komisi Agensia Hayati, karena dalam tugasnya juga mengurus jasad hidup lain yang tidak termasuk MA.

Sebagai bagian kompleks komunitas dalam ekosistem setiap spesies serangga termasuk serangga hama dapat diserang oleh atau menyerang organisme lain. Bagi serangga yang diserang oleh organisme penyerang disebut sebagai “musuh alami”. Secara ekologi istilah tersebut kurang tepat karena adanya musuh alami belum tentu akan merugikan kehidupan serangga terserang. Hampir seluruh kelompok organisme dapat berperan sebagai musuh alami serangga hama termasuk kelompok vertebrata, nematoda, jasad renik, invertebrata di luar serangga. Kelompok musuh alami yang paling penting adalah dari golongan jenis serangga itu sendiri. Adapun makna Agensia Pengendali Hayati adalah Musuh Alami yang sudah atau sedang digunakan sebagai sarana (agens) untuk Pengendalian Hayati. Berdasarkan cara kerja atau sifatnya musuh alami dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu Predator, Parasitoid dan

Patogen. Patogen antara lain berasal dari kelompok Virus, Bakteri, Cendawan dan Nematoda.

Dilihat dari kegunaannya musuh alami atau agens pengendalian hayati dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu parasitoid, predator, dan patogen.

A. Parasitoid

Perlu sedikit penjelasan antara istilah parasitoid dan parasit. Parasitisme adalah hubungan antara dua spesies yang satu yaitu parasit, memperoleh keperluan zat-zat makanannya dari fisik tubuh yang lain, yaitu inang. Parasit hidup pada atau di dalam tubuh inang. Inang tidak menerima faedah apapun dari hubungan ini, meskipun biasanya tidak dibinasakan. Contohnya kasus cacing pita pada tubuh manusia dan caplak pada binatang. Istilah parasit lebih sering digunakan dalam entomologi kesehatan. Serangga yang bersifat parasit yang pada akhirnya menyebabkan kematian inangnya tidak tepat bila dimasukkan ke dalam definisi parasit. Oleh karena itu selanjutnya diberikan istilah baru yaitu parasitoid yang lebih banyak digunakan dalam entomologi pertanian. Parasitoid adalah binatang yang hidup di atas atau di dalam tubuh binatang lain yang lebih besar sebagai inangnya. Serangan parasit dapat melemahkan inang dan akhirnya dapat membunuh inangnya karena parasitoid makan atau mengisap cairan tubuh inangnya.

Untuk dapat mencapai fase dewasa, suatu parasitoid hanya membutuhkan satu inang. Dengan demikian parasitoid adalah serangga yang hidup dan makan pada atau dalam serangga hidup lainnya sebagai inang. Inang selanjutnya akan mati jika perkembangan

hidup parasitoid telah sempurna. Parasitoid merupakan serangga yang memarasit serangga atau binatang artropoda yang lain. Parasitoid bersifat parasitik pada fase pradewasanya sedangkan pada fase dewasa mereka hidup bebas tidak terikat pada inangnya. Umumnya parasitoid akhirnya dapat membunuh inangnya meskipun ada inang yang mampu melengkapi siklus hidupnya sebelum mati. Parasitoid dapat menyerang setiap instar serangga. Instar dewasa merupakan instar serangga yang paling jarang terparasit.

Oleh induk parasitoid telur dapat diletakkan pada permukaan kulit inang atau dengan tusukan ovipositornya telur langsung dimasukkan dalam tubuh inang. Larva yang keluar dari telur akan menghisap cairan dari inangnya dan menyelesaikan perkembangannya dapat berada di luar tubuh inangnya (sebagai ektoparasitoid) atau sebagian besar dalam tubuh inangnya (sebagai endoparasitoid). Contoh ektoparasit adalah *Campsomeris* sp. yang menyerang uret sedangkan *Trichogramma* sp. yang memarasit telur penggerek batang tebu dan padi merupakan jenis endoparasit. Fase inang yang diserang pada umumnya adalah telur dan larva, beberapa parasitoid menyerang pupa dan sangat jarang yang menyerang imago. Larva parasitoid yang sudah siap menjadi pupa keluar dari tubuh larva inang yang sudah mati kemudian memintal kokon untuk memasuki fase pupa parasitoid. Imago parasitoid muncul dari kokon pada waktu yang tepat dan kemudian meletakkan telurnya pada tubuh inang untuk berkembang biakan generasi berikutnya.

Ada spesies parasitoid yang dapat melengkapi siklus hidupnya sampai fase dewasa pada satu inang. Parasitoid semacam ini disebut parasitoid soliter merupakan suatu spesies parasitoid yang

perkembangan hidupnya terjadi pada satu tubuh inang. Satu inang diparasit oleh satu individu parasitoid. Contoh parasitoid soliter antara lain ialah *Charops* sp. (famili Ichneumonidae). Parasitoid gregarius adalah jenis parasitoid yang dapat hidup beberapa individu dalam tubuh satu inang secara bersama-sama. Contoh dari parasitoid gregarius adalah *Tetrastichus schoenobii*. Jumlah imago yang keluar dari satu tubuh inang dapat banyak sekali. Banyak jenis lebah Ichneumonid merupakan parasitoid soliter, dan banyak lebah Braconid dan Chalcidoid yang merupakan parasitoid gregarius. Keuntungan atau kekuatan pengendalian hama dengan parasitoid adalah:

- a. Daya kelangsungan hidup (“survival”) parasitoid tinggi.
- b. Parasitoid hanya memerlukan satu atau sedikit individu inang untuk melengkapi daur hidupnya.
- c. Populasi parasitoid masih dapat tetap mampu bertahan meskipun pada aras populasi yang rendah.
- d. Sebagian besar parasitoid bersifat monofag atau oligofag sehingga memiliki kisaran inang sempit. Sifat ini mengakibatkan populasi parasitoid memiliki respons numerik yang baik terhadap perubahan populasi inangnya.

Di samping kekuatan pengendalian dengan parasitoid beberapa kelemahan atau masalah yang biasanya dihadapi di lapangan dalam menggunakan parasitoid sebagai agens pengendalian hayati adalah:

- a) Daya cari parasitoid terhadap inang seringkali dipengaruhi oleh keadaan cuaca atau faktor lingkungan lainnya yang sering berubah.

- b) Serangga betina yang berperan utama karena mereka yang melakukan pencarian inang untuk peletakan telur.
- c) Parasitoid yang mempunyai daya cari tinggi umumnya akan menghasilkan telur sedikit.

B. Predator

Predator adalah organisme yang hidup bebas dengan memakan, membunuh atau memangsa binatang lainnya. Apabila parasitoid memarasit pada inang, maka predator atau pemangsa memakan mangsanya sampai mati. Predator umumnya dibedakan dari parasitoid dengan ciri-ciri sebagai berikut: Parasitoid umumnya monofag atau oligofag, predator pada umumnya mempunyai banyak inang atau bersifat polifag meskipun ada juga jenis predator yang monofag dan oligofag. Predator biasanya memiliki ukuran tubuh yang lebih besar dibandingkan ukuran tubuh mangsanya. Namun ada beberapa predator yang memiliki ukuran tubuh yang lebih kecil daripada mangsanya, contohnya semut yang mampu membawa mangsa secara jauh lebih secara berkelompok.

Predator memangsa dan membunuh mangsanya secara langsung sehingga harus memiliki daya cari atau berburu yang tinggi dan memiliki kelebihan sifat fisik yang memungkinkan predator mampu menangkap dan membunuh mangsanya. Beberapa predator dilengkapi dengan kemampuan bergerak cepat, taktik penangkapan mangsa yang lebih baik daripada taktik pertahanan mangsa, kekuatan yang lebih besar, memiliki daya jelajah yang jauh serta dilengkapi dengan organ tubuh yang berkembang dengan baik untuk menangkap mangsanya seperti kaki depan belalang sembah (Mantidae), mata

besar (capung). Predator adalah adalah hewan/binatang yang memangsa hama. Pada umumnya serangga predator pradewasa dan dewasa hidup dalam habitat yang sama. Telur-telur predator akan diletakan didekat mangsanya atau didalam habitat mangsanya. Contoh: Burung Hantu, Anjing, ular; dan sebagainya Sebagai predator/pemangsa hama tikus.

Untuk memenuhi perkembangannya parasitoid memerlukan cukup satu inang umumnya pada fase pradewasa, namun predator memerlukan banyak mangsa baik pada fase pradewasa maupun fase dewasa. Parasitoid yang mencari inang ialah hanya serangga betina dewasa, namun baik predator betina maupun jantan dan juga fase pradewasa semuanya dapat mencari dan memperoleh mangsa. Hampir semua predator memiliki banyak pilihan inang sedangkan parasitoid memiliki sifat ketergantungan kepadatan yang tinggi. Predator memiliki daya tanggap yang kurang baik akan perubahan populasi mangsa sehingga perannya sebagai pengatur populasi hama umumnya kurang, khususnya predator polifag.

1. Predator
2. Parasitoid

Parasitoid adalah serangga yang memarasit atau hidup dan berkembang dengan menumpang serangga lain (inang)

- *Trichogramma* sp., berperan sebagai parasitoid telur penggerek batang padi.
- *Diadigma semiclausum*, memparasit larva/ulat kobis

C. Patogen

Serangga dan juga seperti banyak binatang lainnya dalam hidupnya diserang oleh banyak patogen atau penyakit yang berupa bakteri, virus, protozoa, jamur, rickettsia dan nematoda. Bagi populasi serangga, beberapa penyakit dalam kondisi lingkungan tertentu dapat menjadi faktor mortalitas yang utama, namun terdapat pula banyak penyakit yang pengaruhnya kecil terhadap gejala populasi serangga. Pertumbuhan dan pembiakan serangga yang terkena penyakit menjadi terhambat. Ketika menderita serangan penyakit yang parah, serangga terserang tersebut akhirnya akan mati. Lebih dari 2000 jenis patogen yang saat ini telah dikenal telah menginfeksi serangga dan jumlah itu kemungkinan baru sebagian kecil dari jenis patogen serangga yang ada di muka bumi, yang jenis-jenisnya antara lain adalah virus, jamur, bakteri, protozoa, dan nematoda.

Patogen adalah jasad renik (mikroorganisme : Cendawan bakteri, virus, Nematoda) yang menyebabkan infeksi dan menimbulkan penyakit pada Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Apabila individu yang terserang adalah serangga hama disebut *entomopatogen*

- *Beauveria bassiana*, adalah cendawan entomopatogen untuk wereng batang coklat, Walang sangit, Ulat Grayak, kutu kebul, Aphis, dsb.
- *Metarizium* sp. adalah cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama wereng batang coklat, kutu kebul Uret, Kumbang Kelapa, Kutu Bubuk Kopi dsb.

Apabila yang terserang/mengintervensi aktifitas patogen penyebab penyakit tanaman baik fase parasitik maupun saprofitik disebut *agens antagonis*

- *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. adalah cendawan antagonis untuk penyakit tular tanah (*Fusarium oxisporum*, *Pythium* sp., *Sclerotium* sp., *Antraknosa* sp.).
- *Pseudomonas flourocens* adalah Bakteri antagonis untuk penyakit layu (*Pseudomonas solanacearum*).

BAB VIII

PENDEKATAN PEMANFAATAN AGENSIA HAYATI

Agak berbeda dengan Pengendalian Alami, maka Pengendalian Hayati merupakan proses penekanan populasi jasad pengganggu dengan campur tangan manusia. Dalam hal ini yang dimanfaatkan yakni musuh alami sedangkan yang memanfaatkan adalah manusia jadi jelas ada campur tangan manusia.

- 1) **Pengendalian Hayati dalam arti sempit** (entomologist) diartikan sebagai “Kegiatan parasit, Pemangsa (Predator) dan Patogen dalam menekan kepadatan populasi organisme lain supaya senantiasa berada pada suatu tingkat yang lebih rendah.
- 2) **Pengendalian Hayati dalam arti luas** : mencakup manipulasi genetik, antibiotik dan obat-obatan, tanaman yang resisten, binatang/hewan yang resisten terhadap patogen, parasit dan predator.
- 3) **Pengendalian Hayati penyakit tumbuhan** yaitu kegiatan yang dapat mengurangi kepadatan inokulum atau menekan aktifitas patogen/parasit dalam menimbulkan penyakit, baik dalam kondisi dorman atau aktif yang dilakukan oleh salah satu atau lebih organisme, dan terlaksana secara alami atau melalui manipulasi lingkungan, inang (tumbuhan), agens antagonis atau melalui introduksi masal dari satu atau lebih agens antagonis.

Oleh karena itu seseorang yang akan bekerja dengan agens pengendali hayati, ia juga harus memiliki pengetahuan mengenai patogen tumbuhan dan factor lingkungan baik biotik maupun abiotik yang mempengaruhinya antara lain : persaingan hidup, parasitisme,

antibiosis dll. Hal tersebut perlu diketahui agar dapat melakukan manipulasi yang lebih menguntungkan agens hayati dan atau lebih merugikan inangnya dalam hal ini adalah patogen tumbuhan.

Keberhasilan pengendalian hayati antara lain dipengaruhi oleh ketepatan dan pemilihan spesies yang digunakan untuk mengendalikan Hama Penyakit sehingga perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- o Mempunyai inang spesifik.
- o Beradaptasi dengan baik didaerah dimana diintroduksi
- o Memiliki daya pengusiran dan pertumbuhan populasi yang baik
- o Tidak ada predator lain

Dikenal 3 strategi yang dikemukakan Cook (1991) untuk pengendalian hayati, yaitu :

1. Populasi hama dibuat sebatas atau di bawah ambang ekonomi.
2. Sistem pertahanan yang eksklusif, (daun/akar berasosiasi dengan mikroorganisme yang dapat menjadi benteng pertahanan dari infeksi hama)
3. Sistem pertahanan sendiri (diperoleh secara keturunan atau lewat Varietas Unggul Tahan Hama)

Syarat dasar pengembangan agensia hayati :

Pengetahuan khusus mengenai biologi musuh alami seperti predator dan parasitoid sangat mutlak diperlukan sebagai dasar dalam mempertinggi efisiensi musuh alami baik saat dipelihara secara massal di laboratorium atau peranannya di lapangan.

Paling tidak, ada 5 (lima) keuntungan agensia hayati :

1. Efisiensi tinggi, alat dan bahan murah dan pembuatannya mudah.
2. Selektifitas yang tinggi.

3. Dapat berkembang biak sehingga ekosistem menjadi baik.
4. Kemungkinan terjadinya resisten dan resurgensi OPT (Organisme Pengganggu Tanaman) menjadi sangat kecil.
5. Mengurangi pengaruh samping yang buruk.

BAB IX

LANGKAH-LANGKAH PENGEMBANGAN AGENSIA HAYATI

Berikut ini adalah langkah-langkah yang perlu dilalui dalam memproduksi agens hayati sehingga dapat dikomersialkan

- 1) Mencari, mengisolasi dan mengidentifikasi agensia hayati yang merupakan tanggung jawab para pakar.
- 2) Uji Keefektifan, pakar bersama petani
- 3) Uji Keamanan (aman bagi pengguna, lingkungan termasuk organisme non sasaran), pakar bersama petani atau cukup uji laboratorium.
- 4) Uji kestabilan genetik dari agensia hayati (tidak menurun virulensinya).
- 5) Uji potensi produksi masal.
- 6) Formulasi agensia hayati yang efisien tetapi tetap efektif.
- 7) Uji kestabilan dalam bentuk formulasi dan masa simpannya.
- 8) Potensi pasar.
- 9) Evaluasi biaya produksi
- 10) Analisa perolehan dari investasi (*Return of investment*)
- 11) Pengujian lapang
- 12) Membuat hak paten agens pengendali hayati
- 13) Komersialisasi dan pemasaran produk “Biopestisida”

Pendekatan Pengendalian Hayati

Seperti halnya cara pengendalian jasad pengganggu pada umumnya, dalam Pengendalian Hayati dikenal beberapa teknik yang diterapkan berdasarkan daerah asal, kondisi ekosistem setempat dan

kepentingan ekonomi. Secara garis besar ada tiga pendekatan dalam pemanfaatan agens pengendali hayati yaitu : Introduksi, Konservasi dan Augmentasi.

1. Introduksi

- **Introduksi** adalah memindahkan atau mendatangkan musuh alami dari satu daerah ke daerah baru. Contoh, untuk mengendalikan hama bukan hama asli di suatu daerah tersebut sehingga musuh alami tidak ada. Sebagai contoh, *Curinus coeruleus* adalah musuh alami kutu loncat pada lamtoro.

2. Konservasi

- **Konservasi** adalah upaya untuk memelihara dan meningkatkan keefektifan musuh alami yang telah ada di daerah tersebut. Contoh, perbaikan bercocok tanam, penyediaan (polen, nektar, air) dan menghindari penggunaan pestisida berspektrum luas.

3. Augmentasi

- **Augmentasi** adalah penambahan jumlah musuh alami melalui pelepasan musuh alami dilapang dengan tujuan untuk lebih meningkatkan peranannya dalam menekan populasi OPT. Ada beberapa pendekatan dalam augmentasi yaitu :
 - **Inokulasi** : adalah penambahan musuh alami dalam jumlah sedikit karena populasi hama dilapang masih rendah. Diharapkan nantinya musuh alami tersebut dapat berkembang untuk menekan OPT.
 - **Inundasi** adalah penambahan musuh alami dalam jumlah banyak, dengan tujuan dapat menurunkan OPT. Didalam pelaksanaannya perlu dilakukan beberapa kali pelepasan musuh alami.
 - **Eksplorasi** adalah mengumpulkan calon agens hayati yg dapat diambil dari rhizosphere, phyllospere dan bagian tanaman yg tidak menunjukkan gejala penyakit (sample tanah atau bahan tanaman).
 - **Isolasi** adalah pemisahan mikroorganisme yang diinginkan dari habitatnya.
 - **Formulasi** adalah dalam aplikasinya agens hayati harus dicampur dengan bahan lain tetapi tidak mengganggu cara kerja dan efektifitasnya (cairan, tepung, dll)

Dalam pemanfaatan Agens Hayati, sebagai sarana pengendalian dilapangan perlu disesuaikan dengan sifat atau jenis Agens Hayati, OPT, dan jenis tanamannya

Di Indonesia pengendalian hayati terhadap OPT tanaman telah dilakukan sejak tahun 1925. Salah satu keberhasilan penggunaan

musuh alami di Indonesia adalah pengendalian hama *Plutella xylostella* L. pada tanaman kubis dengan parasitoid *Diadegma semiclausum* Hellen.

Di beberapa negara maju, produk musuh alami sudah diperjualbelikan. Sebagai contoh, Koppert BV salah satu perusahaan di Belanda yang memproduksi predator, parasitoid dan produk lainnya telah memproduksi lebih dari 30 macam musuh alami. Jutaan musuh alami telah dikirim ke 40 negara di seluruh dunia. Pada tahun 2002 nilai pasar untuk produk musuh alami di dunia lebih besar dari 700 milyar

Pengendalian alami dan pengendalian hayati

- Pengendalian alami, adalah pengendalian hama oleh faktor-faktor fisik (abiotik) dan organisme hidup (biotik).
- Pengendalian hayati, yaitu pengendalian hama oleh musuh–musuh alami.

Musuh alami hama : parasitoid, pemangsa (predator) dan patogen serangga.

Pengendalian hayati

- Pengendalian hayati klasik

Musuh–musuh alami dimasukkan (diimpor) dari luar daerah atau negeri

- Pengendalian hayati alami

Musuh–musuh alami sudah ada di daerah tersebut

Keuntungan:

- Relatif murah dan sangat menguntungkan
- Aman terhadap lingkungan, manusia dan hewan berguna
- Berdaya guna (efektif) dalam pengendalian hama sasaran

- Efisiensi dalam jangka panjang (tidak memerlukan ulangan pengendalian).
- Kompatibel atau dapat digabungkan dengan cara-cara pengendalian lainnya.

Strategi pengendalian hayati

- Introduksi, yaitu musuh alami dimasukkan (diimpor) dari luar negeri atau luar daerah.
- Augmentasi, yaitu meningkatkan jumlah (populasi) musuh alami yang sudah ada di lapang dengan cara melepaskan musuh alami yang berasal dari pemeliharaan di laboratorium.
- Inokulasi (suntikan), yaitu pelepasan musuh alami pada awal musim tanam, untuk mencegah peningkatan populasi hama.
- Inundasi, yaitu musuh alami digunakan (dilepaskan) pada saat kritis, seperti halnya dengan penggunaan pestisida.
- Pelestarian (konservasi), yaitu semua upaya yang bertujuan untuk melestarikan (memelihara) musuh alami yang sudah ada di lapang

Dengan memanfaatkan musuh alami. Pada kentang, Musuh alami yang dapat digunakan untuk mengendalikan hama penggerek daun antara lain adalah:

a) *Hemiptarsenus varicornis*

Varicornis (Hymenoptera : Eulophidae) adalah parasitoid penting pada hama *Liriomyza huidobrensis*. Parasitoid tersebut dapat di temukan pada seluruh areal pertanaman kentang yang terserang *L. huidobrensis*. Tingkat parasitasi *H. varicornis* terhadap *L. huidobrensis* pada tanaman kentang berkisar sebesar 37,33%. Nisbah kelamin antara jantan dan betina adalah sekitar 1,5 : 1. Siklus hidup

dari *H. varicornis* berkisar antara 12-16 hari. Masa telur, larva dan pupa masing-masing 1-2 hari, 5-6 hari, dan 6-8 hari. Masa hidup betina berkisar antara 8-22 hari. Satu ekor betina mampu menghasilkan telur sebanyak 24-42 butir.

Varicornis merupakan parasitoid yang memiliki potensi sangat besar sebagai pengendali hayati untuk mengendalikan hama pengorok daun *Liriomyza* di wilayah Indonesia, karena disamping pertimbangan dari faktor fekunditas dan lama umur hidup imago betinanya, *Varicornis* juga merupakan parasitoid lokal yang telah beradaptasi di wilayah Indonesia. Pemanfaatan parasitoid ini dapat dilakukan dengan cara konservasi melalui mengatur pola tanam dan pengaplikasian teknologi pertanian ramah lingkungan.

Dengan memperhatikan data tersebut di atas, maka upaya konservasi *H. varicornis* dapat dilakukan di lapangan untuk mengendalikan pengorok daun *Liriomyza* spp. melalui manipulasi lingkungan (*tritropic levels*) yaitu dengan memadukan pengaturan pola tanam dan penerapan teknologi pertanian ramah lingkungan, yaitu:

- 1) Pengaturan pola tanam, dengan alternatif pilihan sebagai berikut:
 - Menanam tanaman kacang merah (*red bean*) atau buncis (*snap bean*) sebagai tanaman perangkap *Liriomyza* sekaligus juga sebagai tempat berkembang biaknya parasitoid *H. varicornis* di area pematang atau pinggiran kebun dan sebaiknya ditanam lebih dulu sebelum penanaman tanaman pokoknya.
 - Menanam tanaman pada awal musim tanam sehingga jika terserang *Liriomyza* spp. tidak mengakibatkan kerugian secara ekonomis, karena akan menyerang daun yang sudah tua seperti brokoli atau kubis, kemudian pada musim tanam kedua

dilanjutkan menanam kentang atau bawang daun yang ditumpang sarikan dengan kacang merah atau buncis.

- Melakukan sistem pola tanam tumpang sari, misalnya antara kacang merah dengan kentang, buncis dengan bawang daun atau kubis, dan lain-lain.

2) Menerapkan teknologi pertanian ramah lingkungan (organik) sehingga tidak mengganggu populasi parasitoid di lapangan. Teknologi pertanian ramah lingkungan yang dapat dilakukan dalam budidaya tanaman sayuran dan tanaman hias antara lain adalah: penggunaan pupuk organik baik yang sudah berupa pupuk kompos ataupun masih dalam bentuk pupuk kandang atau penggunaan pestisida botani dengan memanfaatkan ekstrak dari tumbuhan untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman.

b) *Opius* sp.

Opius sp. adalah parasitoid penting hama *L. huidobrensis*. Telurnya berbentuk lonjong, dengan salah satu bagian ujungnya sedikit lebih membesar dibandingkan dengan ujung yang lain. Siklus hidupnya berkisar antara 13-59 hari. Pada masa telur, larva dan pupa masing-masing 2, 6, dan 6 hari. Seekor betina mampu menghasilkan telur sebanyak 49-187 butir. Instar yang sangat cocok untuk perkembangan parasitoid *Opius* sp., adalah instar ke-3. Pada instar ini masa perkembangan parasitoid lebih singkat dan keturunan yang dihasilkan lebih banyak dengan proporsi betina yang lebih tinggi dibanding proporsi jantan. Nisbah dari kelamin jantan dan betina adalah 1:1.

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian No. 698/kpts/tp.120/8/1998 Tentang Izin Pemasukan Beberapa Jenis

Parasitoid Dari Hawaii Ke Dalam Wilayah Negara Republik Indonesia. Pusat Kajian Pengendalian Hama Terpadu, Institut Pertanian Bogor mendapatkan izin untuk memasukkan 5 (lima) jenis parasitoid dari Hawaii untuk mengendalikan hama *Liriomyza huidobrensis* melalui Bandar Udara Soekarno-Hatta, Jakarta.

Jenis-jenis parasitoid yang dimaksud adalah sebagai berikut :

- *Diglyphus-begini*, ektoparasitoid larva;
- *Diglyphus-intermedius*, ektoparasitoid larva;
- *Chrysocaris-osciniidus*, endoparasitoid larva-pupa;
- *Ganaspidium-utilis*, endoparasitoid larva-pupa; dan
- *Halticoptera-circulus*, endoparasitoid larva-pupa.

BAB X

KEUNGGULAN DAN KEUNTUNGAN PENGENDALIAN HAYATI

1. Tingkat keberhasilan pengendalian hama yang tinggi dengan biaya yang rendah dalam periode waktu yang lama.
2. Agen pengendalian hayati aktif mencari inang atau mangsanya, tumbuh dan berkembang mengikuti dinamika populasi inang atau mangsanya.
3. Pengendalian hayati tidak berpengaruh negatif terhadap manusia dan lingkungan.
4. Beberapa tipe agens pengendalian hayati bisa digunakan sebagai insektisida hayati.
5. Umumnya spesies hama tidak mampu berkembang menjadi resisten terhadap agens pengendalian hayati.

Resisten terhadap *Bacillus thuringiensis*, Pupa *Brontispa longissima* mengalami **enkapsulasi** akibat serangan parasitoid *Tretrastichus brontispae*.

A. Keterbatasan atau Kelemahan Pengendalian Hayati

- 1) Penelitian awal untuk mencari pemecahan masalah hama dengan pengendalian hayati memerlukan staf teknis dan pakar yang banyak, biaya yang tinggi, waktu yang lama.
- 2) Hasil pengendalian hayati antara lain turunnya populasi hama sasaran tidak dapat dilihat dengan segera.

Organisme Pengganggu (OPT) Utama

Target Pengendalian Hayati

- 1) Hama arthropoda, khususnya serangga dan tungau
- 2) Patogen tanaman
- 3) Jenis-jenis gulma
- 4) Lainnya: hama vertebrata, keong atau bekicot

Hama dalam arti sempit ialah binatang perusak, antara lain nematoda parasitik tanaman, tungau, serangga, dan binatang vertebrata. Sedangkan, hama dalam arti luas meliputi binatang perusak, patogen tanaman dan gulma. Pengendalian hayati sebagai ilmu pengetahuan akan membahas tentang peranan musuh alami dalam mengatur banyaknya inang, khususnya inang sebagai hama dan pesaing dari tanaman atau hewan.

B. Tipe-tipe Musuh Alami

Musuh alami dari hama adalah musuh hama yang berasal dari alam berupa **parasitoid, predator dan patogen**. Jika suatu musuh alami ini telah diteliti secara mendalam sehingga diyakini kehandalannya dan layak sebagai faktor pengendali populasi suatu hama yang efektif maka musuh alami tersebut dapat disebut sebagai agens pengendalian hayati (*biological control agents*).

- 1) Parasitoid dan predator:
 - a. Serangga dan tungau (kelompok utama)
 - b. Lainnya: keong dan vertebrata
- 2) Patogen : virus, bakteri (dan racunnya), fungi, protozoa dan nematoda

Definisi singkat musuh alami

- a. Patogen : suatu mikroorganisme yang hidup dan makan (memarasit) pada atau di dalam suatu organisme inang yang lebih besar dan menyebabkan inangnya sakit atau mati.
- b. Predator : suatu binatang yang makan binatang lain sebagai mangsa, baik tubuhnya lebih kecil maupun lebih besar daripada dirinya.
- c. Parasitoid : suatu serangga parasitik yang hidup di dalam atau pada serangga (atau arthropoda lain) inang yang tubuhnya lebih besar dan akhirnya membunuh inangnya.

Perbandingan antara suatu serangga parasit (istilah kesehatan) dengan suatu serangga parasitoid; parasit misalnya nyamuk malaria, parasitoid misalnya *Trichogramma* spp.

- 1) Parasitoid biasanya menghancurkan inangnya selama periode pertumbuhan dan perkembangannya, sedangkan parasit tidak.
- 2) Inang parasitoid biasanya termasuk dalam kelas taksonomik (serangga) yang sama; sedangkan untuk parasit tidak.
- 3) Parasitoid dewasa hidup bebas sementara itu hanya stadia pradewasa saja yang parasitik, sedang pada parasit tidak.
- 4) Parasitoid berkembang hanya pada satu individu inang selama stadia pradewasa, sedangkan parasit selalu berganti-ganti inang.
- 5) Dalam hal dinamika populasi, parasitoid mirip dengan serangga predator, sedangkan untuk parasit tidak.

1. Biologi dan Impek Predator

Predator adalah suatu binatang yang memakan binatang lain sebagai mangsanya, baik yang tubuhnya lebih kecil maupun lebih besar atau yang tubuhnya lebih lemah daripada dirinya.

a. Karakteristik predator

- 1) Suatu predator pradewasa makan sejumlah mangsa selama proses pertumbuhan dan perkembangannya hingga mencapai dewasa.
- 2) Kecuali stadia telur atau kepompong, semua stadia hidup predator hidup bebas.
- 3) Telur predator biasanya diletakkan di dekat koloni mangsanya.
- 4) Begitu menetas dari telur, nimfe atau larva predator aktif mencari, menangkap dan membunuh serta memakan mangsanya.
- 5) Banyak predator karnivorus baik nimfe atau larva maupun stadia dewasanya, kecuali beberapa yang tidak misalnya lalat sirfid.

b. Perilaku makan predator

Berdasarkan mekanisme memakan:

- 1) Predator yang mempunyai alat mulut **penggigit pengunyah**, memakan dan menelan mangsanya. Contoh: kumbang kubah, kumbang karab, belalang sembah.
- 2) Predator yang mempunyai **alat pencucuk penghisap**, menusukkan stiletnya kedalam tubuh mangsa kemudian darahnya dihisap hingga habis. Predator ini sering

mempunyai racun yang kuat dan enzim pencernaan yang menyebabkan mangsanya lumpuh. Contoh: larva lalat jala, larva sirfid, dan kepik pentatomid

Berdasarkan kisaran inang:

- 1) Monofagus: suatu jenis predator yang sangat membatasi kisaran inangnya. Kadang-kadang terbatas pada satu jenis inang saja. Contoh: kumbang *Vedalia*.
- 2) Oligofagus: suatu jenis predator yang agak membatasi kisaran inangnya. Terbatas pada beberapa jenis inang. Contoh: kumbang kubah pemakan afid dan sirfid.
- 3) Polifagus: suatu jenis predator yang kisaran inangnya lebar. Kadang-kadang terbatas pada satu jenis inang saja. Contoh: Lalat jala hijau dan belalang sembah.

c. Ordo serangga yang termasuk predator

Semua ordo serangga termasuk predator terkecuali Anoplura, Isoptera, Protura, Embioptera, Zoraptera, Mallophaga, Homoptera dan Siphonaptera.

d. Araneae dan Acari predator

Penelitian yang dilakukan tentang efektivitas laba-laba sebagai predator masih sangatlah terbatas. Namun, telah banyak studi yang menunjukkan bahwa laba-laba tidak beradaptasi terhadap fluktuasi populasi suatu spesies hama. Laba-laba dinilai sebagai suatu stabilisator komunitas invertebrata oleh karena laba-laba berubah memangsa dari satu jenis mangsa ke jenis mangsa yang lain ketika jenis mangsa lain tersebut tersedia cukup banyak.

Perhatian paling banyak justru dicurahkan terhadap tungau fitoseiid sebagai predator tungau tetranisid. Tungau predator dapat hidup pada populasi mangsa yang sangat rendah karena ukurannya yang relatif kecil. Contoh dari tungau predator fitosiid adalah *Phytoseiulus persimilis* dan *Amblyseius fallacis*.

e. Aspek biologis serangga predator

1) Stadia hidup

- a. Telur; diletakkan oleh induknya secara berkelompok atau tunggal
- b. Nimfe atau larva; bagian-bagian tubuhnya dimodifikasi jika dibanding dengan serangga fitofagus. Posisi mulut menjadi datar atau horisontal dan untuk memudahkan menangkap mangsa kaki depan menjadi raptorial. Usus menjadi lebih panjang dan glandula saliva menghasilkan sekresi alkalin yang berfungsi untuk melumpuhkan mangsa pada saat memangsanya. Dalam beberapa kasus ditemui alat mulut nimfe atau larva predator ini berkembang menjadi alat yang efektif untuk menghisap darah mangsanya.
- c. Imago; kadang mempunyai jenis mangsa yang sama dengan stadia pradewasa, tetapi juga lain misalnya polen.

2) Hubungan predator dengan mangsa

- a. Daya cari; predator merespon tanda-tanda pengenal (*cues*) lingkungan untuk menuju ke mangsanya. Seleksi

habitat → penemuan mangsa → penerimaan mangsa
→ kesesuaian atau kecocokan mangsa.

- b. Kebanyakan predator imago memerlukan sejumlah minimum mangsa untuk menghasilkan telur dan meletakkan telurnya. Sejumlah minimum mangsa ini harus dimakan oleh stadia pradewasa predator untuk memenuhi kebutuhan energi dalam mempertahankan hidup, mencari mangsa, serta tumbuh dan berkembang. Banyaknya mangsa yang diperlukan suatu predator tergantung pada:
 - b.1. ukuran tubuh predator
 - b.2. lamanya mencari mangsa dan aktivitas lain
 - b.3. ukuran tubuh mangsa dan kualitas nutrisinya
 - c. Mudah tidaknya mangsa ditemukan oleh predator tergantung pada:
 - c.1. efisiensi mencari oleh predator
 - c.2. tingkat populasi mangsa
 - c.3. distribusi spasial mangsa
 - c.4. kesulitan atau hambatan yang dialami predator di dalam habitat mangsa
- 3) Tempat bertelur dan stadia predator
- a. Telur diletakkan di dekat mangsa: (1) hanya stadia pradewasa saja yang predator, contoh: Diptera (Syrphidae dan Cecidomyiidae), Hymenoptera (Sphecidae), (2) stadia pradewasa dan imago sebagai predator dengan tipe mangsa sama, contohnya: Neuroptera (Chrysopidae, Hemerobiidae,

- Coniopterygidae), Thysanoptera, Coleoptera (Coccinellidae pemangsa afid, Coccidulinae pemangsa koksid, Chilocorinae, Sticholotinae, Scymninae), dan (3) stadia pradewasa dan imago sebagai predator dengan tipe mangsa yang berbeda, contoh: Diptera (Anthomyiidae).
- b. Telur hanya diletakkan di lingkungan umum mangsanya: (1) hanya stadia pradewasa saja yang predator, contoh: Diptera (Culicidae, Tipulidae, Chironomidae, Tabanidae dan Bombyliidae; biasanya akuatik seperti Plecoptera, Trichoptera, beberapa Neuroptera (Corydalidae), (2) stadia pradewasa dan imago sebagai predator dengan tipe mangsa yang berbeda, contoh: Odonata, Diptera (Asilidae, Dolichopodidae).
- c. Telur diletakkan bebas tidak tergantung posisi mangsanya: (1) hanya stadia pradewasa saja yang predator, contoh: Meloidae, (2) stadia pradewasa dan imago sebagai predator dengan tipe mangsa yang sama, contoh: Orthoptera, Thysanura, beberapa Hemiptera, (3) stadia pradewasa dan imago sebagai predator dengan tipe mangsa yang berbeda, contoh: Mantispidae, Raphidoidea, (4) hanya stadia imago saja yang merupakan predator, contoh: Diptera, Mecoptera dan Hymenoptera (*host feeding*).

f. Impek predator

- 1) Pengendalian hayati klasik

Hanya sekitar 11% dari program pengendalian hayati menggunakan predator yang berhasil. Beberapa spesies hama telah dikendalikan oleh beberapa jenis predator. Jenis hama yang berhasil dikendalikan oleh predator adalah jenis hama yang relatif pasif (*sessile*), tidak berdiapause dan tidak bermigrasi seperti kutu perisai, telur wereng dan kutu dompolan. Atribut predator impor yang berhasil diantaranya adalah: multivoltin (tidak berdiapause), monofagus atau oligofagus, efisiensi daya carinya tinggi dengan umur imago yang panjang, dan sesuai dengan kondisi habitat mangsanya. Contoh: kumbang Vedalia (*Rodolia cardinalis* Mulsant) sebagai pengendali kutu jeruk *Icerya purchasi* Maskell, *Cryptognatha nodiceps* sebagai pengendali kutu perisai kelapa, dan kumbang kubah *Curinus coeruleus* Mulsant sebagai pengendali kutu loncat lamtoro *Heteropsylla cubana*. Beberapa alasan kegagalan introduksi predator meliputi iklim daerah pelepasan predator tidak mirip dengan daerah asli asalnya, kurangnya mangsa dan tidak adanya mikroorganisme simbiotik.

2) Predator asli dari agro-ekosistem

Pengaruh predator pada habitat pertanian sulit ditunjukkan, hal ini karena sulitnya mengisolasi pengaruh predator tersebut dari faktor-faktor pengendali alami lainnya dalam kondisi lapangan. DeBach menyatakan bahwasanya predator polifagus merupakan penyeimbang dalam kompleks musuh alami – hama. Namun demikian,

pengendalian alami sempurna tidaklah pernah dicapai. Predator *generalist* tersebut hanya menghambat laju peningkatan dari populasi banyak spesies hama. Dalam ekosistem kapas, predator ini (*Geocoris*, *Orius*, *Nabis*, dan *Chrysopa*) sering mencegah pertumbuhan pesat dari hama-hama seperti ulat grayak dan ulat jengkal.

3) Augmentasi Predator

Pakan tambahan disebarakan pada pertanaman guna menahan predator (*arrest*), atau guna predator tetap tinggal (*retain*), atau menarik predator guna meningkatkan penelurannya di lahan. Pakan tambahan ini dapat berupa *honeydew* buatan, merupakan campuran dari sukrose, yeast dan gula. Polen juga bisa disebarakan di lahan untuk augmentasi tungau predator. Upaya augmentasi lain dapat dilakukan dengan secara inundatif melepas predator, misalnya: *Cryptolaemus montrouzieri* (penghancur kutu dompolan), tungau predator *Phytoseiulus persimilis*.

2. Biologi Parsitoid

Parasitoid adalah serangga parasitik yang hidup pada atau di dalam tubuh suatu serangga (atau arthropoda lain) inang yang lebih memiliki ukuran lebih besar dan akhirnya akan membunuh inang tersebut.

a. Karakteristik parasitoid

- 1) Parasitoid biasanya menghancurkan inangnya selama masa perkembangannya.

- 2) Inang parasitoid umumnya termasuk dalam kelas taksonomi yang sama (serangga)
- 3) Parasitoid dewasa hidup secara bebas, sedangkan hanya stadia pradewasa yang parasitik.
- 4) Parasitoid tumbuh berkembang hanya di satu individu inang selama stadia pradewasa.
- 5) Dinamika populasi dari parasitoid mirip dengan serangga predator.

b. Tipe parasitoid

- 1) Dalam kaitannya dengan inang, ada (a) endoparasit (internal), yaitu parasitoid yang hidup di dalam tubuh inang dimana tubuh inang biasanya terbuka, (b) ectoparasit (eksternal), yaitu parasitoid yang menyerang inang dari luar tubuh inang dimana inang biasanya hidup di tempat-tempat terlindung seperti hama pengorok daun, penggulung daun dan di dalam kokon atau lainnya.
- 2) Dalam kaitannya dengan banyaknya parasitoid pradewasa per individu inang, ada (a) parasit soliter, yaitu satu individu parasitoid per satu individu inang, dan (b) parasit gregarius, yaitu banyak individu parasitoid per satu individu inang.
- 3) Dalam kaitannya dengan stadia inang, ada parasit (a) telur, (b) larva, (c) pupa, (d) imago dan (e) kombinasi, misalnya parasit telur-larva dan larva pupa.
- 4) Dalam kaitannya dengan spesies parasitoid lain, ada parasitoid (1) primer, yaitu parasitoid yang memarasit

hama, (2) sekunder (hiperparasitisme), yaitu parasitoid yang memarasit parasitoid primer, (3) tersier (hiperparasitisme), yaitu parasitoid yang memarasit parasitoid sekunder.

- 5) Dalam kaitannya dengan kompetisi antar parasitoid pradewasa, ada (1) superparasitisme, yaitu kompetisi intraspesifik, (2) multipel parasitisme, yaitu kompetisi interspesifik.

c. Tipe hiperparasitisme

- 1) Langsung, yaitu suatu parasitoid yang meletakkan telurnya langsung pada atau di dalam tubuh inang parasitik.
- 2) Tidak langsung, yaitu suatu parasitoid sekunder yang meletakkan telurnya di dalam tubuh inang non-parasitik dan tidak terparasit. Biasanya telur tidak akan berkembang sampai inang non parasitik ini diparasit oleh suatu parasitoid primer, yang kemudian sebagai inang parasitoid sekunder.
- 3) Fakultatif, yaitu parasitoid sekunder yang berkembang seperti suatu parasitoid primer di bawah kondisi yang sesuai.
- 4) Obligat, yaitu parasitoid sekunder yang hanya dapat berkembang di dalam parasitoid primer.
- 5) Autoparasitisme, yaitu parasitoid jantan yang berkembang sebagai hiperparasit (kadang-kadang terhadap parasitoid betina dari jenis yang sama) dan yang betina berkembang sebagai parasitoid primer.

- 6) Kleptoparasitisme, yaitu bukan hiperparasitisme yang sesungguhnya. Parasitoid ini memilih menyerang inang yang telah diparasit oleh jenis parasitoid lain, kemudian bersaing dengan parasitoid pertama untuk mendapatkan nutrisi di dalam inang tersebut. Kleptoparasitoid umumnya memenangkan kompetisi.

d. Tipe reproduksi di dalam Hymenoptera parasitik

- 1) Semua Hymenoptera menunjukkan gejala haploid partenogenesis. Telur yang tidak dibuahi akan berkembang secara partenogenetik menjadi keturunan jantan haploid yang normal dan semua telur yang dibuahi berkembang menjadi betina diploid.
- 2) Ada variasi pola dasar yang secara ekstrim menyebabkan perbedaan penting dalam cara reproduksi yang terbagi menjadi tiga tipe reproduksi :
 - a) **Arrhenotoky**, ini tipe dasar. Telur yang tidak dibuahi akan menghasilkan jantan dan yang dibuahi menghasilkan betina. Jenis yang demikian disebut “biparental”. Keturunan jantan atau betina dapat dihasilkan dengan mengontrol fertilisasi internal atau eksternal dalam beberapa jenis.
 - b) **Deuterotoky**, parasitoid betina yang tidak kawin menghasilkan keturunan jantan dan betina (paling banyak). Keturunan jantan secara biologis dan ekologis tidak berfungsi. Jenis tertentu disebut “uniparental”.

Keturunan diploid dapat dihasilkan dalam keturunan betina melalui berbagai macam mekanisme sitogenetik.

- c) **Thelytoky**, hanya keturunan betina yang dihasilkan, sedang yang jantan tidak diketahui. Kelompok ini juga disebut “uniparental”. Keturunan jantan dapat dihasilkan namun di bawah kondisi suhu yang sangat ekstrim.

BAB XI

KONSERVASI MUSUH ALAMI

- 1) Pekerjaan konservasi musuh alami paling baik dilakukan di habitatnya yang hanya kekurangan kebutuhan pokok tertentu sehingga dapat memanipulasikannya hingga habitat tersebut sesuai untuk perkembangan musuh alami.
- 2) Efektivitas musuh alami tergantung pada tingkat permanensi, stabilitas dan kenyamanan umum dari kondisi lingkungan.
- 3) Modifikasi lingkungan diarahkan untuk meningkatkan efektivitas musuh alami; dapat dilakukan dengan :
 - a. Konstruksi struktur buatan
 - b. Penyediaan pakan tambahan
 - c. Penyediaan inang alternatif
 - d. Perbaikan sinkronisasi musuh alami – hama
 - e. Pengendalian semut pemakan *honeydew*.
 - f. Mencegah praktek pertanian yang mengganggu kelestarian musuh alami.
- 4) Konstruksi struktur buatan. Maksud kegiatan ini adalah untuk menaikkan kepadatan serangga predator, burung dan vertebrata pemakan serangga. Contohnya adalah penggunaan sarang pelindung untuk melindungi tabuhan *Polistes* di sekitar area ladang tembakau di Carolina utara dalam hal pengendalian hama ulat tembakau berekor, *Manduca Sexta*.
- 5) Penyediaan pakan tambahan. Musuh alami dari imago sering membutuhkan nektar dan polen sebagai sumber pakan dan air. Di alam berbagai tumbuhan menyediakan nektar dan polen yang dibutuhkan tersebut. Tetapi, di dalam agroekosistem, berbagai

tumbuhan tersebut merupakan gulma yang sering dibersihkan dari lahan pertanian. Sistem penanaman tumpang sari dapat menyediakan pakan tambahan tersebut. Predator koksinelid seperti *Hippodamia* akan pindah ke polen ketika populasi afis sangatlah rendah. Namun sayangnya predator tersebut tidak akan dapat menghasilkan telur jika hanya memakan polen. Studi tentang penyediaan pakan tambahan telah dilakukan oleh Hagen dari UC Berkeley dengan cara menyemprotkan larutan gula atau madu dan *yeast hydrolysate* pada tanaman.

- 6) Penyediaan inang alternatif. Pada dasarnya inang alternatif, meningkatkan sinkronisasi antara inang utama dengan parasit non-spesifik dan predator melalui beberapa mekanisme berikut: (a) meredam gejala kepadatan populasi hama dan musuh alaminya, (b) menjaga fungsi populasi musuh alami selama periode kelangkaan inang utama (hama), (c) mengurangi penekanan populasi inang utama, (d) memfasilitasi distribusi musuh alami, dan (e) mengurangi kanibalisme. Penyediaan inang alternatif ini dengan tanaman tumpang sari.
- 7) Perbaiki sinkronisasi musuh alami – hama. Efektivitas musuh alami dapat berkurang atau hilang karena sebagian atau seluruh musuh alami jauh dari inangnya secara temporal atau spasial. Infestasi hama secara buatan pada tanaman pernah dilakukan untuk augmentasi musuh alaminya, agar musuh alami dapat meningkat populasinya sebelum populasi hama tersebut berkembang mendekati ambang pengendalian.
- 8) Pengendalian semut pemakan *honeydew*. Semut sering melindungi serangga penghasil *honeydew* seperti afis, kutu dompolan dan kutu

perisai dari serangan musuh alaminya. Pengendalian semut dengan insektisida sering dapat meningkatkan efektivitas pengendalian hayati.

- 9) Mencegah praktek pertanian yang mengganggu kelestarian musuh alami.
 - a. Pengolahan tanah sering mematikan musuh alami yang berlingung atau berpupa di dalam tanah. Penumpukan debu pada permukaan daun sering dapat mengganggu musuh alami dalam mencari inangnya. Sedikit saja debu akan dapat membunuh parasitoid seperti misalnya *Aphytis* spp.
 - b. Lahan yang bersih dari gulma, miskin sumber pakan alternatif baik nektar, polen maupun inang alternatif. Pembakaran sisa-sisa tanaman seperti misalnya jerami padi dapat membunuh musuh alami yang berada pada jerami tersebut.
 - c. Panen serentak juga dapat menghambat perkembangan musuh alami di lahan, oleh karena itu tanaman tumpang sari sangat baik untuk tetap mempertahankan penyediaan pakan yang diperlukan oleh musuh alami.
 - d. Aplikasi pestisida kimiawi dapat mengganggu keseimbangan populasi hama dan musuh alaminya. Umumnya populasi hama justru akan lebih tinggi secara signifikan pada areal yang diberikan pestisida dibandingkan yang tidak. Hama akan menjadi resisten, terjadi resurgensi dan atau meletusnya populasi hama sekunder. Jika terpaksa harus menggunakan pestisida, maka penggunaannya haruslah dengan bijaksana, yaitu tepat waktu, dosis, cara dan jenis pestisida. Pilihlah

pestisida yang dapat membunuh hama tetapi tidak membunuh musuh alami.

BAB XII

Augmentasi Musuh Alami

Augmentasi dapat dilakukan dengan mengkolonisasikan musuh alami secara periodik dan mengembang-biakan strain musuh alami yang telah beradaptasi.

1. Prosedur kolonisasi periodik. Terdapat dua tipe prosedur kolonisasi yang ditujukan untuk pengendalian hama secara hayati.
 - a. Pelepasan musuh alami secara inundatif. Yakni proses pengendalian hama sasaran yang utamanya dilakukan oleh musuh alami yang dilepaskan, bukan keturunannya. Tipe pengendalian ini mirip dengan pengendalian kimiawi sepanjang kematian hama sasaran terjadi dengan segera dan tidak ada lagi interaksi lebih lanjut antara hama dan musuh alaminya. Agens pengendalian hayati yang diaplikasikan secara inundatif ini disebut sebagai “insektisida hayati”. Metode ini paling baik diterapkan jika (1) hama menyerang tanaman bernilai ekonomi sangat tinggi dengan tingkat serangan yang rendah, (2) jenis hama sasaran univoltine, (3) biaya terjangkau terutama untuk pelepasan musuh alami berulang kali.
 - b. Pelepasan musuh alami secara inokulatif. Yakni proses pengendalian hama sasaran yang utamanya dilakukan oleh keturunannya, biasanya lebih dari satu generasi. Jangka waktu pengendalian dengan pelepasan inokulatif akan memakan waktu lebih lama daripada inundatif.
 - c. Contoh augmentasi ialah pelepasan *Trichogramma* spp. Parasitoid telur ini paling banyak pengaplikasiannya di

berbagai negara. Di USSR, *Trichogramma* spp. digunakan untuk pengendalian hama seluas 8 juta ha, di RRC 2 juta ha dan di Amerika Serikat 200 ha. Sebuah industri komersial dilaporkan telah memproduksi parasitoid ini sebanyak 50 sampai 100 juta ekor per hari. Parasitoid ini dapat digunakan untuk mengendalikan hama ulat pada tanaman kapas, jagung, apel, advokat, tebu, kedelai dan lainnya. Belum pernah ada yang melaporkan bahwa pelepasan *Trichogramma* spp. melulu dapat menghasilkan hasil pengendalian sebaik dengan penggunaan insektisida. Biaya parasitoid berkisar sebesar \$ 0,12 per 1000 ekor. Pada kapas, parasitoid ini diperlukan sebanyak sekitar 957.000 ekor per ha untuk mengurangi populasi dari ulat *Helicoverpa* spp.

2. Pengembang-biakan strain musuh alami yang telah beradaptasi. Sampai saat ini baru ada tiga contoh augmentasi dengan metode ini, dan masih dalam taraf kajian.
 - a. Seleksi *Aphytis linganensis* untuk kondisi suhu yang lebih ekstrim guna pengendalian kutu merah California pada berbagai tipe iklim di Central Valley, California.
 - b. Seleksi tungau predator, *Metaseiulus occidentalis* yang tahan terhadap pestisida.
 - c. Seleksi lalat jala hijau, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) yang tahan terhadap karbaril.

BAB XIII

PERANAN PENGENDALIAN HAYATI

Diperkenalkannya DDT dan insektisida organoklorin lainnya pada pertengahan tahun 1940 yang disusul kemudian oleh organofosfat dan karbamat telah membuat manusia sangat tergantung pada pestisida kimia untuk produksi tanaman pertanian. Selama lebih dari dua dekade pestisida sintetik seolah-olah telah menjadi semacam senyawa kimia ajaib yang menyelamatkan berjuta-juta umat manusia dari bencana kelaparan, penyakit, dan lain-lain. Namun, keajaiban tersebut digugat dengan terbitnya publikasi Rachel Carson berjudul **Silent Spring** pada tahun 1962. Rachel Carson telah menggugah kesadaran masyarakat terhadap berbagai pengaruh buruk dari penggunaan pestisida sintetik terhadap ekosistem.

Kenyataan bahwa pestisida menjadi sesuatu yang penting di dalam pengendalian hama dan di sisi lain telah menimbulkan pengaruh yang negatif terhadap kesehatan ekosistem menjadi dilema bagi semua pihak. Namun, keadaan tersebut tidak boleh dibiarkan berlarut-larut tanpa ada jalan keluar. Pada tahun 1970-an mulailah dikembangkan suatu pendekatan **pengendalian hama berbasis ekologi** yang dikenal dengan nama **Pengendalian Hama Terpadu (PHT)**. Sasaran utama PHT adalah mengurangi kerugian karena serangan hama secara lebih efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Jadi, sasarannya bukan hanya sekedar membunuh hama demi menyelamatkan kepentingan ekonomi tanpa memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkannya.

Oleh karena itu, sangatlah tepat jika PHT didefinisikan sebagai **suatu pendekatan berkelanjutan dalam mengelola hama dengan mengkombinasikan taktik pengendalian hayati, budi daya, fisika, dan kimia guna meminimalkan risiko ekonomi, kesehatan, dan lingkungan (Anonymous, 1994)**. Pengendalian hama terpadu bukan hanya ditujukan bagi perlindungan tanaman pertanian, tetapi meliputi pula berbagai masalah hama yang berkaitan dengan peternakan, perkotaan, dan kesehatan.

Filosofi dasar PHT adalah tidak semua serangga pada tanaman pertanian itu hama yang harus dibunuh dengan insektisida, dan bahkan jika benar bahwa serangga tersebut adalah hama maka tidak perlu dihilangkan seluruhnya. Hal yang perlu dilakukan adalah mengelola jumlah hama hingga di bawah tingkat yang akan merugikan secara ekonomi. Pengguna PHT mungkin akan memproduksi lebih sedikit daripada mereka yang memakai pestisida, tetapi balasan yang akan diterima jauh lebih besar. Para pekerja dan orang-orang lain di sekitarnya akan lebih aman jika teknik PHT digunakan, kecuali itu lingkungan menjadi lebih sehat dan produksi akan lebih berkelanjutan karena hama tidak lagi mengembangkan ketahanan terhadap pestisida baru.

Jelaslah bahwa pengendalian hama terpadu merupakan metode pengendalian populasi hama yang secara sosial dapat diterima, secara lingkungan bertanggung jawab, dan secara ekonomimurah. Dengan pendekatan berbagai taktik pengendalian, PHT diharapkan akan memperkecil:

1. potensi munculnya resistensi hama terhadap pestisida,
2. biaya untuk pestisida,

3. pemaparan pestisida terhadap manusia, dan
4. dampak lingkungan akibat dari kegiatan pengelolaan hama.

Suatu program pengelolaan hama terpadu dapat saja menggunakan musuh alami, varietas tanaman tahan hama, pergiliran tanaman, sanitasi, dan lain-lain untuk menekan populasi hama di bawah tingkat kerusakan ekonomi (*economic threshold*). Penggunaan pestisida biasanya dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan dan berbagai alternatif lain. Program PHT tergantung pada identifikasi dan pemahaman mengenai biologi hama yang menjadi penyebab masalah, serta hubungannya dengan inang dan lingkungannya. Status hama biasanya ditentukan melalui pengambilan sampel hama dan pengukuran tingkat kerusakan yang ditimbulkannya.

Para praktisi PHT sangat menyadari bahwa upaya untuk menghilangkan seluruh hama adalah sesuatu yang tidak mungkin atau secara ekonomi tidak layak. Oleh karena itu, populasi hama harus dikelola di bawah tingkat kerusakan ekonomi. Mereka pun memahami betapa pentingnya peranan pengendalian alami dalam mengatur populasi makhluk hidup di alam. Dalam cakupan PHT, faktor-faktor yang menjadi penyebab kematian hama secara alami merupakan suatu kebutuhan dan menjadi suatu dambaan. Jika intervensi manusia memang dibutuhkan maka yang pertama kali diprioritaskan adalah praktik-praktik yang paling aman, seperti penggunaan tanaman tahan hama, pengendalian hayati, dan pengendalian melalui teknik budi daya. Ketiga hal tersebut merupakan praktik-praktik yang paling sesuai dengan pertanian berkelanjutan karena tidak mengganggu keberadaan

faktor- faktor yang berperan di dalam pengendalian alami serangga. Praktik-praktik yang diperkirakan akan sangat mengganggu atau merusak lingkungan hanya digunakan sebagai upaya terakhir. Pestisida kimia hanya digunakan jika perlu dan harus didasarkan pada pemantauan populasi hama yang dilakukan secara rutin dan sering. Pemantauan terhadap populasi musuh alami juga harus dilakukan untuk menentukan dampaknya terhadap populasi hama. Jika pestisida terpaksa digunakan hendaknya digunakan yang tidak membahayakan musuh-musuh alami.

Pengelolaan hama terpadu merupakan suatu praktik yang dinamis dan selalu berkembang. Strategi pengelolaan hama akan bervariasi sesuai dengan jenis tanaman, lokasi, waktu, dan didasarkan pada perubahan populasi hama serta pengendalian alaminya. Para pengelola hama modern akan menjadi sangat efektif jika mereka memiliki pengetahuan tentang hama yang dihadapi, musuh-musuh alami yang ada, dan mengetahui semua pilihan pengendalian hama yang ada.

BAB XIV

POTENSI (*Beauveria bassiana*) SEBAGAI AGENS HAYATI

Jamur entomopatogen (*B. bassiana*) yang kisaran inangnya sangat luas sudah banyak dimanfaatkan dalam pengendalian serangga hama (Saito dan Sugiyama, 2005; Reddy *et al.*, 2008). Jamur *Sordariomycetes* ini mempunyai potensi besar sebagai agens pengendalian hama secara biologi dan sebagai komponen penting dalam sistem pengendalian hama secara terpadu.

Jamur ini sudah dikembangkan di seluruh dunia untuk pengendalian berbagai serangga hama penting pertanian (Thungrabeab dan Tongma, 2007; El-Husseini *et al.*, 2008; Shahid *et al.*, 2012). Selain itu, Jamur (*B. bassiana*) juga merupakan satu-satunya jamur *entomopatogen* yang paling prospektif sehingga diteliti secara mendalam kemampuannya sebagai agens biologi untuk mengendalikan hama penyebab kerugian secara ekonomi (Coates *et al.*, 2002; Mcgurire *et al.*, 2005; Kaur dan Padmaja, 2008). Di Indonesia, potensi (*B. bassiana*) ini juga diujikan pada beberapa serangga hama, seperti pada *Plutella xylostella* pada tanaman sawi hijau (Nunilahwati *et al.*, 2012), *Aphis gossypii* pada tanaman cabe (Herlinda, 2010), *Ostrinia furnacalis* pada jagung (Yasin *et al.*, 1999), *Ostrinia nubilalis* pada palawija (Safavi *et al.*, 2010), kepik hijau pada kacang-kacangan (Indriyati, 2009), dan *Halicoverpa armigera* pada jagung (Daud, 2008).

Jamur (*Beauveria bassiana*) membunuh hama melalui infeksi sebagai akibat dari serangga yang kontak dengan spora jamur.

Serangga mendapatkan kontak dengan spora jamur melalui beberapa cara, diantaranya:

- semprotan jamur yang melekat pada tubuh serangga,
- serangga bergerak atau hinggap pada permukaan tanaman yang sudah terinfeksi jamur,
- serangga memakan jaringan tanaman yang telah diperlakukan dengan jamur (hal terakhir ini bukanlah metode utama penyerapan).

Setelah spora jamur melekat pada kulit dari serangga (kutikula), mereka akan berkecambah membentuk struktur (hifa) yang menembus tubuh serangga dan selanjutnya berkembang biak. Ini mungkin akan memakan waktu 3 sampai 5 hari sampai serangga mati, tapi tubuh serangga yang telat mati terinfeksi dapat berfungsi sebagai sumber spora untuk penyebaran sekunder jamur. Serangga juga dapat menyebarkan jamur melalui perkawinan. Kelembaban tinggi dan air bebas meningkatkan aktivitas dari konidia dan proses infeksi serangga. Spora jamur mudah mati oleh radiasi matahari dan dapat menginfeksi dengan optimal pada suhu dingin hingga suhu moderat.

Penelitian Rosfiansyah dan Sopialena (2017) memberikan hasil sebagai berikut, bahwa pengambilan data dilapangan di mulai saat tanaman berumur 49 hari setelah tanam, dimana tanaman pada fase ini sangat rentan terhadap serangan hama yang menyerang tanaman padi. Beberapa hama yang menyerang pada fase ini antara lain yaitu:

Hama Putih Palsu (*Chanaphalocrosis medinalis*)

Hama Putih Palsu (*Chanaphalocrosis medinalis*) adalah hama yang menyerang pada fase Vegetatif, biasanya serangan larva hama putih palsu terlihat dengan adanya warna putih pada daun di pertanaman Larva yang memakan jaringan hijau daun dari dalam lipatan daun dan meninggalkan permukaan bawah daun yang berwarna putih. Kehadiran hama ini biasanya ditandai dengan adanya ngengat berbentuk segitiga berwarna putih dengan corak hitam di sawah.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tanaman padi varietas Mekongga yang diuji menggunakan Jamur (*B. bassiana*) memberikan hasil berbeda sangat nyata. Populasi hama putih palsu (*Chanaphalocrosis medinalis*) pada pengamatan (49 hst, 56 hst 63 hst dan 70 hst) menunjukkan bahwa *Beuveria basiana* mampu menekan perkembangan populasi dari hama putih palsu (*Chanaphalocrosis medinalis*). Hasil pada perlakuan B0 (kontrol) menunjukkan tingkat serangan yang tinggi hal ini disebabkan karena pada B0 tidak ada pengaplikasian Jamur (*B. basiana*).

Selanjutnya terhadap hama Ulat Grayak (*Spodoptera litura*) yaitu hama yang menyerang daun dari tanaman padi mulai dari pembibitan, sampai fase pengisian. Kerusakan terjadi karena larva makan bagian atas tanaman pada malam hari dan cuaca yang berawan (mendung). Daun dimakan mulai dari tepi daun sampai hanya meninggalkan tulang daun dan batangnya. Ngengat dewasa aktif pada malam hari. Dan pada malam hari serangga dewasa makan, sedangkan pada siang hari ngengat beristirahat di dasar tanaman, ngengat berbentuk segitiga berwarna coklat.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tanaman padi varietas Mekongga yang diuji menggunakan kombinasi Jamur (*B. bassiana*) menyatakan hasil yang berbeda sangat nyata. Hasil pengamatan rata-rata intensitas serangan hama utama umur tanaman 63 hst, dan 70 hst menunjukkan hasil yang berbeda sangat nyata hal ini disebabkan aplikasi menggunakan Jamur (*B. bassiana*) memberikan pengaruh menekan terhadap serangan ulat grayak.

Walang Sangit (*Leptocorixa acuta*) merupakan hama penting pada tanaman padi, yang sangat disukai oleh walang sangit (*Leptocorixa acuta*) yaitu pada fase generatif awal, karena pada fase ini bulir tanaman masih berupa cairan seperti susu yang dengan mudah dapat dihisap oleh stylet (alat mulut) walang sangit yang bertipe penusuk dan penghisap. Kerusakan yang ditimbulkan walang sangit (*Leptocorixa acuta*) menyebabkan beras berubah warna, mengapur serta hampa. Hal ini terjadi karena walang sangit menghisap cairan dari dalam bulir padi. Fase tanaman padi yang rentan terserang hama walang sangit (*Leptocorixa acuta*) adalah saat tanaman padi mulai keluar malai sampai fase masak susu.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tanaman padi varietas Mekongga yang diuji menggunakan kombinasi jamur (*B. bassiana*) menyatakan bahwa intensitas serangan tertinggi terdapat pada perlakuan B0 (kontrol) sedangkan intensitas serangan terendah terdapat pada perlakuan dosis 15 mg/l dan 20 mg/liter. Hasil yang sama terjadi terhadap penggerek batang (*Tryporiza* sp.) yaitu hama yang menimbulkan kerusakan dan menurunkan hasil panen secara nyata. Serangan hama ini terjadi pada fase vegetatif, daun tengah atau pucuk tanaman mati karena titik tumbuh dimakan larva penggerek

batang. Pucuk tanaman padi yang mati akan berubah warna menjadi coklat dan akan menjadi mudah dicabut (gejala ini biasa disebut Sundep). Larva penggerek batang akan memakan pangkal batang tanaman padi tempat malai berada apabila serangan terjadi pada fase generatif. Malai akan mati, berubah warna menjadi abu-abu dan bulirnya akan menjadi kosong/hampa. Malai menjadi mudah dicabut dan pada pangkal batangnya akan ditemukan bekas gerakan larva penggerek batang (gejala ini biasa disebut Beluk).

BAB XV

POTENSI JAMUR *Trichoderma* sp. SEBAGAI AGENSIA HAYATI

Penggunaan fungisida kimiawi untuk memberantas cendawan ternyata banyak menimbulkan dampak negatif, seperti mencemari lingkungan, serta membunuh organisme bukan sasaran (*non target organism*). Karena adanya dampak negatif penggunaan fungisida tersebut, maka perlunya dilakukan pengendalian penyakit tanaman secara hayati, yaitu dengan memanfaatkan musuh-musuh alami seperti cendawan yang bersifat antagonis (Papavizas, 1985).

Jamur *Trichoderma* sp. termasuk subdivisi : Deuteromycotina; Kelas : Deuteromycetes; Ordo : Moniliales; Famili : Moniliaceae. Koloninya berwarna putih kuning, hijau muda atau hijau tua. Hifa sterilnya tumbuh menjalar dan bersekat (berseptata), konidiofor banyak bercabang-cabang tetapi tidak secara melingkar. Cabang konidiofor pendek dan letaknya berlawanan, segmen puncaknya membentuk kelompok-kelompok konidia. Konidia kecil berbentuk oval, bulat, elips, berwarna terang dan berwarna hijau gelap jika kondisinya berjumlah banyak. Pada umumnya bersifat saprofit dalam tanah dan banyak jenisnya yang mempunyai daya antagonis terhadap jamur-jamur parasit (Semangun, 2001).

Habitat *Trichoderma* sp. pada dasarnya sama dengan jamur-jamur tanah lainnya yang bersifat saprofit, spesies-spesies *Trichoderma* menggunakan berbagai macam senyawa sebagai sumber karbon dan nitrogen. Kebutuhan karbon dan energi dari jamur ini dapat dipenuhi oleh monosakarida dan disakarida.

Pengaruh CO₂ terhadap pertumbuhan *Trichoderma* dalam tanah bervariasi tergantung pada konsentrasi CO₂ dan pH media. Pertumbuhan akan semakin cepat pada konsentrasi CO₂ yang tinggi dan pH yang asam, namun dapat pula dipengaruhi oleh kisaran suhu yang berbeda-beda (Papavizas, 1985).

Trichoderma sp. pada umumnya memiliki karakter pertumbuhan koloni dengan suhu standar ideal 20⁰C, kecepatan perkembangan mencapai 9 cm setiap 5 hari, ukuran konidiofornya 5-7 x 3,0-3,5 cm. Konidia dari jamur ini memiliki ukuran 28-3,2 x 2,5-2,8 um. Habitat dalam tanah memiliki suhu minimal antara 15°C-30°C dan suhu maksimal adalah 30°C-36°C. Pada umumnya jamur ini berkelompok dan membentuk suatu koloni yang saling berdekatan. Apabila dibiakan dalam petridis akan terlihat bentuk lingkaran berwarna hijau kekuning-kuningan.

Pertumbuhan jamur-jamur tanah yang bersifat saprofit, seperti *Trichoderma* sp. dapat menggunakan berbagai macam senyawa sebagai sumber nitrogen. Kebutuhan karbon dan energi dari cendawan ini dapat dipenuhi oleh monosakarida, disakarida, polisakarida kompleks, purin, pirimidin dan asam amino, tanin dan ketotanin padat, aldehyd dan asam-asam terutama sekali asam lemak berantai panjang bahkan metanol, metalamina dan asam format (Papavizas, 1985).

Menurut Papavizas (1985), *Trichoderma* sp. menghasilkan sejumlah enzim pektinase, silanase, dan kitinase selulase yang dapat merusak dinding sel patogen. Beberapa manfaat *Trichoderma* sp. adalah menghasilkan toksin Trichodermin, toksin ini dihasilkan oleh jamur bila berada atau hidup pada tanaman atau bahan organik dan produk-produk yang tersimpan dalam gudang.

Kemampuan *Trichoderma* sp. bertindak sebagai mikoparasit pada hifa dan tubuh-tubuh istirahat dari patogen-patogen telah terbukti, baik dalam media biakan maupun tanah alami. Kemampuan *Trichoderma* sp. untuk menghasilkan substrat-substrat organik yang bersifat fungistatis/fungitoksik dalam tanah menunjukkan pentingnya populasi jamur *Trichoderma* sp. dalam mengendalikan secara biologi (Papavizas, 1985).

Jamur *Trichoderma* sp. merupakan agen hayati yang telah banyak diteliti oleh para ahli tentang kemampuannya untuk mengendalikan jamur dan bakteri perusak tanaman. Produk komersial yang mengandung spora jamur ini bisa dijumpai di pasaran. Spesies yang banyak dibicarakan adalah *T. viride*, *T. hamatum*, dan *T. barsianum*. Jamur ini merupakan jamur saprofit yang hidup ditanah dan mudah diproduksi massal dengan media buatan. Jamur *Trichoderma* sp. dapat menjadi hiperparasit pada beberapa spesies jamur penyebab penyakit tanaman, pertumbuhannya sangat cepat, dan tidak menjadi penyakit untuk tanaman tingkat tinggi. *Trichoderma* sp. secara alami merupakan parasit yang banyak menyerang jenis jamur perusak tanaman (spektrum pengendalian luas) dan merupakan jamur yang terlibat dalam kompetisi alami sesama jamur. Benang-benang hifa dari jamur patogenik akan terpotong-potong karena terlilit oleh hifa *Trichoderma* sp. dan akhirnya mengeluarkan antibiotik yang dapat mematikan jamur patogenik (Novizan, 2002).

Jamur *Trichoderma* sp. dapat digunakan sebagai agensia hayati. Beberapa hal penting yang menunjang kemampuan *Trichoderma* sp. menjadi agensia pengendali hayati adalah karena jamur tersebut dapat tumbuh pada berbagai tempat dan substrat. Kisaran parasitismenya

terhadap patogen tumbuhan sangat luas, jarang sekali bersifat patogenik pada tumbuhan tingkat tinggi untuk kompetisi dalam makanan dan tempat. Umumnya jamur ini menghasilkan antibiotik serta memiliki sistem kerja yang memungkinkan kerusakan pada berbagai unsur patogenik (Baker dan Cook, 1974).

Serangkaian penelitian telah banyak dilakukan untuk mengetahui potensi antagonis isolat *Trichoderma* sp. terhadap intensitas serangan patogen tanaman. Beberapa hasil penelitian tentang pemanfaatan *Trichoderma* sp. sebagai pengendali hayati yang telah terbukti adalah *T. harzianum* dan *T. aureovirade* sebagai pengendali hayati penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus lignosus*) pada tanaman karet (*Havea brasiliensis* Muell arg). Hasil penelitian membuktikan bahwa pemberian dosis sebanyak 125 g per pohon *Trichoderma* sp. dalam bentuk sediaan (tepung jagung dan biakan murni), dapat menekan pertumbuhan dan perkembangan jamur akar putih dan pada tanaman karet.

Hasil penelitian lainnya juga membuktikan bahwa perlakuan jamur *Trichoderma* sp. mampu melindungi tanaman dari serangan *F. oxysporum* f. *cubense* penyebab penyakit panama dalam jangka waktu tertentu. Dosis *Trichoderma* sp. 150 g per polybag merupakan perlakuan yang terbaik mampu menekan pertumbuhan jamur *F.oxysporum* f. *cubense* paling lama setelah 48 hari baru terjadi gejala penyakit.

Dalam penelitian Sopialena dan Rosfiansyah (2014) mengenai pengendalian penyakit pada tanaman tomat dengan menggunakan *Trichoderma* sp. penggunaan jamur antagonis *Trichoderma* sp. dalam pengendalian penyakit tanaman dapat meningkatkan produktifitas

tanaman tomat merupakan salah satu paket teknologi budidaya tanaman sehat yang tepat sesuai dengan prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang dampak negatifnya kecil terhadap lingkungan.

Beberapa jamur antagonis telah digunakan dalam mengendalikan berbagai patogen penyebab busuk buah pada paprika, tomat, kentang, apel, jeruk dan anggur. Penyemprotan dengan *Trichoderma* sp. pada bunga dan buah muda di lapangan dapat menurunkan serangan patogen penyebab penyakit busuk *Botrytis* pada strawberry dan buah anggur sebelum panen dan pasca panen (Agrios, 1995). Berbagai penelitian di Indonesia telah dilakukan untuk *Trichoderma* dan *Gliocladium* dalam mengendalikan penyakit layu fusarium pada tanaman cabai dan tomat, penyakit akar putih pada karet, penyakit busuk batang pada kelapa sawit dan berbagai penyakit tular udara lainnya. Selain itu juga, pengendalian secara fisik yaitu dengan solarisasi tanah menggunakan plastik transparan. Kombinasi antara *Trichoderma* dan solarisasi terbukti efektif untuk mengendalikan penyakit busuk pucuk (disebabkan oleh *Fusarium*) dan busuk akar pada tanaman tomat, serta mampu meningkatkan hasil panen secara nyata.

Dalam perkembangannya, banyak varietas tomat yang mudah terserang penyakit busuk pangkal batang, busuk daun, dan gangguan layu fusarium yang disebabkan oleh jamur *F. oxysporum*. Penyakit-penyakit tersebut merupakan komponen yang dapat menurunkan produksi buah tomat. Di Indonesia berbagai varietas F1 tomat yang dipasarkan pada petani, akan tetapi berbagai varietas tersebut sifat ketahanannya terhadap layu fusarium belum banyak diketahui.

Perlakuan P_4 berbeda nyata terhadap semua perlakuan ini disebabkan karena perkembangan dari jamur *Trichoderma* sp. yang baik akan menghasilkan kemampuan antagonis terhadap *F. oxysporum* dengan baik. *Trichoderma* sp. merupakan agen biokontrol yang potensial terhadap patogen karena antibiotic, khususnya Trichodermin. *Trichoderma* sp. merupakan kelompok agen biokontrol yang dapat menghambat pertumbuhan beberapa jamur dan bakteri patogen. Selain itu jamur ini juga memiliki kemampuan untuk memarasit hifa patogen tersebut (Jeffries dan Young, 1994).

Pada perlakuan varietas V_3 berbeda tidak nyata terhadap V_1 dan V_2 , tetapi V_1 berbeda nyata terhadap V_2 . Intensitas serangan tertinggi yaitu pada perlakuan varietas V_1 (Lentana) yaitu sebesar 28.53. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan faktor genetic pada tiap varietas. Sesuai dengan pendapat yang menyatakan bahwa varietas tanaman mencapai batas pertumbuhan tertinggi sesuai dengan sifat genetiknya (Anonim, 1978). Ditambahkan oleh Sunarjono (1977, bahwa tanaman tomat pada beberapa varietas ada yang dapat tumbuh secara *intermedate* yakni dapat tumbuh meninggi sampai lebih dari 1 m dan ada yang tumbuh *determinate* yakni tumbuh pendek dari 40 cm.

Terdapat interaksi yang sangat nyata antara perlakuan aplikasi *Trichoderma* sp. dengan varietas. Perlakuan P_0V_1 (Kontrol dan Lentana) menghasilkan intensitas serangan tertinggi yaitu 32.32, sedangkan terendah pada perlakuan P_4V_2 (40g *Trichoderma* sp. dan Permata) yaitu 24.46. Hal ini dikarenakan pada perlakuan kontrol tidak ada aplikasi *Trichoderma* sp. sehingga intensitas serangan menjadi tinggi. Sedangkan pada perlakuan P_4 diberikan jamur antagonis *Trichoderma* sp. sehingga intensitas serangan dapat ditekan.

Pada perlakuan P_0 berbeda nyata terhadap semua perlakuan, hal ini dikarenakan pada perlakuan P_0 tidak ada senyawa anti jamur yang dapat menghambat perkembangan jamur penyebab penyakit layu *F. oxysporum*, sehingga jamur tersebut dapat dengan mudah menyerang dan menimbulkan serangan yang hebat karena diproduksinya racun oleh jamur ini sehingga mengganggu metabolisme tanaman (Agrios, 1995). Hal ini juga disebabkan karena pada perlakuan P_1 , P_2 , P_3 , P_4 diberikan *Trichoderma* sp. baik pada tanah. Tanaman dengan perlakuan *Trichoderma* sp. cenderung lebih tahan terhadap serangan penyebab penyakit, karena *Trichoderma* sp. mempunyai kemampuan mengendalikan jamur penyebab penyakit tanaman melalui mekanisme mikoparasitiknya. Selain itu *Trichoderma* sp. dapat menghasilkan toksin Trichodermin bila berada atau hidup pada produk-produk tanaman yang disimpan (Deacon, 1997).

Menurut Semangun (1991) *Trichoderma* sp. merupakan jamur antagonis yang dapat menekan perkembangan penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh jamur *F. oxysporum*. Oleh karena itu perkembangan jamur antagonis *Trichoderma* sp. dapat mengurangi intensitas serangan penyakit layu fusarium, sehingga pertumbuhan tanaman akan menjadi lebih baik dan sehat, serta produksi akan meningkat.

Efektifitas jamur *Trichoderma* sp. akan nampak bila bahan makanannya mencukupi sehingga dapat menekan perkembangannya fusarium untuk hidupnya. Jamur *Trichoderma* sp. memerlukan bahan makanan yang cukup tinggi, sedangkan waktu sebelum tanam jamur antagonis *Trichoderma* dapat berkembang dengan baik saat tanaman

melakukan pertumbuhannya, sehingga dapat menekan perkembangan jamur fusarium penyebab penyakit layu fusarium.

Perlakuan P_0 berbeda nyata terhadap semua perlakuan, hal ini dikarenakan pada perlakuan P_0 tidak ada perlakuan aplikasi *Trichoderma* sp. Tingginya intensitas serangan pada perlakuan P_0 disebabkan karena perlakuan ini tanpa pemberian jamur *Trichoderma* sp. sehingga *F. oxysporum* dapat tumbuh dengan leluasa. Kondisi lingkungan tanam yang lembab dan dengan adanya penyiraman setiap hari juga semakin mendukung pertumbuhan dalam menginfeksi tanaman. *F. oxysporum* mampu memproduksi toksin yang dapat menyerang yang menyebabkan pengangkutan air dan unsur hara tanah terganggu sehingga tanaman menjadi layu dan tidak mampu bertahan karena sifat hidup tanaman tomat yang tidak menyukai kondisi yang terlalu kering, sehingga kondisi tanaman lebih mudah terinfeksi dan cepat menunjukkan gejala serangan. Pada tanaman yang masih sangat muda, penyakit dapat menyebabkan matinya tanaman secara mendadak karena pada tangkai batang terjadi kerusakan atau kanker menggelang (Semangun, 2001).

Jamur *F. oxysporum* yang telah lama berada dalam media tanam, tumbuh pesat oleh adanya kemampuan tumbuh pada suhu tanah yang cukup tinggi. Sehingga jamur ini dapat bertahan lama dalam tanah membentuk kladiospora. Menurut Semangun (2001), bahwa jamur *F. oxysporum* juga dapat memakai bermacam-macam luka untuk jalannya dalam menginfeksi tanaman misalnya luka karena pemindahan bibit, karena pembubunan, pemangkasan atau luka karena serangga. Jamur juga dapat menginfeksi buah, sehingga

terdapat kemungkinan jamur terbawa oleh biji. Jamur tersebar karena pengangkutan bibit dan oleh alat-alat pertanian.

Pada umumnya penyakit dapat meluas dengan cepat pada tanah yang bertekstur ringan atau lempung berpasir. Serta perlakuan penyiraman tiap hari menyebabkan media tanam menjadi lembab yang semakin mendukung pertumbuhan *F. oxysporum* dalam menginfeksi tanaman. Selain itu juga karena kurangnya didalam frekuensi atau jeda waktu aplikasi jamur *Trichoderma* sp. yang cukup jauh yang menyebabkan jamur *F. oxysporum* masih dapat berkembang.

BAB XVI

POTENSI NEMATODA ENTOMOPATOGEN SEBAGAI AGENSIA HAYATI

Nematoda entomopatogen adalah nematoda yang mampu menginvasi serangga hama sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agensia pengendali hayati. Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi genus nematoda entomopatogen pada lahan lebak padi sawah di Kecamatan Muara Wis. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Metode yang digunakan mengacu pada metode standar ISPM (*International Standards for Phytosanitary Measure*) adalah standar Internasional yang merupakan petunjuk untuk melaksanakan *survey* dilapangan, dengan mengambil sampel (*pest host sampling*) dan Isolasi sampel tanah yang dilakukan di Laboratorium untuk mendapatkan genus nematoda entomopatogen. Nematoda entomopatogen diperoleh dengan cara mengisolasi dari tanah menggunakan larva serangga uji *Tenebrio mollitor* L., larva *Tenebrio mollitor* L. yang mati diekstrasi menggunakan metode *White trap*. Nematoda entomopatogen yang diperoleh diidentifikasi berdasarkan perubahan warna pada kutikula dan bentuk morfologinya. Dari hasil penelitian diperoleh genus nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. dan *Heterorhabditis* sp. Larva *Tenebrio mollitor* L. yang terinfeksi nematoda entomopatogen mengalami perubahan warna kutikula, coklat kehitaman terinfeksi *Steinernema* sp. dan merah kehitaman terinfeksi *Heterorhabditis* sp.

Penelitian yang dilakukan oleh Suyadi dkk. (2017) yang dilaksanakan di desa Desa Muara Wis dan Desa Sebemban

Kabupaten Kutai Kartanegara ternyata larva *Tenebrio molitor* L. lebih banyak terinfeksi nematoda Steinernematidae dibandingkan Heterorhabditidae dari dua lahan lebak desa yang diamati, hal ini disebabkan dengan pola distribusi vertikal kedua jenis nematoda ini. Sesuai dengan perilaku nematoda entomopatogen. Steinernematidae umumnya mempunyai kecenderungan menyebar di dekat permukaan tanah, sedangkan Heterorhabditidae cenderung menyebar di seluruh lapisan tanah. Mengingat pengambilan sampel tanah berkisar di daerah sekitaran perakaran (rizosfer) pada lapisan olah tanah (0-20 cm), maka dapat dipahami bila Steinernematidae lebih banyak ditemukan pada kedua lahan tersebut.

Sampel tanah Desa Muara Wis dan Desa Sebemban memiliki tekstur tanah yang sama yaitu bertekstur lempung berdebu sehingga kondisi tanahnya remah. Tekstur tanah berkaitan dengan mobilitas nematoda entomopatogen di dalam tanah untuk menyebar dan mencari serangga inang. Tanah yang remah memudahkan nematoda entomopatogen untuk bergerak di dalam tanah dan kandungan oksigen yang tinggi mendukung untuk pernapasan. Pengaruh tekstur tanah terhadap keberadaan nematoda entomopatogen dilaporkan oleh Nugrohoroni (2010) bahwa nematoda entomopatogen tidak dapat hidup pada jenis tanah lempung berliat, karena pada jenis tanah ini tidak terdapat rongga sehingga oksigen tidak masuk ke dalam tanah secara maksimal.

Nematoda entomopatogen menunjukkan efektifitas hidup yang jauh lebih baik pada tanah yang bertekstur pasir, fraksi pasir memudahkan air dan udara untuk keluar masuk tanah mengakibatkan ketersediaan air dan udara yang baik didalam tanah, sebab nematoda

entomopatogen membutuhkan air untuk bergerak menuju serangga inang dan oksigen untuk bertahan hidup.

Faktor lain yang dapat berpengaruh pada kepadatan populasi nematoda entomopatogen adalah derajat kemasaman tanah (pH). Berdasarkan hasil pengukuran pH tanah menunjukkan bahwa pH tanah Desa Muara Wis adalah 4,83 dan Desa Sebemban adalah 4,37. Nilai pH tersebut masih dalam kisaran yang ideal untuk pertumbuhan nematoda entomopatogen. Pada penelitian ini besarnya pH tanah sangat mempengaruhi kelangsungan hidup nematoda entomopatogen. Menurut Canhilal and Carner (2007) bahwa kisaran pH tanah yang ideal bagi kehidupan nematoda entomopatogen yaitu 4,3 – 7,0.

Selain kemasaman tanah (pH), kandungan bahan organik berperan sebagai sumber makanan dari nematoda di dalam tanah. Berdasarkan hasil pengukuran C-organik tanah menunjukkan bahwa kandungan bahan organik Desa Muara Wis adalah 2,88 dan Desa Sebemban adalah 2,46 dan masing-masing Desa memiliki status bahan organik sedang.

Nematoda entomopatogen menyukai tempat hidup atau habitat yang kaya akan bahan organik karena bahan organik dijadikan sebagai sumber makanannya. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Imanadi (2012) yang menunjukkan bahwa populasi nematoda entomopatogen meningkat dengan kandungan bahan organik yang tinggi karena cara hidup nematoda yang memanfaatkan bahan organik atau memakan serangga-serangga atau organisme lain. Semakin kaya akan bahan organik maka populasi nematoda

entomopatogen akan meningkat. Hal tersebut yang menyebabkan pola sebaran nematoda entomopatogen mengelompok.

Mortalitas larva *T. mollitor* L. yang terinfeksi nematoda entomopatogen

Hasil uji mortalitas larva *T. mollitor* yang terinfeksi nematoda entomopatogen selama 7 hari menunjukkan bahwa persentase larva *Tenebrio mollitor* yang lebih banyak terinfeksi oleh nematoda entomopatogen adalah sampel tanah yang berasal dari Desa Muara Wis. Persentasi larva *Tenebrio mollitor* L. yang tertinggi terinfeksi adalah sampel tanah yang berasal dari Desa Muara Wis dengan titik pengambilan sampel III (85%) dan persentasi larva *Tenebrio mollitor* L. yang paling rendah adalah sampel tanah yang berasal dari Desa Sebemban dengan titik pengambilan sampel II (60%).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa nematoda entomopatogen ditemukan pada desa Muara Wis dan Sebemban yaitu *Steinernema* sp. dan *Heterorhabditis* sp., dimana masing-masing genus dijumpai pada kedua desa tersebut. Selain itu, *Steinernema* sp. dominan ditemukan pada lahan Lebak Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) di Desa Muara Wis dan Desa Sebemban.

BAB XVII

POTENSI BAKTERI SEBAGAI PENGENDALI HAYATI

Pengaruh Formulasi *B. cepacia* isolat E76 terhadap Pertumbuhan *R. Solani*

Penelitian yang dilakukan oleh Wartono, dkk menyebutkan bahwa hasil pengujian menunjukkan bahwa formulasi *B. cepacia* isolat E76 secara umum mampu menekan perkembangan pertumbuhan cendawan *R. Solani*. *B. cepacia* adalah bakteri yang bersifat antagonis terhadap patogen. Bakteri ini mampu menghasilkan senyawa-senyawa antagonis, salah satunya adalah antibiotik alkaloid yang mampu menahan pertumbuhan patogen (Hernandez *et al.*, 1999). Sementara *B. cepacia* isolat E76 yang digunakan dalam pengujian ini belum dikarakterisasi lebih lanjut sehingga belum diketahui senyawa apa yang dihasilkannya.

Hasil penelitian terlihat bahwa hingga 48 jam setelah inkubasi (jsi) tingkat hambat relatif pada perlakuan formulasi *B. cepacia* isolat E76 pada seluruh konsentrasi aplikasi secara nyata mampu menekan perkembangan pertumbuhan cendawan *R. solani*. Hal ini terlihat dari nilai THR perlakuan formulasi *B. cepacia* isolat E76 yang nyata lebih besar dibanding kontrol.

Taraf konsentrasi aplikasi formulasi mempengaruhi pertumbuhan koloni cendawan *R. solani*. Terlihat bahwa, semakin tinggi konsentrasi, THR pada perlakuan formulasi *B. cepacia* isolate E76 terhadap *R. solani* juga semakin tinggi. Penghambatan pertumbuhan *R. solani* tertinggi terjadi pada konsentrasi 9%. Hal ini diduga karena tingginya konsentrasi memungkinkan populasi bakteri *B. cepacia* isolat

E76 yang berperan dalam menekan pertumbuhan *R. solani* juga semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan karakteristik bakteri, yaitu populasi yang tinggi mendorong terjadinya kompetisi dan memungkinkan bakteri terpacu untuk melepaskan senyawa metabolit sekunder sebagai bentuk pertahanan bakteri secara nyata akarnya lebih panjang dibandingkan dengan kontrol.

Hal ini mengindikasikan bahwa *B. cepacia* isolate E76 mempunyai pengaruh dalam memacu pertumbuhan tanaman. Kemampuan *B. cepacia* isolat E76 dalam memacu pertumbuhan dan vigor tanaman merupakan pelengkap selain fungsinya sebagai penghambat perkembangan cendawan *R. solani*. *B. cepacia* adalah salah satu bakteri rizosfer yang menghasilkan metabolit sekunder seperti siderofor yang berfungsi sebagai pemicu pertumbuhan tanaman (Meyer *et al.*, 1995). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa beberapa isolat *B. cepacia* mempengaruhi pertumbuhan tanaman, seperti *B. cepacia* MCI 7 yang mampu meningkatkan bobot kecambah tanaman jagung (Bevivino *et al.*, 2000). Tran Van *et al.* (2000) juga melaporkan bahwa strain *B. cepacia* dapat memfiksasi Nitrogen sehingga mampu memacu pertumbuhan tanaman padi. Benih yang diberi perlakuan formulasi *B. cepacia* isolat E76 secara nyata daya tumbuhnya lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol (tanpa perlakuan). Selain itu, berdasarkan hasil pengamatan ternyata perlakuan benih padi dengan formulasi *B. cepacia* isolat E76 berpengaruh terhadap panjang tunas dan panjang akar tanaman padi, terlihat bahwa panjang tunas yang diberi perlakuan formulasi *B. cepacia* isolat E76 lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Demikian juga dengan panjang akar, tanaman yang diberi perlakuan formulasi

B. cepacia isolat E76.

Pada 48 jsi nampak bahwa konsentrasi 3% keefektifannya tidak nyata dibandingkan dengan konsentrasi 5% dan 7%. Selain itu, konsentrasi 3% lebih efisien dalam menekan pertumbuhan *R. solani* dibandingkan dengan konsentrasi 5% dan 7%. Namun demikian perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui keefektifan konsentrasi 3% baik dalam skala rumah kaca maupun lapang untuk meyakinkan bahwa konsentrasi tersebut memang dapat direkomendasikan sebagai konsentrasi anjuran. Efisiensi formulasi merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam aplikasi bahan aktif sehingga dapat menekan biaya, tanpa mengurangi keefektifannya dalam mengendalikan penyakit tanaman di lapang.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa formulasi *B. cepacia* mampu menekan pertumbuhan cendawan *R. solani* secara *in vitro*. Konsentrasi formulasi 3% adalah konsentrasi yang efektif lebih efisien sehingga perlu dilakukan studi lanjut pada skala rumah kaca dan lapang untuk meyakinkan bahwa konsentrasi tersebut dapat direkomendasikan sebagai konsentrasi anjuran. Aplikasi Formulasi *B. cepacia* isolat E76 melalui perlakuan benih mampu meningkatkan daya tumbuh, panjang tunas, dan panjang akar tanaman padi.

KESIMPULAN

Pengendalian hayati sangat dilatarbelakangi oleh berbagai dasar-dasar pengetahuan ekologi khususnya teori tentang pengaturan populasi suatu makhluk hidup oleh pengendali alaminya dan keseimbangan dari ekosistem. Sesuai dengan konsepsi dasar Pengendalian Hama Terpadu, pengendalian hayati sangat memegang peranan yang menentukan karena usaha-usaha teknik pengendalian dengan cara lain secara bersama ditujukan untuk mempertahankan dan memperkuat musuh alami sehingga populasi hama dapat dikendalikan atau tetap berada di bawah aras ekonomik. Dibandingkan dengan teknik-teknik pengendalian yang lain terutama dengan penggunaan pestisida kimia, pengendalian hayati memiliki tiga keunggulan utama yaitu permanen, aman, dan ekonomis. Akhir-akhir ini banyak penelitian yang bertujuan untuk memperkaya koleksi mikroba bermanfaat, namun belum banyak tindak lanjut pemanfaatannya. Formulasi merupakan salah satu hal penting dalam pemanfaatan koleksi mikroba unggul dan mempermudah dalam aplikasinya. Berbagai bentuk formulasi dapat disesuaikan dengan sifat dan karakter mikroba yang akan digunakan sehingga dapat memudahkan aplikasinya di lapang. Bentuk formulasi yang umum dibuat adalah cair, emulsi, butiran, dan tepung. Namun apapun bentuk formulasi perlu diuji keefektifannya baik di laboratorium, rumah kaca, maupun lapang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios. G. N., 1995. Ilmu Penyakit Tumbuhan (terjemahan edisi ketiga). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Anonim. 1978. Materia Medika Indonesia. Jilid II. Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan, Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Anonim, 2002. Model Budidaya tanaman Sehat (*Budidaya Tanaman Sayuran Secara Sehat Melalui Penerapan PHT*), Dirjen Perlindungan Tanaman. Jakarta
- Anonymous. (1994). Integrated Pest Management Practices on 1991: Fruits and Nuts. RTD Updates Pest Management. USDA-ERS.
- Baker, K. F. and R. J. Cook. 1974. Biological Control of Plant Pathogens. W. H. Freeman. San Fransisco.
- Bevivino, A., C. Dalmastrì, S. Tabacchioni, and L. Chiarini. 2000. Efficacy of *Burkholderia cepacia* MCI 7 in disease suppression and growth promotion of maize. Biology and Fertility of Soils Journal. 31(3-4):225-231.
- Boucias and Pendland. 1998. Principle of Insect Pathology. Kluwer Academic. London. 550 pp.
- Canhìlal, R., and G. R. Carner. 2007. *Bacillus thuringiensis* as a pest management tool for control of the squash vine borer, *Melittia cucurbitae* (Lepidoptera: Sesiidae) in South Carolina. Journal of Plant Diseases and Protection 114: 26–29.
- Coates, B.S., R.I. Hellmich, and L.C. Lewis. 2002. Allelic variation of a *Beauveria bassiana* (Ascomycotina: Hyphocreales) minisatellite is independent of host range and geographic origin. Genome. 45(1): 125- 132.
- Cook, R. J. and K. F. Baker. 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Patogens. The APPS Press. St. Paul Minnesota.

- Coppel, H. C. and J. W. Mertins. 1977. *Biological Insect Pest Suppression*. Springer-Verlag, New York.
- Daud, I.D. 2008. Pathogenicity test of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill. (Monilliales: Monilliaceae) in powder and pellet form which store in various time to larvae instar III *Helicoverpa armigera* Hbr. (Lepidoptera: Noctuidae). Prosiding Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI PFI XIX Komisariat Daerah Sulawesi Selatan, 5 Nopember 2008. hlm. 17-25.
- Davis, D. W., S. C. Hoyt, J. A. McMurtry, and M. T. AliNiazee. 1979. *Biological Control and Insect Pest Management*. University of California.
- Deacon, J. W. 1997. *Modern Micology*. Blackwell Science. New York.
- DeBach, P. 1964. *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. Reinhold Publising. New York.
- El-Husseini, M.M., E.A. Agamy, A.H. Mesbah, O.O. Efandary, and M.F. Abdalla. 2008. Using *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin in spraying and dusting applications for biological control of sugar beet insect pests in Egypt. *Egypt J. of Biol. Pest Control*. 14(1): 265-275.
- Flint L. M dan Van den Bosch. R, (2000). *Pengendalian Hama Terpadu, Sebuah Pengantar*. Kanisius. Yogyakarta
- Fuxa and Tanada. 1987. *Epizootiology of Insect Diseases*. John Wiley. New York.
- Gerhardson, B. 2002. Biological substitutes for pesticides. *Trends Biotechnol*. 20:338–343.
- Hadiwiyono. 1999. Jamur akar gada (*Plasmodiphora brassicae* Wor.) pada cruciferae: uji toleransi inang dan pengendaliannya secara hayati dengan *Trichoderma*. Prosiding Kongres Nasional XV dan Seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia; Purwokerto, 16-18 September 1999. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman. p. 365-371.

- Harley, K. L. S. and I. W. Forno. 1992. *Biological Control of Weeds. A Handbook for practitioners and students.*
- Herlinda, S. 2010. Spore density and viability of entomopathogenic fungal isolates from Indonesia and their virulence against *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). *Tropical Life Sciences Research.* 21(1): 11-19.
- Hernandez, A., I. Fernandez, P. Ana, J. Miranda, F. C. Sandra, N. H. Ana, and J. L. Santander. 1999. Production, purification and diagnosis of siderophores from *Pseudomonas fluorescens* strain J-1443. *Tropical Crops.* 20 (1): 21-25.
- Hoy, M. A. and D. C. Herzog. 1985. *Biological Control in Agricultural IPM systems.* Academic Press, New York.
- H. S. Smith. 1919. On Some Phases of Insect Control by the Biological Method. *Journal of Economic Entomology*, Volume 12, Issue 4.
- Imanadi, L. 2012. *Kajian Pengendalian Hama Dengan Nematoda Entomopatogen Steinernema spp. dan Heterorhabditis spp.* Balai Besar Karantina Pertanian Surabaya: Surabaya.
- Indriyati. 2009. Virulensi jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycotina : Hyphomycetes) terhadap kutu daun (*Aphis* spp.) dan kepik hijau (*Nezara viridula*). *J. HPT Tropika.* 9(2): 92-98.
- Jeffries, P. Young, T. W. K. 1994. *Interfungal Parasitic Relationships.* CAB International. Michigan.
- Jumar. 2000. *Entomologi Pertanian.* Rineka Cipta. Jakarta.
- Kaur, G. and V. Padmaja. 2008. Evaluation of *Beauveria bassiana* isolates for virulence against *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera : Noctuidae) and their characterization by RAPD-PCR. *African Journal of Microbiology Research.* 2 : 299-307.
- Keputusan Menteri Pertanian No. 698/kpts/tp.120/8/1998

- Mangoendihardjo, S. dan E. Mahrub. 1983. *Diklat Kuliah Pengendalian Hayati*.
- Mcgurire, R.M., M. Ulloa, Y. Park, and N. Hudson. 2005. Biological and molecular characteristic of *Beauveria bassiana* isolates from California *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) populations. *Bio. Cont.* 33: 307-314.
- Mendes, R., A. A. Pizzirani-Kleiner, W. L. Araujo, and J. M. Raaijmakers. 2007. Diversity of cultivated endophytic bacteria from sugarcane : genetic and biochemical characterization of *Burkholderia cepacia* complex isolates. *Appl. Environ. Microbiol.* 73 : 7259-7267.
- Meyer, J. M., V. Tran, A. Stinzi, O. Berge, and G. Winkelman. 1995. Ornibactin production and transport properties in strains of *Burkholderia cepacia* and *Burkholderia vietnamienses* (formely *Pseudomonas cepacia*). *Biometal.* 8 : 309-307.
- Novizan. 2002. *Membuat dan Memanfaatkan pestisida ramah lingkungan*. Agro Media Pustaka. Jakarta
- Nugrohorini. 2010. Eksplorasi Nematoda Entomopatogen Pada Beberapa Wilayah di Jawa Timur. *Jurnal Pertanian MAPETA XII (2):* 72-144.
- Nunilahwati, H., S. Herlinda, C. Irsan, and Y. Pujiastuti. 2012. Eksplorasi, isolasi, dan seleksi jamur entomopatogen *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) pada pertanaman caisin (*Brassica chinensis*) di Sumatera Selatan. *J. HPT Tropika.* 12(1) : 1-11.
- Papavizas, G. C. 1985. *Trichoderma and Gliocladium: Biology, Ecology, and Potential for Biocontrol*. Annual Review of Phytopathology.
- Reddy, N. P., A. P. A. Khan, K. U. Devi, S. V. John, and H. C. Sharma. 2008. Assessment of the suitability of Tinopal as an enhancing adjuvant in formulations of the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin. *J. Pest Management Science.* 3: 15-19.

- Ridgway, R. L. and S. B. Vinson. 1976. *Biological Control by Augmentation of Natural Enemies. Insect and Mite Control with Parasites and Predators*. Plenum Press, New York.
- Rukmana. R. dan Sugandi. 2002. Hama Tanaman dan Teknik Pengendaliaanya, Kanisius. Yogyakarta.
- Safavi, S. A., A. Kharrazi, G. H. R. Rasoulilian, and A. R. Bandani. 2010. Virulence of some isolates of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, on *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. *J. Agr. Sci. Tech.* 12 : 13-21.
- Salim, W., S. Christanti, dan B. Hadisutrisno. 2003. Pengimbasan ketahanan pisang terhadap penyakit layu fusarium dengan *Burkholderia cepacia*. *Agrosains.* 5 (2) : 72-79.
- Saito, T. and K. Sugiyama. 2005. Pathogenicity of three Japanese strains of entomopathogenic fungi against the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *Appl. Entomol. Zool.* 40 (1) : 169-172.
- Semangun, H. 1991. Penyakit-penyakit tanaman pangan di Indonesia, Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Semangun, H. 2001. Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Shahid, A. A., A. Q. Rao, A. Bakhsh, and T. Husnain. 2012. Entomopathogenic fungi as biological controllers: New insights into their virulence and pathogenicity. *Arch. Biol. Sci.* 64 (1) : 21-42
- Simmonds, F. J. 1970a. Common wealth Agricultural Bureaux. Inst. Of Biol. Control. Annual report of work carried out during 1970.
- Simmonds, F. J. 1970b. Common w. Inst. Biol. Control, Trinidad, Misc. Publ. 1.
- Sopialena & Rosfiansyah. 2014. Pemberian *Beauveria bassiana* dalam mengendalikan hama pada tanaman padi. Laporan Penelitian hibah kemenristek dikti.

- Sopialena & Rosfiansyah. 2014. Penggunaan *Trichoderma* sp. untuk pengendalian penyakit pada tanaman tomat. Laporan penelitian hibah kemenristek dikti.
- Stern V. M., van den Bosch R. Field experiments on the effects of insecticides. *Hilgardia*. 1959. 29 (2) : 103-30.
- Sunarjono, H. 1977. Budidaya Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Soerongan, Jakarta.
- Suyadi, Suryadi, A. Rosfuansyah. Sopialena. Sopian. 2017. The soil properties effect on the existence of entomopathogenic nematodes in the palm oil rizosphere with sediment in kutai kartanegara. Laporan penelitian hibah kemenristek dikti.
- Thungrabeab, M. and S. Tongma. 2007. Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Balsamo) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch) KMITL. *Science Technology*. 7(S1): 12-17
- Tran Van V., O. Berge, S. K. Ngo, J. Balandreau, and T. Heulin. 2000. Repeated beneficial effects of rice inoculation with a strain of *Burkholderia vietnamiensis* on early and late yield components in low fertility sulphate acid soils of Vietnam. *Plant Soil*. 218 : 273-284.
- Untung, 2006. Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu, Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Van den Bosch, P. S. Messenger, A. P. Guitierrez. 1982. An Introduction to Biological Control. Plenum Press. New York.
- Wagiman, F. X. 2006. Pengendalian Hayati Hama Kutu Perisai Kelapa dengan Predator *Chilocorus politus*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Yasin, M., Soenartiningih, Surtikanti, dan Syamsuddin. 1999. Pengendalian hama penggerek batang jagung *Ostrinia furnacalis* Guenee dengan cendawan *Beauveria bassiana* Vuillemin. *Jurnal Stigma*. 7(2): 48-51.
- Zaki, K., I. J. Misaghi, A. Heydary, and M. N. Shatla. 1998. Control of Cotton Seedling Damping-off in the Field by *Burkholderia*

(Pseudomonas) cepacia AMMD of Four Pea Cultivars. Plant Disease. 82 : 291-193.

_____, 2004. Pedoman Peendalian Penyakit Tugro Pada Tanaman Padi. Direktorat Perlindungan Pangan, Dirjen Tanaman Pangan Deptan. Jakarta.

*) Debach, P. and D. Rosen. 1991. *Biological Control by Natural Enemies*, 2nd ed. Cambridge University Press, Sydney.

*) Tanada and Kaya. 1993. *Insect Pathology*. Academic. New York. 666 p.