



ITJI DIANA DAUD. Kelahiran Makassar 6 Juni 1960 ini adalah dosen tetap Fakultas Pertanian Unhas sejak 1986 dan kini menjabat Guru Besar Tetap pada Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar. Ibu empat anak -- dengan pasangan Ir.Firdaus Hasan, M.P. -- sekarang memangku jabatan Wakil Dekan III Fakultas Pertanian Unhas. Doktor lepasan Unhas 2003 ini sebelum menduduki jabatan struktural di almamaternya, pernah dipercayakan sebagai staf Tenaga Ahli DPRD Sulawesi Selatan (2000-2004 dan 2009-2011). Sejumlah pelatihan pernah diikuti dan puluhan penelitian dilakoninya.

Di organisasi profesi menjadi anggota Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI) sejak 1986 dan 2008 hingga sekarang, dipercaya sebagai Ketua PEI Sulsel.

Di organisasi kemasyarakatan dan LSM, pernah tercatat sebagai Ketua HMI Wati Cabang Makassar (1982-1984), Pengurus Korps Alumni Himpunan Mahasiswa Islam (KAHMI) Sulsel sejak 2000-sekarang, Sekretaris Darma Wanita Persatuan Sulsel 2003-sekarang, Ketua Solidaritas Perempuan Anging Mammiri (1999-2003), Sekretaris (2005-2010) dan Ketua Badan Koordinasi Kegiatan Kesejahteraan Sosial (BKKKS) Sulsel (2010-sekarang).

Dari tangan penulis kolom *Swara Setara* *Harian Fajar* (sejak tahun 2000-sekarang) ini sudah lahir lima buku, berjudul "Secangkir Kopi Hillary", Sebuah tulisan dalam buku "Perempuan untuk Perempuan", "Pengendalian Hayati", dan buku di tangan pembaca "Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat". ***

ISBN: 978-602-8405-41-6



Penerbit:
Identitas Universitas Hasanuddin
Makassar

Itji Diana Daud

Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat

Pengendalian Hayati dan Pengelolaan Habitat



Itji Diana Daud



**PENGENDALIAN HAYATI
DAN PENGELOLAAN HABITAT**

Sanksi Pelanggaran Hak Cipta

Undang-undang Republik Indonesia No. 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta

Lingkup Hak Cipta

Pasal 2:

1. Hak Cipta merupakan hak eksklusif bagi pencipta dan pemegang Hak Cipta untuk mengumumkan atau memperbanyak ciptaannya, yang timbul secara otomatis setelah suatu ciptaan dilahirkan tanpa mengurangi pembatasan menurut peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Ketentuan Pidana

Pasal 72:

1. Barang siapa dengan sengaja atau tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PENGENDALIAN HAYATI DAN PENGELOLAAN HABITAT

Itji Diana Daud

Penerbit:
identitas Universitas Hasanuddin
Makassar

PENGENDALIAN HAYATI DAN PENGELOLAAN HABITAT

Hak Cipta © Itji Diana Daud *All rights reserved*. Hak cipta dilindungi undang-undang.

Penulis:

Itji Diana Daud

Desain sampul & isi:

Basuki Hariyanto

Penerbit:

identitas Universitas Hasanuddin, Makassar

Alamat Penerbit:

Kampus Unhas Tamalanrea,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar
Telp. 0411 - 584002

Cetakan I, November 2012

ISBN: 978-602-84054-1-6

KATA PENGANTAR

Buku yang anda sedang baca ini merupakan buku yang menceritakan tentang filosofi dari keadaan sebuah ekosistem pertanaman. Membaca buku ini memerlukan sebuah konsentrasi yang penuh karena memahami sebuah realita dalam sebuah ekosistem adalah3 memahami sebuah proses kehidupan yang sangat sarat dengan sebuah kerahasiaan dari penciptaNYA. Semua yang hidup adalah milikNYA dan saling mempengaruhi satu sama lain, tetapi takdir tetap ditentukan olehNYA.

Mungkin bahasanya agak sulit untuk dimengerti tetapi penulis yakin jika dibaca dengan konsentarsi tinggi akan ditemukan sebuah alasan mengapa kita perlu menjaga ekosistem pertanaman lebih mempertimbangkan faktor kestabilan dari semua individu/spesies yang mendukung rantai makanan atau jaringan makanan.

Buku ini diharapkan dapat membuka wawasan positif dalam kegiatan perlindungan tanaman. Sungguh menjadi kebahagiaan tersendiri bagi penulis menerbitkan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pengembangan bidang ilmu Perlindungan Tanaman.

Penulis menyadari bahwa tidak lah mudah membuat sebuah buku, oleh sebab itu dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan untuk perbaikan penyempurnaan buku ini.

Terima kasih.

Makassar, November 2012

Penulis,

Itji Diana Daud

DAFTAR ISI

Pengantar	v
Bab I	
Lingkup Pengendalian Hayati	1
Bab II	
Sejarah Perkembangan Pengendalian Hayati.....	15
Bab III	
Ekologi Populasi Perkembangan Sejarah	23
Bab IV	
Konsepsi dan Makna Pengendalian Alami	41
Bab V	
Beberapa Konsep dan Pertanyaan (Masaiah) tentang Pengendalian Hayati	63
Bab VI	
Karakteristik Biologis Enthomophagus Dewasa	75

Bab VII	
Tahap-Tahap Perkembangan Parasitoid	87
Bab VIII	
Sistematika dalam Hubungannya dengan Pengendalian Hayati.....	95
Bab IX	
Penyelidikan di Luar Negeri Untuk Menentukan Organisme-Organisme yang Menguntungkan	101
Bab X	
Penanganan Karantina Serangga Entomophaga	107
Bab XI	
Dasar-dasar Pengendalian Gulma Secara Hayati	115
Bab XII	
Kegiatan Pengendalian Hayati terhadap Gulma	125
DAFTAR PUSTAKA	129

Bab I

Cakupan Pengendalian Hayati

Pendahuluan

In Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989 mengemukakan bahwa faktor yang menentukan pertumbuhan dan perkembangan individu/spesies selain kualitas dan kuantitas makanan, ditentukan juga oleh seberapa besar individu/spesies tersebut sebagai mangsa bagi spesies/individu yang lain.

Pada sebuah ekosistem terbentuk sebuah rantai makanan atau jaringan makanan. Satu sama lain individu/ spesies akan saling mempengaruhi, pengaruhnya dapat menguntungkan atau merugikan.

Rantai dan Jaringan Makanan

Rantai makanan adalah perpindahan energi makanan dari produsen yaitu tumbuhan ke herbivor lalu ke carnivor. Ada dua tipe dasar rantai makanan yaitu :

1. Rantai makanan rerumputan misalnya tumbuhan-herbivor-carnivor
2. Rantai makanan sisa misalnya organisme pemakan sisa-mikroorganisme-predator.

Macam- macam rantai makanan yaitu

Rantai pemangsa :

Landasan utamanya adalah **tumbuhan hijau** sebagai **produsen**. Rantai pemangsa dimulai dari hewan yang bersifat **herbivor** sebagai **konsumen I**, dilanjutkan dengan hewan karnivora yang memangsa herbivora sebagai **konsumen II** dan berakhir pada hewan pemangsa karnivora maupun herbivore sebagai **konsumen III**.

Rantai Parasit dan Parasitoid :

Dimulai dari organisme besar hingga organisme yang hidup sebagai parasit dan parasitoid. Contoh organisme parasit antara lain cacing, bakteri, kutu kepala manusia dan benalu. Sedangkan contoh parasitoid adalah serangga terhadap inangnya yang umumnya juga serangga.

Rantai Saprofit :

Dimulai dari organisme mati ke jasad pengurai misalnya jamur dan bakteri.

Rantai-rantai di atas tidak berdiri sendiri tapi saling berkaitan satu dengan lainnya. Kumpulan rantai makanan akan membentuk jaringan makanan.

Pada ekosistem semua individu/spesies mempunyai peranan / niche yaitu sebagai produsen, konsumen I, konsumen II dan konsumen III serta dekomposer. Produsen adalah penghasil makanan untuk makhluk hidup sedangkan konsumen adalah pemakan produsen. Produsen terdiri dari organisme-

organisme berklorofil (autotrof) yang mampu memproduksi zat-zat organik (melalui fotosintesis). Zat-zat organik ini kemudian dimanfaatkan oleh organisme heterotrof (manusia dan hewan) yang berperan sebagai konsumen. Konsumen II, III dan seterusnya tidak memakan produsen secara langsung tetapi mendapatkan dari konsumen I.

Contoh sebuah rantai makanan : Tanaman Padi dimakan oleh penggerek batang lalu telur penggerek batang dimangsa oleh *Coccinella sp.* ditempati oleh organisme yang bersifat saprofit, yaitu:

Kedudukan Pengendalian Hayati dalam Keseimbangan alami

Terjadinya proses makan memakan dalam ekosistem menyebabkan tidak akan pernah ada populasi spesies yang meningkat tanpa batas.

Populasi akan meningkat tetapi pada suatu titik akan menurun mencapai sebuah titik lalu akan naik kembali. Sebab banyak faktor yang mempengaruhi yaitu faktor biotik dari individu/ spesies, faktor lingkungan yaitu suhu, makanan, habitat dan posisi jaringan makanan.

Oleh sebab itu sebenarnya pengendalian hayati akan berhasil dalam sebuah ekosistem sebab secara alami pada sebuah ekosistem telah berlangsung pengendalian alami.

Sejak 70 tahun yang lalu, Pengendalian hayati telah dilakukan dengan menggunakan komponen biotik seperti serangga, jamur, bakteri, virus, di 60 negara di dunia terhadap serangga, tungau, dan gulma dan menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Awalnya, beberapa ilmuwan menyangsikan metode ini tetapi dengan hasil tersebut, paradigma tentang pengendalian hayati menjadi berubah. Tahun 1880 musuh alami dari suatu spesies secara nyata terbukti mengatur populasi sehingga tidak meningkat. Banyak contoh yang

menyolok tentang pengendalian hayati yang tidak jelas bisa ditunjukkan secara percobaan walaupun itu sukar dilakukan. Le Baron (1870) melakukan penelitian lapangan yang sangat terkenal pada waktu itu. Ia melihat bahwa kerang, tiram, kutu pada pohon apel, dalam beberapa tahun, secara bertahap menghilang, sehingga tidak lagi merupakan hama utama. Kulit kayu yang lebih lunak, daun-daunan yang lebih hijau, dan buah-buahan yang lebih bersih, membuktikan pada peneliti pohon buah bahwa serangga yang memamatkan ini telah melunakkan serangannya terhadap pohon apel dan dengan tiada ragu-ragu mereka menganggap keberhasilan ini akibat sanitasi dan aplikasi obat ajaib yang paten, tapi dibalik semua itu ternyata setelah diteliti adalah peran parasitoid *Chalsis* (*Aphelinun*) *mytilasdidis*.

Meningkatnya pendidikan dan taraf hidup menyebabkan tuntutan terhadap bahan basil pertanian semakin baik sehingga banyak konsumen yang menginginkan buah-buahan atau sayur-sayuran demikian pula dengan bunga, jangan ada cacat sedikitpun. Pada konsumen tertentu buah yang mengalami sedikit cacat saja sudah ditolak. Dengan penolakan ini berarti cacat tersebut menyebabkan hasil panes tidak laku sehingga terjadi kerugian secara ekonomi.

Pada kondisi seperti populasi serangga hama yang rendah sekalipun, tidak dikehendaki kehadirannya. Ambang ekonomi lebih rendah dari populasi keseimbangan (*Equilibrium position*). Bila hal ini terjadi dan suatu masalah menjadi sasaran penelitian, maka pengendalian hayati dinamakan ekologi terapan sebagai kebalikan dari penamaan yang sifatnya akademis yaitu ekologi "murni" atau "dasar" atau demografi. Pengendalian alami dan pengendalian hayati merupakan sub-bagian dari ekologi, dan seperti halnya pada ekologi, keduanya mempunyai fase murni dan fase terapan.

Pengendalian Alami

Kajian tentang pengendalian alami terhadap populasi organisme merupakan bagian dari kajian ekologi yang menjelaskan bagaimana faktor lingkungan mengatur potensi kemampuan populasi untuk naik atau turun untuk mencapai keseimbangan.

Pengendalian alami merupakan cara pengendalian yang permanen dibanding pengendalian secara kimiawi karena dapat menurunkan populasi tidak saja hanya sementara tetapi terus-menerus.

Kepadatan semua makhluk hidup akan selalu diatur oleh pengendali alaminya.

Pengendalian alami juga sering disebut dengan istilah keseimbangan alami. Observasi yang dilakukan oleh Darwin tersebut melengkapi teori dari seleksi alami dan evolusi alami yang monumental.

Semua organisme secara alami berkembang pada laju yang tinggi, sehingga bila tidak dimusnahkan, bumi ini akan dipenuhi oleh keturunan organisme tersebut. Proses keseimbangan itu akan tercapai dalam waktu yang relatif panjang dan akan menuju ke posisi keseimbangan.

Pengendalian Hayati

Kita sering mendengar istilah pengendalian hayati dan pengendalian alami dalam bidang pertanian. Untuk itu perlu mengetahui apakah sebetulnya pengendalian hayati itu?, dan apa bedanya dengan pengendalian alami?. Disini penulis mencoba mengemukakan pandangan bahwa pengendalian hayati mempunyai beberapa definisi.

Ada dua definisi: Definisi yang pertama dapat diterapkan dalam arti ekologi fundamental untuk menggambarkan hasil kerja dari musuh alami seperti ketika kasus pengendalian

alami. Pengendalian hayati adalah bagian dari ekologi yang menunjukkan tindakan pengendalian alami dengan memanfaatkan kerja dari parasitoid, predator atau patogen untuk mengatur kepadatan populasi organisme lain pada tingkat rata-rata lebih rendah daripada jika ketiganya tidak ada. Definisi yang mencakup istilah ketika kegiatan manusia dipertimbangkan yang hal ini berarti memberikan batasan untuk bidang pengendalian hayati.

Pengendalian dengan menggunakan musuh alami secara umum diketahui oleh entomologist dan pakar ekologi mahluk hidup bahwa definisi yang terdahulu mempunyai type faktual dimana pengendalian hayati dapat diuji atau diukur dalam suatu percobaan.

Usaha manusia atau manipulasi musuh alami tidak termasuk dalam defenisi ini. Tingkat populasi rata-rata yang juga tidak disebutkan dalam defenisi tersebut bisa tinggi ataupun sebaliknya, memuaskan secara ekonomi atau tidak. Jadi dalam banyak kasus, kadar tingkat pengendalian hayati harus dibatasi secara jelas. Juga, bila parasitoid, predator maupun patogen begitu tidak beraturan sehingga populasi organisme tidak memperlihatkan perubahan jumlah yang bisa diukur, maka ketiganya bukan lagi merupakan pengatur dan tidak dapat dikatakan sebagai pengendalian hayati sekalipun bila berada pada kondisi lain bisa berfungsi demikian.

Kelebihan dan Kekurangan Pengendalian Hayati

Kelebihan pengendalian hayati dibandingkan dengan pengendalian lain ialah : (1). Selektivitas yang tinggi dan tidak menimbulkan hama sekunder, (2). Organisme yang digunakan suah tersedia di alam, (3). Organisme yang digunakan dapat mencari dan menemukan mangsanya sendiri, (4). Dapat berkembnagbiak dan menyebar, (5). Hama tidak menjadi

resisten atau kalau terjadi resisten sangat lambat (6) Berjalan sendiri dan (7) Kurang menimbulkan efek samping yang buruk.

Sedangkan kekurangannya adalah : (1). Berjalan lamban, (2). Tidak memunaskan, (3). Sukar diramalkan, (4). Memerlukan ahli (Van Emden 1976 ; dalam Kartosuwondo, 1987). Selain kelebihan-kelebihan di atas, dari segi ekonomi dalam jangka waktu yang lama pengendalian hayati menguntungkan dan relatif murah biayanya. Pada awalnya memang memerlukan biaya relatif tinggi, tetapi setelah usaha awal berhasil, maka selanjutnya relatif kurang memerlukan biaya lagi (Sudawohadi, 1987).

Bidang Pengendalian Hayati.

De Bach mengatakan bahwa PH dan berarti

- a. Mengacu pada keilmuan fenomena alamiah
- b. Bidang studi
- c. Merupakan teknik pengendalian terapan yang memanipulasi komponen ekosistem.

Kajian tentang introduksi, augmentasi, dan konservasi organisme yang bermanfaat bagi pengaturan kepadatan populasi organisme lain merupakan bagian dari kegiatan optimalisasi kerja pengendalian hayati. Tahap kerja dari pengendalian hayati, meliputi kajian tentang introduksi, augmentasi, dan konservasi.

Kata "Pengendalian Hayati " seperti yang sering disebutkan, benar-benar menunjukkan proses penekanan populasi dengan memanfaatkan musuh alami oleh manusia.

Dalam pemanfaatan musuh-musuh alami dapat dilakukan melalui dua cara yaitu : (1). Pengintroduksian musuh alami, dan (2). Peningkatan kemampuan penggunaan musuh alami yang telah menjadi penghuni tetap (konservasi dan augmentasi).

Kajian Dasar (Kajian-Kajian Dasar)

Fase pertama pengendalian hayati meliputi penelitian murni terhadap aspek-aspek penting yaitu taksonomi, biologi, fisiologi, genetika, ekologi dan demografi, perilaku, metode perbanyakan dan nutrisi.

Kajian ini utamanya dilakukan terhadap parasitoid, predator, dan patogen. Meskipun demikian, inang dan faktor-faktor lingkungan mereka yang mempunyai hubungan timbal balik bisa juga dimasukkan dalam penelitian.

Contoh-contoh kajian mengenai taksonomi akhirnya membuktikan bahwa apa yang selama ini dianggap sebagai spesies tunggal dari Parasitoid *Aphis* terhadap Sisik Merah California di Asia Timur, dan kebetulan sudah menjadi spesies parasitoid yang telah berhasil di California, kenyataannya ada sekurang-kurangnya 7 spesies dengan adaptasi biologi berbeda-beda. Kesemua parasitoid ini bukan parasitoid asli di California. Sejak 1957, dimungkinkan untuk dimasukkan ke California, paling sedikit lima parasitoid Sisik Merah baru yang dianggap sudah stabil di lingkungan barunya.

Taksonomi sangat penting dalam pengendalian Hayati. Pengetahuan tentang taksonomi parasitoid Hymenoptera masih sangat minim. Sains pada umumnya dan pengendalian hayati khususnya masih sangat sedikit.

Menurut Rabb *et al.*, 1976 (*dalam* Sudawohadi, 1987) bahwa ada tiga macam cara penting yang perlu diterapkan dalam pengendalian hayati, yaitu :

- 1) Introduksi yang mencakup cara pemasukan, pelepasan, dan evaluasi penggunaan musuh alami,
- 2) Konservasi, meliputi pengelolaan lingkungan dan pengaturan program penggunaan insektisida, dan
- 3) Augmentasi meliputi pembikinan massa dan pelepasan secara periodik

Introduksi Musuh Alami

Istilah ini mencakup semua fase introduksi dan pemantapan musuh alami eksotik ke dalam suatu lingkungan baru. Introduksi musuh alami yang baru secara sengaja biasa didasarkan pada fakta bahwa hama pertanaman dimasukkan ke daerah bersangkutan secara kebetulan sedangkan musuh alami hama itu tidak ikut dimasukkan. Kasus yang dapat dijadikan contoh yaitu pada populasi hama kelapa di Fiji dikendalikan dengan mendatangkan lalat tachinid dari Indo-Malaya. Dua kendala utama yang merintang perkembangan dan aplikasi program skala besar di banyak negara adalah: Pengintroduksian harus melibatkan variabilitas genetik spektrum luas atau genotip yang optimal untuk lingkungan baru. Faktor kekurang berhasilan introduksi musuh alami ini adalah kurangnya dana dari pemerintah, lembaga, dan industri.

Contoh lain adalah Kutu loncat lamtoro (*Heteropsylla cubana*) yang berasal dari Amerika tengah, kemudian bermigrasi ke negara pasifik dan akhirnya sampai ke Indonesia. Kutu loncat di Indonesia tumbuh cepat sekali sehingga ratusan hektar tanaman lamtoro diserangnya. Musuh alami yang efektif untuk Kutu loncat lamtoro yaitu Kumbang predator *Curinus cocruleus* belum tersedia di Indonesia, sehingga harus didatangkan dari Hawaii. Setelah pengenbangan predator *Curinus*, populasi kutu loncat lamtoro mulai dapat dikendalikan.

Contoh yang lain adalah introduksi *Tetrastichus brontispae* untuk mengendalikan *Brontispae longisima* dari pulau Jawa ke Sul Sel.

Introduksi *Diadegma eucerophaga* dari Lembang ke Malino tanaman kubis untuk mengendalikan *Plutella xylostella* (Fatahuddin, Nurdin Dai, Itji Diana D, dan Firdaus H., 1995).

Pemilihan musuh-musuh alami yang akan diintroduksi, merupakan fase yang paling kritis dalam pengendalian hayati. Kriteria-kriteria yang amat perlu diperhatikan adalah :

- 1) Species musuh alami yang akan diintroduksi tidak boleh menimbulkan efek-efek yang membahayakan pada tempat introduksi. Ini merupakan prioritas utama karena species musuh alami yang diintroduksi tidak boleh menyerang serangga lain yang berguna atau bukan hyperparasitoid bagi musuh alami lain,
- 2) Species musuh alami yang akan diintroduksi harus mempunyai kemampuan mencari inang yang tinggi,
- 3) Species musuh alami yang akan diintroduksi harus dengan mudah beradaptasi dengan kondisi iklim, habitat inang, dan faktor ekologi lainnya pada daerah tempat mereka diintroduksi,
- 4) Spesifisitas inang yang cukup tinggi ,
- 5) Kapasitas reproduksi yang tinggi (Huffaker dan Messenger, 1976).

Augmentasi Musuh Alami

Augmentasi merupakan teknik penambahan musuh alami secara periodik dengan tujuan meningkatkan jumlah dan pengaruh musuh alami.

Umumnya augmentasi dilakukan dengan perbanyakan massal dan periode kolonisasi musuh alami atau perubahan-perubahan praktek perbanyakan. Augmentasi dan konservasi sering diawali dengan penelitian ekologi dasar.

Informasi ekologi diperlukan untuk mengetahui apakah musuh alami dapat bekerja mengendalikan inang-mangsanya dengan lebih efisien atau tidak. Terdapat 2 pendekatan logis berkenaan dengan kesuksesan pengendalian biologi :

1. Rekolonisasi periodik untuk musuh alami setelah periode-periode buruk.
2. Pengembangan jenis musuh alami baru yang unggul melalui pembenihan penyeleksi selektif.

Landasan konseptual untuk pelestarian dan augmentasi musuh alami menurut Rabb *et al* (1976) sebagai berikut : (1). Pertimbangan biaya manfaat (cost-benefit) harus merupakan pertimbangan awal suatu proyek pengendalian hayati, (2). Memanipulasi unsur-unsur ekosistem untuk mengelola hama dan musuh alaminya dengan membedakan bagian ekosistem yang didominasi oleh manusia, dan (3). Kriteria manipulasi musuh alami yang berhasil mungkin dapat mengatasi suatu masalah hama, akan tetapi tidak mampu mengatasi masalah hama yang lebih kompleks.

Augmentasi atau inundasi bertujuan untuk meningkatkan populasi atau pengaruh yang menguntungkan dari musuh alami, yang mencakup pembiakan massal dan pelepasan secara periodik. Pembiakan massal musuh alami dan inangnya merupakan suatu hal yang kompleks. Manusia yang dilibatkan dalam program tersebut seharusnya menguasai bidang pengendalian hayati, khususnya serangga bersangkutan. Pembiakan massal terdiri dari dua bagian utama yaitu : (1). Inang tersedia dalam jumlah yang besar untuk pembiakan musuh alami, dan (2). Mengembangkan teknik yang dapat mendukung aktivitas reproduksi maksimum, perkembangan optimum dan kemampuan bertahan dari musuh alami (DeBach, 1964).

Tahap optimum pelepasan suatu musuh alami dan waktu pelepasan berbeda-beda sesuai dengan kompleks musuh alami dan inangnya. Dalam memilih tahapan pelepasan serta untuk efisiensi biologi maka faktor biaya harus dipertimbangkan,

misalnya melepas pupa mungkin lebih murah daripada imagonya. Akan tetapi tingkat kematian sebelum mencapai dewasa mungkin lebih besar. Persiapan pelepasan dan prosedur-prosedurnya juga berbeda-beda sesuai dengan species dan fase perkembangan serangganya. Pemberian makanan sebelum pelepasan yang dilakukan setelah telur menetas terbukti menguntungkan.

Prosedur kolonisasi periodik menurut DeBach (1964) terdiri dari dua cara yaitu : (1). *Inundative release*, yaitu tipe pelepasan musuh alami langsung bertindak sebagai agensia pengendali, bukan keturunannya. Cara ini kerap kali disamakan dengan cara kerja insektisida sehingga disebut **insektisida biologi**. Contoh yang paling populer adalah *Bacillus thuringiensis* Berl yang diformulasikan dalam berbagai merek dagang sebagai insektisida biologi, dan (2). *Inoculative release*, merupakan pelepasan musuh alami dalam jumlah kecil, tindakan penekanan terhadap inangnya dilaksanakan oleh keturunannya. Contoh yang paling populer adalah pengendalian *iceya purchasi* dengan menggunakan predator *Rodolia cardinalis* pada tanaman jeruk di California pada tahun 1888.

Konservasi Musuh Alami

Konservasi merupakan usaha untuk mempertahankan atau melestarikan musuh alami yang telah ada di suatu daerah.

Teknik ini bertujuan untuk menghindari tindakan yang dapat menurunkan populasi musuh alami contoh penggunaan pestisida. Pendekatan lain untuk perbaikan pengendalian hayati adalah memodifikasi (memanipulasi) unsur-unsur ekosistem dari lingkungan sehingga cocok untuk perkembangan musuh alami. Pada tanaman komersial seperti pada lingkungan alami, banyak cara yang diperlukan untuk

memodifikasi lingkungan sehingga menguntungkan bagi organisme yang dikehendaki. Faktor-faktor merugikan yaitu kegiatan penyemprotan pestisida yang dapat mematikan musuh alam harus dikurangi atau dihindari. Keaneka ragaman flora dan fauna pada suatu area dapat meningkatkan populasi pemangsa predator.

Saat ini, banyak entomologist menyarankan agar melakukan program pengendalian hama dengan insektisida berspektrum sempit sehingga dapat mengurangi problem hama.

Konservasi musuh alami meliputi pengelolaan lingkungan untuk meningkatkan efektivitas musuh alami dan pengaturan penggunaan insektisida untuk mencegah terganggunya musuh alami tersebut. Tujuannya adalah untuk melindungi dan mempertahankan peranan musuh alami (Sudarwohadi, 1987).

DeBach (1964) mengemukakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas musuh alami yang dapat berdiri sendiri ataupun yang saling mempengaruhi satu sama lain yaitu :

1. Faktor iklim seperti suhu, kelembaban, curah hujan, dan angin
2. Tanaman inang yang sesuai atau tidak sesuai untuk dijadikan sebagai tempat berlindung bagi musuh alami,
3. Makanan untuk serangga dewasa tidak tersedia seperti nektar, serbuk sari, dan cairan madu,
4. Kompetisi dengan species lain yang dapat mengurangi peranan musuh alami,
5. Adanya bahan-bahan kimia yang diaplikasikan terhadap tanaman, dan
6. Praktek budidaya pertanian yang tidak menguntungkan musuh alami.

Selanjutnya dikatakan bahwa serangga inang tidak sesuai atau tidak disenangi karena : (1). Tidak terjadi sinkronisasi antara inang dengan musuh alami, (2) Serangga inang mempunyai biotipe baru yang tidak sesuai lagi bagi musuh alami, (3). Stadia atau fase inang yang sesuai karena beberapa hal, seperti diapause ovarium, migrasi, agregasi yang jauh dari inang, reproduksi betina yang rendah, dan musuh alami tidak mampu melakukan kopulasi karena kepadatan populasinya yang terendah.

Bab II

Sejarah Perkembangan Pengendalian Hayati

Pendahuluan

Istilah pengendalian hayati dalam arti luas digunakan pada kasus antibiotik untuk kesehatan, pengendalian hayati pada hama vertebrata, gulma dan serangga dan beberapa patogen tanaman. Pengendalian biologi terhadap hama berkembang bersama seiring dengan pertanian modern.

Pengendalian hayati mula-mula diketahui terjadi di California. Meskipun demikian, pemindahan musuh alami antar negara yang berlangsung dengan sukses terjadi pada tahun 1762 ketika burung musnah dari India dimasukkan ke Mauritius untuk mengendalikan "Locust merah" .

Sejarah dan Defenisi Pengendalian Hayati

Menurut Smitt (1981 *dalam* Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989) bahwa pengendalian hayati adalah penggunaan musuh-musuh alami baik yang diintroduksi

maupun yang sudah ada di suatu daerah kemudian untuk mengendalikan serangga hama. Yang dimaksud musuh alami pada batasan tersebut diatas adalah parasitoid, predator, dan patogen.

Stern, 1959 (didalam Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989) mengemukakan bahwa pengendalian hayati merupakan aksi parasitoid, predator, dan patogen yang dikenakan pada populasi inang atau mangsa sehingga menghasilkan suatu keseimbangan umum yang lebih rendah daripada keadaan yang akan ditunjukan apabila musuh alami tersebut tidak ada. Organisme yang dapat menekan atau menghambat perkembangan populasi serangga hama disebut musuh alami. Musuh alami serangga hama terdiri dari predator, parasitoid, dan mikroorganisme yang merupakan salah satu faktor pembatas pertumbuhan populasi hama (Smith 1975; dalam Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989). Organisme yang ditangkap dan dimakan oleh predator disebut mangsa. Mangsa yang dapat ditangkap, dibunuhnya dalam waktu yang singkat serta dimakan pada waktu itu juga. Ada kemungkinan mangsa tersebut tidak habis termakan sedangkan sisanya ditinggalkan (DeBach, P., 1973.).

Sejarah pengendalian hayati dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu (1). Usaha pendahuluan yaitu pelaksanaan pengendalian hayati lebih awal. Pada tingkat tertentu hasilnya dapat diketahui namun karena pendekatan ilmiah yang kurang sehingga informasi yang diperoleh juga kurang, (2). Pada masa berikutnya pengendalian hayati yang lebih bersifat membedakan yang bisa dikatakan mulai sejak tahun 1888 yaitu ketika suksesnya introduksi *Rodolia cardinalis* untuk mengendalikan *Icerya purrhasssi* pada tanaman jeruk di California. Sejak saat itulah dilakukan beberapa metode pengendalian hayati yang lebih sukses dan benar-benar

terencana, (3). Pada masa akhir telah berlangsung sejak 20 tahun yang lalu. Masa tersebut ditandai dengan evaluasi yang lebih cepat dengan perencanaan matang.

Secara keseluruhan terdapat berbagai metode pengendalian yang bersifat kompatibel, yang dikembangkan sbagai komponen Pengendalian Hama Terpadu.

Awal Penggunaan Serangga Predator

Penggunaan serangga predator pertama kali diperkenalkan di Abad ke-15. Penggunaan serangga predator digunakan di China.

Salomon dan Holling, 1959 (dalam DeBach, P., 1973) mengemukakan bahwa ada dua tanggap predator yaitu :

- (1). Tanggap fungsional adalah intensitas kerja predator bertambah sesuai dengan bertambahnya kepadatan mangsa. Selanjutnya DeBach, P., 1973) mengemukakan bahwa predator berperan penting pada aliran energi dalam komunitas,
- (2). Predator sebagai pengatur populasi hama yang dimangsanya,
- (3). Predator berperan dalam mempertahankan kemampuannya dari populasi mangsa,
- (4). Predator sebagai suatu unsur dalam evolusi mangsa.

Penemuan Parasitisme Serangga

Sementara serangga predator telah dikenal pada masa-masa awal dan digunakan secara praktis oleh para ahli pertanian di bagian-bagian Asia dan Eropa. Kasus parasitisme serangga yang pertama kali terjadi terhadap kupu-kupu kubis biasa *Pieris raoae* (L.) yang diserang parasitoid internal *Aphanteles alomeratus* (L.) pada jeruk. Akan tetapi parasitisme serangga pertama kali diinterpretasikan secara tepat pada tahun 1701 oleh ilmuwan Van leuwenhoeck yang membahas

tentang parasitisme terhadap serangga *Sawfly* pada pohon willon.

Penemuan yang berasal dari awal abad ke-19

Pengendalian hayati abad ke-19 ditandai dengan teori Malthus yang sebagian besar isinya keliru. Teori tersebut mengemukakan bahwa populasi cenderung meningkat hingga munculnya pengendali berupa terbatasnya penyediaan makanan.

Pada tahun 1838 karya Malthus dikutip oleh Darwin dengan membuat istilah "Perjuangan demi **eksistensi**". Ahli lainnya adalah Vincent Kollar (1837) dalam Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989 yang membahas aspek organisme serangga terhadap ekonomi alam. Sekitar tahun 1840, ilmuwan Bdisgiraud menerapkan kumbang tanah kecil *Calasoma sycophanta* (L.) untuk memusnahkan larva ulat *Gypsy* yang ada pada sejenis pohon di tempat tersebut. Penelitian lain mencakup penggunaan kumbang pemanjat untuk memburu semua serangga fitofaga, penerapan *Staphinilid* untuk melenyapkan serangga, penggunaan kumbang, untuk ulat pemotong dan serangga herbivora lain yang ada di dalam tanah.

Percobaan Pertama Dimulai

Walsh adalah seorang ilmuwan yang memiliki pengaruh besar terhadap Charles Valentine Riley, dan Riley inilah yang pertama melakukan demonstrasi pengendalian hayati. Riley melepaskan parasitoid dari satu daerah ke daerah lain. Ia mengirim parasitoid *Conotrachelus nenuohar* dari Kirkwood, Missouri ke bagian-bagian lain dari negara bagian tersebut pada tahun 1870.

Introduksi Vedalia ke California

Dalam sejarah pengendalian hayati, introduksi yang sangat berhasil dilakukan terhadap kumbang Vedalia, *Rodalia cardinalis* (Muls) ke California pada tahun 1888 untuk mengendalikan *Icerya purchasi* Mask., dan kerja ini merupakan suatu kesuksesan dalam sejarah entomologi.

Rencana Riley Untuk Mengendalikan Kutu Perisai

Menurut Riley pada Konvensi Petani buah memuat hal-hal penting berikut :

1. *Icerya purchasi* berasal dari- Australia, tetapi Riley tidak yakin apakah berasal dari Australia ataukah dari New Zealand.
2. Masuknya kutu ini ke California pada tanaman Acacia pada tahun 1258 berikut secara tidak sengaja melalui biji tanaman tersebut.
3. Tidak ada parasitoid yang ditemukan sampai saat itu, tetapi, di Los Angeles ditemukan dua chalcid yang oleh Howard dinamakan *Isodromus icerya* How.
4. Riley dengan menggerutu mengakui bahwa fumigasi HCN dapat diaplikasikan untuk mengatasi masalah.
5. Ia menunjukkan bahwa Coguillett dan Koebele tidak sependapat tentang keefektifan penyemprotan tertentu yang telah mereka coba. Coguillett meyakini kemanjuran minyak tanah, sedangkan Koebele meyakini kemanjuran sabun resin.
6. Akhirnya Riley menyarankan dimasukkannya suatu parasitoid dari Australia untuk mengendalikan kutu-bergalur (Fluted Scale) ini di dalam tanah habitatnya.

Pencarian Asal-usul Kutu Perisai

7 Mei 1887, Maskeil menyebutkan bahwa kutu perisai (*Icerya* spp.) yang diintroduksi dari Australia. Ia menemukan serangga ini di Tanjung Harapan Afrika dan masyarakat menyebutnya sebagai "Kutu Australia". 4 Juni 1887 Riley menyebutkan *Icerya* berasal dari Kepulauan Mauritius-Samudra Hindia. Ia menemukan kutu tersebut di dalam gula yang diimpor dari kepulauan tersebut. Kutu itu dikenal sebagai "kutu gula". Koebele menjelaskan kepada Riley bahwa kutu tersebut sebenarnya adalah tungau, Acarid. 4 Maret 1888, Riley membenarkan pendapat bahwa *Icerya* berasal dari Australia.

Misi Koebele ke Australia

Riley memilih Koebele untuk menemani Komisi Pertanian Amerika Serikat ke Australia pada tanggal 25 Agustus 1888. Misi ini dilakukan berkenaan dengan penanganan parasitoid terhadap *Icerya*.

Introduksi Vedalia

Pada tanggal 2 Juli 1889, J.R. Dobbin, seorang petani jeruk, berbicara banyak tentang kerja vedalia. Ia mengemukakan bahwa semua pohon, semak, dan anggur yang dijangkiti kutu secara praktis dibersihkan oleh parasitoid yang mengagumkan ini.

31 Juli 1889, beberapa kebun sepenuhnya bersih dari *Icerya* sehingga ia membuat pengumuman bahwa ia tidak punya lagi vedalia untuk didistribusikan. Dewan Kota Los Angeles untuk Komisi Pertanian memperbanyak vedalia untuk disebar dengan mengurung lima buah pohon jeruk besar yang terjangkiti *Icerya* secara hebat dan membiarkan Vedalia untuk berkembang di dalam kurungan tersebut.

18 Oktober 1889, Mr.A. Scott Chapman melaporkan bahwa vedalia telah membersihkan kutu di kebunnya. Semua

ini merupakan hasil kerja dari *Vedalia* yang ditemukan oleh Koebele 15 Oktober 1888 di sebuah kebun di Adelaide Barat.

Pengendalian hayati di California

Setelah munculnya kerja yang mengesankan dari *Vedalia* beberapa melalui pertanian sangat antusias dengan kemungkinan-kemungkinan dalam pengendalian biologi. Penganjur utamanya adalah Ellwood Cooper, ketua Dewan Negara Bagian California untuk pertanian.

Di California pembangunan insektarium di San Fransisco dan pengiriman serangga yang menguntungkan, di terima lalu dikembangkan. Setelah rusaknya insektarium yang disebabkan oleh gempa pada tahun 1906, sebuah insektarium baru dibangun di Sacramento pada tahun 1907.

Kritik Oleh L.O. Howard

Howard merupakan asisten setia Riley di Washington selama berlangsungnya proyek *Vedalia*, dan ia menggantikan Riley sebagai ketua pada tahun 1896. Ia merasa terganggu dengan antusiasme Cooper dan ahli-ahli dari California selatan lainnya tentang pengendalian biologi. Menurutnya, proyek *Vedalia* di California telah menghambat perkembangan entomologi ekonomi di negara tersebut selama bertahun-tahun.

Janji Harry Scott Smith

Di bawah kepemimpinannya kerja pengendalian hayati di California berkembang hingga mantap sebagai salah satu departemen di Universitas California. Profesor Smith merasa pantas berbangga dengan penyempurnaan departemen pengendalian hama serangga, dan secara khusus ia tertarik dan membantu perkembangan fase-fase pengendalian biologi yang

mempunyai kaitan dengan pengendalian gulma dan patologi serangga.

Ekspansi Modern Dalam Pengendalian Hayati

Arti pengendalian hayati sebagai metode untuk menekan hama telah ditunjukkan kepada dunia melalui pengendalian *Icerya purchasi* dengan memakai *Vedalia* 1889. Tahun 1897 Koebele melakukan kerja praktis paling awal untuk penyakit serangga, jamur *Metarhizium*. Pada tahun 1902 Koebele mengirim serangga pemakan Lantana dari Meksiko ke Hawaii, dan ini kemungkinan merupakan "'' pengendalian biologi pertama terhadap gulma. Ini merupakan awal dari proyek-proyek pengendalian biologi di banyak negara perkembangan ke seluruh dunia sejak tahun 1900 terlalu banyak dipublikasikan tentang kesuksesan pada beberapa Negara di dunia. Laboratorium modern untuk pengendalian biologi juga banyak dibangun dan itu memberikan sumbangan besar baik untuk teori maupun praktek. Perlu diketahui bahwa istilah Pengendalian biologi merupakan pilihan baru sebagai alternatif untuk beberapa ungkapan lainnya yang mempunyai cakupan sempit. Tahun 1916, L.O. Howard menggunakan istilah "metode biologi untuk menyerang serangga. Tahun 1919 H.S. Smith memakai istilah pengendalian biologi" dan pada tahun berikutnya, bersama-sama dengan Armitage (1920) menggunakan istilah ini dalam judul makalah ilmiah mereka "Pengendalian Biologi *Mealy Bugs* di California.

Bab III

Ekologi Populasi - Sejarah Perkembangannya

Pendahuluan

Seerangga dikatakan hama jika menimbulkan kerugian secara ekonomis. Dua spesies sebagai individu sama-sama merugikan, karena perbedaan kepadatan populasinya, maka yang satu menjadi hama yang lain tidak. Dalam entomologi, perhatian terarah pada kepadatan populasi dan perubahannya. Adaptasi dan perilaku individu terhadap lingkungan memberi tanda bagi masalah, jumlah, tapi ada sifat khusus dari Populasi yang berbeda dari satu individu. Jadi, perlu dipelajari kedua individu itu dan kelompok individu, yaitu populasi. Individu dalam aneka daya alami. Istilah dinamika dikenakan pada daya yang mempengaruhi perubahan kepadatan populasi. Sebagai disiplin ilmiah hal ini dinamakan demologi.

Para entomologist yang berminat pada pengendalian

biologis telah memberi sumbangan kepada bidang ini. Smith dan Nicholson, telah menegaskan peran musuh alamiah dan faktor biotik lainnya di antara daya yang mengendalikan jumlah organisme. Penegasan ini menimbulkan diskusi kritis tentang pentingnya bahkan lebih besar dalam menentukan jumlah. Glen sebab itu perlu diadakan integrasi dari peran-peran itu dan perlu dihubungkan status musuh alami dalam keseluruhan kompleks kekuatan yang terlibat dalam penentuan jumlah populasi di dalam alami.

Kajian populasi akan membantu menjelaskan peran musuh alami dan faktor lainnya. Tinjauan serupa itu akan meletakkan dasar bagi pandangan kita tentang pengendalian alami. Tinjauan itu mencakup sejarah dan perkembangan konsep, ciri yang luar biasa pada populasi, pertumbuhannya, resistensi lingkungan untuk tumbuh, keseimbangan atau ekuilibrium antara jumlah populasi dan lingkungan, pengendalian atau regulasi jumlah, sumbangan daya abiotik bagi regulasi, dan peran musuh alami serta faktor biotik lain dalam kompleks lingkungan.

Lingkungan Ekologi Populasi

Di sini dibahas secara ringkas asal-usul konsep umum tentang lingkungan dan gagasan yang menjadi dasar dari dinamika populasi, termasuk konsep populasi dan komunitas organisme sebagai satuan, konsep lingkungan dan elemen interaksinya, kecenderungan populasi untuk bertambah banyak, kemampuan yang terbatas dari lingkungan bagi pertumbuhan itu dan hasil perjuangan individu/spesies untuk hidup.

Reaumur memberi sumbangan pikiran tentang konsep ekologi dengan mengamati beberapa cara di mana faktor lingkungan tertentu mempengaruhi serangga, khususnya di

bidang biologi pengendalian tentang parasitisme serangga dan tentang perilaku yang aneh dari parasitoid Hymenoptera dan serangga sosial tertentu.

Hubungan antara organisme yang ko-eksis dan hubungan kelompok organisme dengan lingkungan telah dipelajari oleh Charles Darwin. Interaksi dengan lingkungan telah dipelajari oleh Semper dengan peranan predator monophaga (satu jenis makanan), dengan mengembangkan 'piramida jumlah'.

Kajian kualitatif banyak dibahas jaringan rantai makanan mengungkapkan sebab dan akibat hubungan dalam jumlah spesies tertentu. Beberapa predator memangsa spesies khusus tetapi hanya menerangkan sedikit tentang jumlah yang ada pada waktu tertentu atau tentang perubahan jumlahnya sebab belum ada data kuantitatif dari kajian tentang makanan itu.

Kemampuan lingkungan yang terbatas; Perjuangan Untuk Eksis Gagasan over-populasi organisme menjadi simpulan bagi konsep bahwa populasi cenderung bertumbuh, bahwa lingkungan hanya dapat mendukung jumlah tertentu saja dan bahwa over-populasi akan mengakibatkan perjuangan untuk hidup di antara individu populasi. Di sini dapat diakui konsep dasar P tentang over-populasi pada manusia. Malthus menulis *Essay on the Principles of Population* membahas soal over-P dan mendorong penelitian ilmiah.

Charles Darwin menerima teori Malthus dan prinsip Malthus tentang '*struggle for existence*' sebagai tonggak evolusi. 'makan dan/atau dimakan' adalah elemen khas dalam konsepnya tentang 'jaringan kehidupan'.

Darwin menekankan soal aksi langsung dan kekuatan biotik, yang tadinya diabaikan karena terbatasnya ruang. Disimpulkannya bahwa di antara spesies tidak ada korelasi maka itu adalah intervensi. Menurut Darwin, kebanyakan tempat di bumi yang cocok untuk kehidupan segera ditempati

oleh makhluk hidup dan bahwa rata-rata bahan makanan tidak berubah kecuali karena proses evolusi organis 'yang lambat, atau perubahan geologis pada iklim atau lapisan tanah. Kompetisi antara hewan dan tumbuhan demi hal-hal yang mereka butuhkan di dalam lingkungan dan '*survival for the fittest*' adalah konsep Darwin. Ia merujuk pada kompetisi makanan, tempat untuk hidup, pemukiman, udara hangat atau tempat berair. Iklim berperan penting dalam menentukan jumlah rata-rata suatu spesies dan musim secara berkala yang dingin atau kering adalah penghalang yang amat efektif.

Darwin menekankan aksi tidak-langsung dari iklim, karena bukan hanya pakan tapi juga tempat tinggal sebagai obyek kompetisi yang menentukan. Darwin sudah menyinggung segi density-dependen dari penyakit epidemis. Asumsinya yaitu bahwa penyakit serupa itu sebagian besar tidak berhubungan dengan *struggle for existence* dan bahwa pada penyakit tertentu mungkin merupakan patogen pada kepadatan tinggi.

Pandangan Awal tentang Faktor-Faktor Perubahan

Perubahan yang besar dalam bentuk dan jumlah hewan di suatu tempat dan pada waktu tertentu menentukan agar mempelajari faktor fisik dari lingkungan. Hesse, Allee dan Schmidt menyatakan bahwa geografi hewani yang dikembangkan Wallace dan Heilprin mengabaikan faktor fisiologis dan ekologis mungkin karena yang diselidiki adalah burung dan mamalia yang tidak bergantung pada faktor seperti suhu sehingga ada pendapat bahwa iklim tidak berkorelasi dengan distribusi hewan. Kelembaban, curah hujan dan cahaya matahari lama baru diakui sesudah peran suhu diakui. Perkembangan konsep ekologi tentang lingkungan fisik dan serangga telah dianalisis oleh Usarov. Reaumur membahas

pengaruh mematikan dari dingin terhadap spesies serangga tertentu. Ross melaporkan tentang pengaruh salju kutub atas larva Lepidoptera *Lahia rossii* Curtis. Rodel mempelajari resistensi pada kumbang lebah, semut, dan lalat.

Prinsip Homeostasis; Sistem Homogen dan Heterogen

Herbert Spencer menguraikan konsep tentang stabilitas keadaan heterogen dan dengan implikasi, tentang instabilitas keadaan homogen. Tendensi sistem kehidupan mempertahankan stabilitas internal mereka dengan alat regulasi mereka sendiri yaitu homeostasis. Konsep ini adalah prinsip dalam fisiologi hewan. Aplikasinya pada individu lain disarankan ketika meneliti tentang pembagian kerja yang kompleks dan organisasi dari serangga sosial. Nyatanya pola evolusi yang diharapkan cenderung pada homeostasis itu. Misalnya, komunitas hewan dan P di mana mereka termasuk adalah lebih stabil dalam lingkungan di mana ada elemen biotik yang lebih kompleks, yaitu jenis organisme yang ada, dan kecenderungan ini juga pada kompleksitas yang lebih luas dalam kerangka fisik. Kompleksitas ini memberikan suatu sistem *checks and balance* yang lebih sesuai dan lebih tepat terhadap perubahan yang terjadi. Dalam komunitas homogen yang sederhana, sebagai kontrasnya, tendensi untuk berfluktuasi secara eksemis dalam hal jumlah itu lebih kentara, karena kurangnya sistem *checks and balances* yang lebih tepat.

Adaptasi yang lebih sempurna dari organisme terhadap suatu stress fisik, khususnya kalau intensitas stres itu berubah-ubah menurut waktu, akan meyakinkan organisme itu suatu posisi aman dalam komunitas; sehingga spesies yang berinter-relasi dalam komunitas itu serta keseluruhannya akan lebih stabil. Begitu juga tentang asal-usul relasi inter-relasi yang lebih aman di antara pelbagai spesies atau organisme dalam

ekosistem. Konsep homeostasis dapat diterapkan pada individu, populasi dan komunitas biotik atau ekosistem. Pandangan Spencer tentang stabilitas pada sistem yang lebih kompleks ini penting sekali dalam pengendalian biologis.

Ekologi Populasi Kuantitatif

Kajian ekologi yang rinci dan kuantitatif tentang pengaruh lingkungan terhadap organisme adalah bersifat autekologis. Kajian pada kelompok organisme atau individu organisme dalam hubungan dengan faktor yang inter-relasi dengan lingkungan mereka, tertunda karena kelompok kajian menghendaki latar belakang yang lebih luas tentang fakta dan konsep daripada yang sudah ada.

Perlahan-lahan, dalam abad ini, konsentrasi pada individu, berlawanan dengan pada kelompok, membuat maraknya penelitian kuantitatif terhadap alam dan sifat-sifat P. Kajian tentang suksesi ekologi, munculnya teknik biometri, pemahaman awal tentang sifat dan ciri kelompok dan konsep bahwa P yang kuantitatif. Hakikat agregasi hewan dan konsep bahwa aksi ko-operasi sebagai faktor keberhasilan organisme dan sebagai kekuatan dalam evolusi organisme itu, bersama konsep kompetisi, adalah titik peralihan ke kajian kuantitatif tentang P yang berinteraksi.

Pertumbuhan Populasi

Kajian yang memusatkan perhatian pada awal ekologi populasi kuantitatif dibuat oleh Pearl dan Reed tentang pertumbuhan bentuk P manusia dengan memakai persamaan logistik dari Verhulst yang menganalisis pertumbuhan P adalah langkah besar dalam konsep populasi alami.

Persamaan logistik Verhulst dan Pearl bersifat sajian matematis tentang gagasan Malthus mengenai pertumbuhan

populasi dan resistensi lingkungan, persamaan itu menggabungkan tendensi populasi suatu organisme untuk bertambah banyak sesuai dengan progresi geometrik, dan tendensi lingkungan untuk membatasi kepadatan yang terlalu tinggi karena penambahan populasi itu. Hubungan pertumbuhan logistik itu dapat dituiis sebagai berikut :

$$dD/Dt = nD(A-D)/A$$

dimana n adalah tingkat potensi reproduksi dari organisme (laju reproduksi maksimum yang mungkin di bawah kondisi yang ada); D adalah kepadatan organisme pada waktu tertentu; t ; A . adalah" maksimum kepadatan yang mungkin di bawah kondisi khusus; dan pernyataan dD/Dt menunjukkan laju perubahan jumlah menurut waktu. Guna menentukan kepadatan pada waktu tertentu sesudah awal pertumbuhan, digunakan integral dari persamaan diferensial:

$$(A/(1+e^{a-bt}))$$

di mana e adalah konstanta dengan nilai 2.718 , dan a dan b adalah konstanta empiris bagi situasi khusus yang ada.

Hubungan logistik itu dapat dinyatakan sebagai berikut : jika, di bawah kondisi fisik yang konstan, pada awal P suatu organisme diperkenalkan ke dalam lingkungan yang menyenangkan, maka pertumbuhan akan mulai dengan lambat dan cenderung pada kenaikan geometris; lalu kenaikan itu akan menjadi semakin terhambat sampai mencapai titik nol, di mana titik kepadatan P adalah ekuilibrium dengan lingkungannya (Smith, 1935).

Resistensi Lingkungan

Kajian kuantitatif tentang pertumbuhan populasi dari 4 kumbang tepung *Tribolium confusum* Jagdu Val di bawah pimpinan R.N. Chapman dari 1920 sampai 1930, memberikan banyak informasi tentang hakikat pertumbuhan populasi dan

resistensi lingkungan terhadap pertumbuhan. Kedua premis dasar tentang teori logistik itu dipelajari dan dinilai dan mekanisme yang mungkin guna mengetahui premis itu dapat diperhitungkan karena sudah diperoleh. Chapman mendemonstrasikan bahwa mulai dengan jumlah kecil dari 4 kumbang tepung dalam botol berisi media pakan yang sesuai, jumlah koloni resultan kumbang itu meningkat, dan akhirnya mencapai level maksimum di mana populasi tetap atau menurun ke level yang lebih rendah. Ditunjukkannya bahwa *Tribolium* dewasa memakan telur mereka sendiri dan bahwa sementara kepadatan kumbang naik, telur dimakan dengan laju yang meningkat. Faktor ini menjadi checks yang internal atas jumlah kumbang yang akhirnya dapat dipertahankan dalam kultur serupa itu. Chapman memandang bahwa faktor mortalitas intra-spesies ini adalah suatu bentuk resistensi lingkungan. Kajian ini membawa Chapman pada konsepnya tentang penentuan populasi sebagai suatu balance antara 'potensi biotik' dan 'resistensi lingkungan'.

Resistensi lingkungan yaitu keseluruhan faktor yang cenderung membatasi pertumbuhan populasi aktual. Kalau potensi biotik adalah nilai yang tetap maka resistensi lingkungan adalah berubah-ubah, bergantung pada kondisi eksternal dari lingkungan yang ada, dan pada kepadatan organisme.

Ekuilibrum atau Keseimbangan Populasi

Peristiwa-peristiwa sesudah suatu populasi melampaui tahap pertumbuhan awal dalam lingkungan yang baru adalah penting bagi para ekolog lapangan. Jika proyek pengendalian biologis serangga dimulai maka spesies hama biasanya telah mencapai posisi ekuilibrium. Kajian dari Gause dkk, dengan memakai populasi protozoa, yeast dan mites, diarahkan pada

penerapan teori logistik Verhulst dan Pearl, membawa pada kesimpulan bahwa level asymptotik dari persamaan logistik adalah hasil dari konsep potensi biotik dan resistensi lingkungan Chapman. Karya Gause tentang hubungan predator-mangsa menunjukkan bahwa jumlah tempat lowong dalam lingkungan dapat berfungsikan itu merupakan modifikasi dalam ekuilibrium yang ada antara potensi biotik dan resistensi lingkungan.

Premis dasar dari teori logistik Verhulst-Pearl dan teori potensi biotik dan resistensi lingkungan Chapman memperkenalkan konsep yang fundamental dalam ekologi P, tentang kepadatan ekuilibrium dari level khusus jumlah populasi di alam. Inilah gagasan dasar dari keseimbangan alam.

Spencer telah memakai istilah '*ekuilibrium*' bagi kondisi dimana tendensi ekspansi dari P dan kekuatan represif dari alam dapat menghasilkan kepadatan populasi rata-rata. Pemakaian ini berkonotasi dengan 'keseimbangan' atau 'ekuilibrium dinamis'. Pada pihak lain, tetap stabil dalam jumlah yang memadai pada suatu waktu, dan tercapainya stabilitas ini menjadi dasar bagi teori potensi biotik dan resistensi lingkungan dari Chapman.

Asal Mula Konsep Pengendalian Alami

Di sini dibahas asal mula dari gagasan dasar tentang aneka faktor atau proses lingkungan yang memasuki atau yang diasumsikan memasuki penentuan jumlah populasi di alam.

Pengendalian alami yaitu upaya mempertahankan kepadatan populasi yang kurang atau lebih berfluktuasi di dalam limit atas atau limit bawah yang tertentu dalam periode tertentu dengan kombinasi aksi dari seluruh lingkungan. Aneka faktor atau pengaruh lingkungan pada suatu organisme di bagi atas faktor biotik yaitu faktor yang mempengaruhi organisme

lain atau pengaruh yang berasal dari organisme lain, dan faktor biotik seperti iklim, tanah, udara, ruang dan cahaya matahari,. Pertanyaan apakah elemen biotik atau faktor abiotik itu lebih penting dalam menentukan kepadatan populasi sudah lama dibahas orang.

Pengaruh Faktor-Faktor Biotik

Pentingnya musuh alami, khususnya serangga entomofagous, dalam kontrdi hama serangga sudah pelajari secara teori dan praktek. Hubungan penyakit dan jumlah serangga belum lama dicermati orang, tentang periode naik turunnya jumlah hama serangga, lain mengamati bahwa jika serangga sudah sangat merusak selama 2 atau 3 tahun dan telah berlipatganda sampai pada titik di mana proporsinya sudah merupakan wabah, maka ia menghilang, biasanya secara tiba-tiba. Menurut pengalaman, hal itu hampir pasti merupakan kerja parasitoid sehingga retrosesi yang cepat dari spesies yang merusak itu. Dia juga melihat bahwa ada hubungan antar parasitoid dengan hama serangga jika jumlah serangga itu lebih stabil.

Hingga saat ini konsepsi tentang faktor mengontrol jumlah serangga yaitu total mortalitas. Mekanisme dengan mana faktor mortalitas dapat mengontrol kepadatan belum diakui. Tetapi Howard dan Fiske mengemukakan pandangan yang jelas tentang bagaimana faktor mortalitas itu berfungsi sehingga dapat mengadakan pengendalian itu. Mereka menganggap bahwa gagasan tentang intensitas aksi dari faktor lingkungan tertentu itu berhubungan dengan kepadatan P yang mejadi obyek aksi itu. Mereka membedakan dua penyebab mortalitas : (1) faktor 'katastrofi- bencana', yang membinasakan

proporsi yang konstan tanpa pengaruh kepadatan, (2) faktor fakultatif, yang membinasakan suatu presentasi tertentu yang meningkat menurut kenaikan kepadatan organisme.

Model Teoritis Interaksi Inang-Parasitoid

Pada akhir abad 19 ketika banyak praktek yang menggunakan serangga entomofagous guna membasmi hama serangga, masih sedikit diketahuui orang tentang cara kuantitatif dengan mana kontrol biotik diadakan, atau sifat dan kebiasaan biologis apa yang menjadikan parasitoid atau predator menjadi agen pengendali yang efektif. Jadi landasan empiris bagi pengendalian biologis sudah dipahami tetapi fondasi teoretis yang tepat bagi pengendalian biologis atau hubungan antara serangga inang den parasitoidnya den predatornya belum dikembangkan.

Usaha pertama yang merumuskan hubungan kuantitatif antara spesies hevvan yang ko-eksis seperti parasitoid dan serangga inangnya menekankan sir at kesuburannya. Belleroye dan Laurent menunjukkan bahwa pada kapasitas reproduksi tetapp 100 telur per betina inang, ada kesuburan yang serupa pada parasitoid, dengan rasio seks 1: 1 bagi kedua spesies, dan dengan parasitoid yang bertelur satu butir per inang dan berkembang serupa itu maka jumlah inang akan bekurang dalam 4 generasi. Sebelum hasil akhir itu, jumlah inang akan meningkat dengan faktor 50. Model aljabar sederhana tentang interaksi inang-parasitoid yang identik dengan model tadi telah di kembangkan oleh Muir.

Thompson, dalam upaya merumuskan metoda untuk menentukan kemajuan parasitoid yang diintrodusir di

lapangan dan guna memperkirakan waktu yang dibutuhkan bagi terjadinya pengendalian, melihat dasar matematis tentang interaksi inang-parasitoid dengan memperluas model aritmatik tadi. Dia mentransformasikan model aritmatik ke model aljabar yang membebaskannya dari persyaratan nilai biologis yang dinyatakan dengan tegas, misalnya tingkat kesuburan.

Dengan memakai persamaan serupa itu, Thompson menghitung jumlah generasi di mana kepadatan inang akan berukuran hingga nol. Karena itu kalau laju reproduksi inang dan parasitoidnya sama, maka inang akan berkurang menurut waktu (generasi)

$$t = n/p$$

di mana n dan p adalah kepadatan awal dari inang dan parasitoid. Jika laju reproduksi parasitoid lebih besar daripada laju inang, selalu akan ada nilai tetap t , yaitu beberapa generasi yang akan datang, di mana kepadatan inang menjadi nol. Jika laju reproduksi parasitoid s kurang daripada laju inang h , maka untuk membasmi inang dalam beberapa generasi yang tetap t , rasio kepadatan awal, n dan p , harus sedemikian rupa sehingga $pin = (h-s)/s$. Dalam hal khusus di mana $pin = (h-s)/s$, maka derajat parasitoidisme tetap dan dua populasi meningkat dalam proporsi yang sama.

Thompson menyederhanakan model sederhana yang tidak realistis ini menjadi model yang kompleks tetapi realistis dalam kasus perubahan rasio seks dari inang dan parasitoid, perubahan kapasitas merusak dari parasitoid, di mana kapasitas reproduksi parasitoid berubah menurut kepadatan inang dan atau kepadatan parasitoid, dan pengaruh superparasitoidisme atas kapasitas reproduksi parasitoid. Jika parasitoid bertelur lebih dari satu telur dalam satu inang, tetapi hanya satu telur yang dipakai untuk menghasilkan keturunan yang dewasa, maka dijumpailah fenomena superparasitisme.

Model-model sebelum ini didasarkan atas matematika progresi geometrik yang mengarah pada kenaikan progresif jumlah parasitoid. Lotka menanggapi model Thompson tetapi dengan premis bahwa pembinasaan individu inang oleh parasitoid adalah suatu rungsi bukan hanya pada jumlah parasitoid tapi juga jumlah inang. Dengan menggunakan kalkulus dan dengan mengasumsikan overlapping generasi, Lotka tiba pada hasil bahwa bagi setiap nilai jumlah inang ada nilai yang sejalan pada jumlah parasitoid, dan bahwa ketiga kepadatan inang bertambah maka kepadatan parasitoid pun bertahan, yang pada gilirannya akan membuat turunnya jumlah inang disusul turunnya jumlah parasitoid dan begitu seterusnya, siklus demi siklus. Jika dihitung secara matematis, hasilnya, meskipun bersifat berkala, akan sampai pada interaksi yang makin berkurang, yang oleh Lotka disebut goyangan yang lembab (*damped oscillation*).

Perlakuan matematis tentang interaksi antara spesies hewan yang ko-eksis yang ada dipimpin oleh Volterra yang merumuskan suatu model interaksi inang-parasitoid yang hampir sama dengan Lotka.

Berdasarkan pemakaian kalkulus, premis fundamental tentang pertumbuhan jumlah berganda, dan modifikasi koefisien kenaikan dengan kepadatan spesies yang ko-eksis membawa kepada fluktuasi yang siklis dan kontinu pada jumlah inang dan parasitoid. Volterra melihat pengaruh faktor mortalitas yang lazim pada inang dan parasitoid yaitu berpindahnya mereka dari sistem proporsi yang sebanding dari dua spesies yang berinteraksi. Dari gagasan tentang sistem biologis dari suatu hewan yang memangsa yang lain, Volterra menyimpulkan :

1. Hukum Siklus Periodik. Fluktuasi kedua spesies itu bersifat periodik bergantung pada koefisien kenaikan

inang dan berkurangnya parasitoid dan kondisi jumlah awal.

2. Hukum konservasi terhadap rata-rata. Rata-rata jumlah individu kedua spesies itu konstan apapun nilai awal dari jumlah individu kedua spesies sepanjang koefisien kenaikan dan penurunannya dan proteksi sena pembelaan mereka konstan.
3. Hukum gangguan pada rata-rata, Jika diusahakan pembinasakan individu kedua spesies secara seragam dan menurut proporsi jumlah mereka, maka rata-rata jumlah individu spesies yang dimangsa akan meningkat dan bahwa individu spesies pemangsa akan berkurang. Naiknya proteksi atas spesies mangsa akan menaikkan kedua rata-ratanya.

Teori Nicholson-Bailey tentang interaksi inang-parasitoid digambarkan pada parasitoid internal yang tunggal. Ada kepadatan parasitoid yang khusus sehingga pada inang yang surplus akan hancur, yaitu akan dimangsa parasit, dan juga ada kepadatan inang yang khusus sehingga kepadatan parasitoid akan dipertahankan. Jadi, kepadatan inang dan parasitoid tetap. Situasi ini disebut sistem 'tahap mantap' dan kepadatan hewan yang ada disebut kepadatan mantap.

Nicholson-Bailey meneliti sesuatu itu secara deduktif dan matematis dan men'limpulkan bahwa kepadatan mantap pada inang dan parasitoid hanya bergantung pada kapasitas reproduksi inang dan daerah beradanya parasitoid. Mereka meneliti juga situasi lain yang dimana parasitoid bertelur lebih dari satu telur dalam inang, di mana fraksi yang tetap dari keturunan parasitoid dibinasakan oleh faktor lingkungan yang

lain, seperti cuaca, dan dimana kurang hubungannya siklus hidup inang dan parasitoid.

Mereka memperlakukan Populasi hewan 'lang berinteraksi ketika tidak berada pada tahap mantap. Ini mencakup situasi fluktuasi yang lebih luas dan lebih realistis. Dalam hal parasitoid khusus bertelur hanya satu telur per inang dapat ditunjukkan bahwa kalau P_n dan h_n adalah kepadatan parasitoid dan inang, selama generasi n , dan a adalah daerah yang diliput dan jika F adalah koefisien reproduksi inang maka kepadatan awal pada keturunan inang dari inang h adalah Fh : parasitoid, mencari di antara keturunan inang, mencakup daerah seluas ap . Karena randomnya pencarian mereka dan karena averlappingnya jalur mereka P , parasitoid tidak mungkin menaklukkan inang dengan; keberhasilan yang sama. Oleh karena itu, maka fraksi yang mungkin dari keturunan inang yang menghindari dari parasitoid adalah proporsional dengan Jle^{ap} atau biasanya dinyatakan e^{-ap} . Oleh karena itu kepadatan akhir dari keturunan inang yang dapat melarikan diri dari parasitoid dan menyusun generasi selanjutnya adalah $n + 1$, yaitu :

$$h_{n+1} + I = Fh e^{-apn}$$

dan, ketika jumlah keturunan inang dijumpai oleh parasitoid sama dengan jumlah awal keturunan itu dikurangi dengan yang melarikan diri, jumlah parasitoid pada generasi berikutnya adalah :

$$P + I = Fh - h_1$$

persamaan yang terjadi ini, jika diteliti pada beberapa generasi, akan menunjukkan bahwa kepadatan inang dan parasitoid bergerak di sekitar kepadatan mantap mereka. Analisis matematis menunjukkan bahwa dalam kasus

seederhana dan terbatas yang dipelcjari itu, gerakan tersebut berlanjut secara tidak pasti, tetapi dengan kenaikan amplitude-Gambar-5. Tesis dasar teori keseimbangan Nicholson-Bailey yaitu bahwa kepadatan hewanlah yang mengendalikan tingkat dimana tendensi menaikny jumlah mereka lebih besar, sama atau ,lebih kurang daripada daya penghambat dari lingkungan. Tentang resistensi lingkungan, yang paling sederhana yaitu aksi kerumunan individu lain dari spesies yang sama, yakni kompetisi intra-spesies untuk mendapatkan ruang, tempat berlindung, makanan dan kebutuhan hidup yang lain.

Pengaruh Faktor-Faktor Abiotik

Pandangan Darwin tentang kompetisi dan tentang musuh alami daiam seleksi alam dan dalam penentuan jumlah kehidupan telah mendorong timbulnya perhatian yang besar dan kajian terhadap faktor biotik sebagai agen pengendali dalam dinamika populasi suatu spesies. Tetapi, dengan meningkatnya pengetahuan tentang cara yang tepat dan kuantitatif dirnana faktor fisik lingkungan, khususnya iklim, mempengaruhi reproduksi, perkembangan dan kelangsungan hidup hewan, peran faktor abiotik dalam fenomena populasi juga sJdah dipahami dengan baik. Belakangan ini telah dinyatakan bahwa faktor iklim adalah pengaruh yang dominan terhadap segi-segi siklus kehidupan individu serangga seperti reproduksi, pertumbuhan, kesuburan dan lama hidup.

Kajian yang cermat terhadap hama serangga menyatakan bahwa pengendalian alami atas spesies serupa itu memang ada, tetapi tak ada faktor biotik yang jelas, seperti musuh alami, kompetisi intra dan anter spesies demi makanan atau ruang atau kekurangan persediaan makanan karena serangga yang

terdapat di dalam lingkungan mereka yang dijadikan faktor pengendalian alami. Tetapi fluktuasi jumlah sangat berhubungan dengan terjadinya perubahan cuaca. Disimpulkan bahwa kepadatan populasi spesies yang dipelajari maka dipostulatkanlah bahwa pengendalian alami serupa itu berasal dari keseimbangan cuaca yang baik dan yang buru setiap tahun. Oleh karena itu sebagian dari suatu tahun atau beberapa tahun, kondisi cuaca adalah cocok untuk pertumbuhan populasi spesies ini dan kepadatan populasi ini naik. Selanjutnya cuaca menjadi buruk dan karena berkurangnya makanan karena gangguan cuaca itu dan musim kering yang berkepanjangan yang menaikkan tingkat mortalitas, maka kepadatan populasi menurun. Banyak pembunuhan total disebabkan karena suhu yang berlebihan, kelembaban, curah hujan dan sebagainya.

Hal ini membuat para entomologist berkesimpulan bahwa urutan tingkat kepentingan yang menentukan jumlah serangga di suatu daerah tertentu bergantung pada jumlah mortalitas yang disebabkan oleh setiap faktor atau derajat kerusakan pada kekuatan dan kesuburan. Oleh karena itu, pentingnya aneka faktor iklim digabung dengan mortalitas karena parasitoid, predator dan penyakit pada umumnya telah diakui mengangkat pentingnya faktor fisik dalam penentuan jumlah serangga di suatu populasi.

Kesulitannya yaitu bahwa presentasi pembunuhan tidak menunjukkan jumlah serangga yang tetap hidup, presentasi itu gagal menjawab pertanyaan apakah surplus serangga yang dihasilkan oleh genesisi sebelumnya telah dikurangi oleh faktor-faktor tersebut. Aspek mortalitas ini tetap penting dalam dinamika populasi karena jika seluruh surplus yang dihasilkan

dalam setiap generasi diperhitungkan dengan aneka faktor monalitas lingkungan, maka jumlah di wilayah itu akan meningkat dari tahun ke tahun. Atau jika faktor mortalitas meillbunuh lebih banyak daripada surplus yang dihasilkan setiap generasi maka populasi akan menurun setiap tahun dan akhirnya punah.

Bab IV

Konsepsi dan Makna Pengendalian Alami

Pendahuluan

Menurut fakta yang diselidiki, spesies dari organisme tidak bertambah secara tak terbatas dalam jumlah atau range karena faktor biotik dan abiotik. Pengendalian alami terhadap serangga muncul berdasarkan dari pengamatan bahwa faktor biotiknya, khususnya parasitoid serangga, predator dan patogen mampu menekan banyak hama sehingga mencegah kerusakan serius pada panen dan produk. Belakangan ini telah diungkapkan bahwa pemakaian aneka pestisida membuat serangga dan tungau menjadi hama yang serius. Ini disebabkan oleh berkurangnya musuh alami.

Guna memahami keterbatasan dan potensi musuh alami yang mempengaruhi pengendalian biologi atas hama serangga kita perlu menghubungkan kegiatan mereka dengan segala kekuatan lingkungan yang mempengaruhi sukses mereka atau

yang mempengaruhi spesies yang mereka serang. Jadi, perlu ditinjau semua faktor yang mendorong melimpahnya organisme itu. Bab ini membahas integrasi semua kekuatan dalam pengendalian alami.

Pengendalian alami mencakup aksi gabungan dari semua faktor abiotik dan biotik untuk dan pemeliharaan kepadatan populasi. Ada penulis yang merujuk eksistensi kepadatan yang karakteristik itu dengan istilah "keseimbangan" "keseimbangan alami" atau "keseimbangan populasi makhluk hidup". Ada yang merujuk kata "keseimbangan" pada pembatasan kepadatan populasi alami, atau pada hasil mekanisme pengaturan kepadatan, atau pada faktor lingkungan yang cenderung mengganggu kepadatan populasi.

Jenis-Jenis Keseimbangan

Karena jumlah dan jenis hewan dan tumbuhan bergantung pada evolusi masa silam maka pengendalian alami bergantung pada evolusi. Jika ada banyak jenis yang memanfaatkan suatu sumber maka akan terjadi interaksi. Pola evolusi menyatakan bahwa ada keseimbangan antara aneka bentuk elemen lawan dalam alami. Evolusi membimbing kita ke asal suatu bentuk baru yang mengisi peranan baru atau mengisi peranan lama secara lebih efisien. Ada tendensi meningkatnya kompleksitas komunitas biotik sebagai sumber baru sehingga peranan dan interaksi baru yang potensial pun bertambah.

Ciri dari spesies berasal dalam penyesuaian terhadap lingkungan. Ada interaksi antara aneka jenis organisme seperti spesies tertentu yang ada dalam jumlah yang bertalian dengan spesies lain dalam ekosistem. Kita rumuskan 'ekosistem' sebagai sistem yang berinteraksi yang terdiri atas semua makhluk hidup dan lingkungan non-hayati, di dalam suatu

wilayah yang cukup besar yang memungkinkan pertukaran energi yang khas untuk melestarikan organisme komponennya.

Guna menjalankan konsep stabilitas atau homeostasis, organisme yang interaksinya sedemikian rupa sehingga daya dukung terhadap ekosistem sangat tidak stabil akan cenderung diganti oleh spesies yang lain oleh spesies yang mampu memanfaatkan sumber secara lebih stabil, lebih efisien, dan kurang mengganggu komunitas dan habitat. Konsep Herbert Spencer tentang stabilitas yang lebih besar pada sistem-sistem yang heterogen umumnya digunakan oleh para ekologis modern. Makin besar interaksi dan keseimbangan dalam kompleks komunitas *biotik*, makin besar stabilitas populasi spesies oleh karena aneka bentuk gabungan maka spesies yang bersaing dan spesies musuh alami yang berhubungan dengan populasi spesies itu dan spesies musuh alami yang berhubungan dengan spesies tertentu dipengaruhi oleh perubahan kondisi yang berbeda, maka *keberadaan* dari kompleks musuh-musuh alami berarti meningkatnya migrasi musuh alami, terutama karena perubahan kondisi.

Dengan asumsi bahwa suatu komposisi genetik tertentu maka pengendali alami yang umum dan luas dihasilkan dari integrasi *dua* parameter dasar (1) ketersediaan jumlah kebutuhan yang terbatas bagi kehidupan. (2) Pemanfaatan kebutuhan itu. Interaksi spesies, musuh-musuh alami dan bentuk lainnya yang perlu dalam kelimpahannya dapat menghambat atau menekan pemanfaatan kebutuhan. Makhluk hidup ini hanya eksis dalam komunitas *biotik* bila lingkungan abiotik baik. Jadi nampak bahwa bahan pembatas jumlah organisme adalah parameter pertama. Bumi dan organisme berlangsung pembatasan alami dari segi kondisi, cuaca dan keadaan tanah yang dapat dialami oleh organisme. Sebaliknya organisme itu secara intrinsik terbatas kemampuannya untuk

eksis dalam kondisi yang berubah itu dan untuk memanfaatkan aneka sumber. Jika suatu populasi selalu memanfaatkan beberapa jenis kebutuhan minimum seperti lokasi tempat tinggal, tanpa gangguan dalam pemanfaatan oleh kepadatan atau kelimpahan jenisnya yaitu tanpa suatu penahan yang mendorong kepadatan, baik mutu maupun efisiensi yang mempengaruhi pemanfaatan maka kelimpahan suatu spesies akan dibatasi oleh kapasitas lingkungan. Dalam hal ini keseimbangan akan tergantung semata-mata pada level kebutuhan minimum itu.

Dalam keseimbangan ini konsep kepadatan yang dependen sebagai unsur yang perlu guna menghasilkan keseimbangan tersebut adalah *kurang bermanfaat*. Jika sumber pembatas tidak terikat dalam batas-batasnya tetapi meningkat secara tidak tentu maka sejauh sumber itu saja, populasi itu akan sangat meningkat secara tidak beratu" dan pada laju yang seimbang dengan sumber pembatas itu. Tidak ada suatu ketetapan kecuali pada waktu tertentu dalam hubungannya dengan kondisi. Jadi, bukan kepadatan dependen yang mencegah ketidaktentuan suatu landasan apriori. Penyebabnya yaitu keterbatasan kemampuan lingkungan. Tetapi tentang populasi alami tidak digambarkan situasi di mana reaksi pengatur kepadatan tidak berperan penting dalam modifikasi atau penyesuaian kepadatan dengan waktunya atau dengan kondisi yang ada dan yang terlibat dalam mortalitas pada keadaan *kurang bermanfaat* itu. Jadi, menurut Thompson, konsep tentang keseimbangan adalah elemen-elemen pengendali alami yang esensial. Namun, pandangan Nicholson tentang balance memberikan hubungan yang lebih tepat yaitu meliputi mekanisme yang mengatur keseimbangan pada populasi dalam hubungan kondisi dengan lingkungan tertentu. Dalam konsep keseimbangan dari Thompson, yang dipandang

sebagai suatu keseimbangan tetapi sebagai pengendalian alami, ada kemungkinan stabil dan tidak stabil. Perubahan suhu misalnya, mungkin berbeda sekali pada beberapa kawasan tetapi pada kawasan lain sedikit saja. Pada kasus pertama, lingkungan bersifat tidak stabil dan pada populasi spesies yang lebih banyak akan tidak seimbang karena gangguan suhu.

Sebaliknya, kalau kekuatan abiotik secara konstan lebih baik dan stabil, tidak ada kenaikan yang dapat diamati kecuali bebrapa kegiatan yang berhubungan dengan kepadatan. Mekanisme serupa itu tidak dapat dipilih-pilah atau diubah menurut perubahan kondisi atau kapasitas lingkungan. Populasi i:u akan eksis pada garis keseimbangan yang khusus dengan kelimpahan alami yang nyata menurut Nicholson kecenderungan pernbalikan yang korektif pada garis keseimbangan karena penggantian. Interaksi biotik yang inheren, juga dalam lingkungan fisik yang konstan dapat menimbulkan fluktuasi di sekitar posisi garis keseimbangan. Inilah bentuk keseimbangan yang dipandang sebagai hasil mekanisme spesifik.

Keseimbangan intrakomunitas dan Keseimbangan Intraspecific

Keseimbangan adalah arti yang relatif. Ini menyatakan *bahwa* kekuatan atas benda eksis pada level yang khas dalam arti mutlak atau dalam hubungannya dengan kekuatan. Keluasan arti tingkat kelimpahan sekarang ini boleh dikatakan tidak nol dan esok secara lebih besar, juga mungkin tidak mutlak stabil. Perubahan lingkungan, sebagaimana perubahan pada hewan, dalam hal ini keseimbangan dapat menyenangkan dan tidak menyenangkan telah berubah. Namun, ada juga yang mengatakan bahwa keseimbangan tidak mempunyai arti sebab biota suatu kawasan telah sangat berubah dari suatu masa biologis ke masa lain. Keseimbangan intrakomunitas sangat

kompleks, khususnya dalam komunitas yang sangat heterogen, tapi gejala yang sarna ada *stabilitas* yang besar dalam komunitas kompleks.

Hama serangga lebih hebat pada tanaman pangan kompleks vegetasi alami tapi dalam komunitas yang sederhana, faktor-faktor lingkungan tunggal yang mendominasi perubahan kepadatan dapat dipakai untuk meramalkan kepadatan masa yang akan datang. Meskipun faktor-faktor kunci mungkin berubah menurut waktu dan tempat. Dalam komunitas kompleks lebih banyak faktor pengendalian yang ada dan lebih banyak kemungkinan tindakan kompensasi. Jika satu musuh gagal, yang lain dapat menggantikannya, juga kalau pada level kepadatan mangsa yang lebih tinggi, bahkan dalam situasi yang agak kompleks, Morris menunjukkan dengan analisis faktor tunggal, bahwa elemen-elemen lingkungan tunggal dapat juga mendominasi perubahan kepadatan.

Situasi hipotetis yang relatif terhadap strawberry, kutu tumbuhan dan predatornya hanya bersifat saran tentang integrasi tingkat tinggi dalam komunitas kompleks. Dalam entomologi, yang ekonomis perlu spesies hama tunggal. Kita hanya memperhatikan keseimbangan interspecific meskipun diakui bahwa balance intrakomunitas dipengaruhi oleh keseimbangan umum atau tidak seimbang dari komunitas di mana populasi tertentu merupakan bagiannya. Tapi, dengan pemakaian analisis metoda pengecekan, kita dapat menetapkan pengaruh dari musuh alami atau populasi tertentu, juga walaupun kondisi-kondisi lain terdiri atas jumlah yang tidak diketahuui. Jadi, kita membahas tentang mekanisme pengendalian pada populasi pada spesies tunggal di alam. Kita memandang 'populasi alami' sebagai kelom pok inter-breeding dari spesies yang sama yang menempati kawasan alami dalam

ukuran yang memadai bagi populasi itu untuk berproduksi, mempertahankan kelanjutannya dan memperlihatkan ciri-ciri khas misalnya pertumbuhan, penyebaran, fluktuasi, dispersal, dan variabilitas genetik.

Mekanik Pengendalian Alami

Kegiatan lingkungan sebagai suatu totalitas dan unsur-unsurnya berada dalam interaksi yang penting, adakalanya lemah. Dalam mengelompokkan peranan atau faktor-faktor, kita cenderung memisahkan bagian lingkungan yang tak terpisahkan yang merupakan inti dari pengendalian pengendali alami. Namun, perlu membedakan antara kekuatan dan kejadian yang sedikit diarahkan ke kepadatan dan yang tidak diarahkan ke kepadatan, untuk memahami hakikat esensial peranan mereka.

Pengendali alami mempunyai dua komponen pengecekan : (1) ada batas tingkatan umum keadaan yang menyenangkan dan variasinya, bergantung pada iklim dan keadaan tanah suatu daerah. Ini berhubungan dengan fakta tentang keterbatasan intrinsik suatu spesies. (2) Pada setiap level kondisi tertentu yang ditetapkan oleh lingkungan, mekanisme pengaturnya mengecek populasi di dalam kerangka itu. Fakta biologi menunjang pandangan bahwa (1) ada kekuatan di alam yang membatasi potensi populasi, yang independen terhadap kepadatan populasi, (2) ada kekuatan lain yang mempengaruhi populasi, yang intensitasnya mempunyai hubungan progresif dengan kepadatan, (3) Kekuatan tadi tidak membatasi jumlah secara sederhana meskipun dapat langsung mengubah kepadatan, (4) Kekuatan 2 mengatur kepadatan dalam hubungan dengan kerangka yang ditetapkan oleh kekuatan sebelumnya. (1).

Mekanisme Dasar dan Elemen Keseimbangan

Ada dua kekuatan untuk mencapai yaitu (a) daya prokreatif inheren yang tinggi dan gerak prokreasi pembatas yang bergantung pada kepadatan. Daya represif dari lingkungan terdiri atas banyak kekuatan yang melawan pertumbuhan populasi tapi daya yang bergerak secara independen dari kepadatan itu tidak memiliki kualitas daya lenting yang peka yang sejajar dengan daya lenting yang besar pada kekuatan prokreatif, artinya mereka tidak memiliki peran khusus sebagai mekanisme keseimbangan. Kedua kekuatan tadi bergeser menurut kondisi lingkungan termasuk kepadatan populasi, berubah menurut tingginya reproduksi yang biasanya lebih kuat pada posisi kepadatan rendah dan mortalitas tinggi atau natalitas rendah dari penyebab-penyebab pendorong-kepadatan yang signifikannya meningkat sejalan dengan kenaikan kepadatan. Gerak-gerak itu disebut aksi density-dependent (Smith) atau reaksi density-induced (Nicholson) pembatasan density-induced oleh Huffaker. Elemen ini, mekanisme pengatur' atau aksi density-dependent', kami definisikan sebagai gerak represif karena faktor lingkungan, baik secara kolektif atau secara berdiri sendiri yang diintensifkan sebagai kenaikan kepadatan populasi dan berkurang ketika kepadatan menurun.

Kategori kekuatan umum yang terjadi dan bergerak tanpa terkait dengan kepadatan itu disebut '*Conditioning forces*', yaitu faktor atau agen lingkungan yang tidak terpengaruh oleh kepadatan, yang membantu menetapkan kerangka kapasitas lingkungan yang potensial atau mempengaruhi realisasi populasi interim jika kapasitas itu tidak tercapai.

Kondisi itu meliputi gerak represif yang density-independent yang langsung dan yang tak-langsung. Yang langsung ada dua yaitu faktor density-independent dan faktor

density-dependen. Yang kedua tadi menentukan kepadatan, sedangkan yang penama terjadi secara tidak berhubungan dengan kepadatan populasi. Tentu saja cuaca dapat membunuh individu yang tidak mampu mencapai tahap perkembangan toleransi. Tapi ini tidak bereaksi secara density-dependen. Density-depend yang langsung akan menentukan kepadatan rata-rata selama periode tertentu khususnya bagi spesies yang membutuhkan banyak waktu untuk pulih dari bencana atau mereka terlibat dalam interaksi tapi aksi itu tidak menentukan posisi garis keseimbangan yang bertalian dengan mekanisme pengatur tertentu.

Kapasitas lingkungan yaitu tingkat populasi bagi suatu spesies yang oleh lingkungan itu dapat ditunjang tanpa perubahan yang permanen. Kapasitas maksimal bergantung pada makanan dan ruangan yang ada tapi kapasitas aktual lingkungan itu dapat berbeda-beda. Kekuatan yang tidak dipengaruhi oleh kepadatan itu (*conditioning forces*) kebanyakan bersifat abiotik, meskipun faktor biotik seperti resistensi tuanrumah atau jumlah dan mutu makanan dapat terlibat, dan juga mungkin ada interaksi biotik dengan kekuatan abiotik.

Representasi Skematik dan Diskusi tentang Pengendalian Alami

Gambaran tentang pengendalian alami tidak mengurang pentingnya kekuatan yang mendorong perubahan kepadatan. Perubahan yang tidak dipengaruhi kepadatan dapat terjadi karena *conditioning forces*, yaitu kecenderungan pengaturan kepadatan terhadap penentuail karakteristik kelimpahan yang mengikuti pengaruh-pengaruh perubahan yang tidak dipengaruhi kepadatan.

Kandungan genetik suatu spesies adalah parameter dinamika populasi yang intrinsik, yang merupakan bagian dari

potensi kompensasi suatu populasi untuk mengadakan perubahan dalam jenis dan tingkatan stress. Kompetisi antar pelbagai spesies pada tingkat tropis yang sama, adalah penting dalam menentukan distribusi' suatu spesies atau kelimpahannya pada waktu dan tempat tertentu, tapi diasumsikan bahwa ada dominansi yang khusus dari kebutuhan umum dari spesies itu. Kompetisi dengan spesies lain untuk mendapatkan makanan yang sarna dapat menjadi varia bel yang penting dan sebelum mendapat makanan itu maka pesaing harus mencegah spesies lain memanfaatkannya begitu pula sebaliknya.

Nicholson merujuk pada gerak iklim dan keadaan tanah sebagai determinan utama dan mekanisme pengatur sebagai faktor langsung. Tidak mudah melepaskan segi ianl;sung dari segi tak langsung. Ada banyak faktor yang mempengaruhinya.

Dalam pengendalian alami tercakup keseimbangan dan gangguan terhadap keseimbangan. Lingkungan abiotik berperan penting pada kedua-duanya. Kekuatan itu menentukan potensi populasi dalam lingkungan dan kandungan organisme, dan mempengaruhi pengaturan oleh mekanisme yang density-dependen. Pengaruh langsung dari perubahan iklim tidaklah cukup untuk mengubah ukuran populasi secara signifikan.

Dalam semua lingkungan akan tiba saatnya di mana pembatasan kepadatan terjadi secara otomatis karena meningkatnya kepadatan dan sementara jumlahnya mendekati kapasitas batas pada beberapa sumber material.

Lingkungan A: faktor fisik yang selalu menyenangkan; kehidupan tanamannya heterogen; ada faktor biotik yang menonjol; ada musuh alaminya, makanan, banyak habitat yang sesuai, Ada persinggungan ruang mikrohabitat. Pada lingkungan B: keadaannya adalah keadaan antara lingkungan A dan lingkungan B. lingkungan C : faktor fisiknya seialu

berfluktuasi; keadaan yang menyenangkan sebentar ada sebentar tidak ada; kehitamannya cenderung kurang kompleks, ada faktor biotik, ada musuh alami, makanan, habitat yang menyenangkan hanya sedikit atau tidak kontinu ada, Mikrohabitatnya tersebar-sebar, dan tidak berdampingan. Sektor X - kekuatan yang mengkondisikan density-uninfluenced, termasuk aksi-aksi represif yang density-dependent; ada keadaan iklim dan tanah, cahaya matahari, tempat perlindungan, mutu dan level makanan yang potensial, kondisi yang baik bagi persekutuan, ada pesaing, parasitoid, predator dan patogen langsung. Sektor Y - aksi-aksi yang density-dependent yang mengatur: kompetisi akan makanan, perlindungan, tempat melahirkan, reaksi-reaksi penghambat yang density-induced.

Representasi skematis yang konvensional yang memperlihatkan hubungan antara density-dependent dan density-influenced, kekuatan-kekuatan yang mengkondisikan (conditioning forces) dari pengendali alami terhadap perubahan dalam kepadatan populasi dalam lingkungan menyenangkan yang konstan dan yang fluktuasinya melebar.

Pelaksanaan Peranan Aksi Density-Dependent

Karena dalam pengendali alami biologis kita mengutamakan pencegahan kepadatan tinggi, maka definisi kita tentang aksi yang density-dependent atau aksi pengatur (governing action) hanya mencakup yang langsung saja.

Gagasan tentang aksi dari semua faktor mortalitas dalam lingkungan berhubungan dengan kepadatan menurut penulis dapat membingungkan karena tipe fenomena ini atau karena kepadatan populasi yang keliru dan juga mungkin karena ukuran populasi atau perubahan-perubahan yang terjadi pada populasi. Pada nyatanya, eksistensi yang tipis di wilayah yang

dapat dihuni secara tidak permanen akan bergantung pada kondisi-kondisi fluktuasi dan imigrasi dari tempat-tempat yang dapat dihuni secara permanen. Clouds ley dan Thompson menyatakan bahwa kekuatan iklim mengontrol fluktuasi populasi yang normal pada kepadatan rendah, sedangkan aksi dari musuh-musuh alami atau persaingan menguasai tempat dan makanan adalah menonjol hanya pada keadaan kepadatan tinggi yaitu selama atau sesudahnya outbreak (keributan, perebutan). Andrewartha dan Birch juga menyatakan bahwa pandangan density-dependent tidaklah realistis karena mengingkari fluktuasi, yaitu parameter tingkat pertumbuhan populasi, dengan waktu yang didorong oleh fluktuasi musiman dan berkala dari lingkungan dan karena pandangan itu mengingkari heterogenitas tempat-tempat di mana hewan dapat hidup. Menurut Nicholson, jelas bahwa dari persamaan Lotka, Volterra, Nicholson dan -Sailey kalau nilai r berubah menurut ruang atau waktu maka tentu akan mengubah level di mana hewan dapat hidup, yang dapat menimbulkan atau menyurutkan keadaan yang menyenangkan bagi mereka.

Persoalan yang juga penting adalah tentang kompleksitas mekanisme pengatur yaitu 'dispersi populasi' yang didefinisikan sebagai pola penempatan ruang oleh anggota populasi di dalam habitat yang diduduki dan di dalam keseluruhan wilayah di mana suatu populasi tertentu dapat menyebar.

Mekanisme pengatur dan instrumen-instrumennya. Faktor yang mempunyai potensi gerak density-dependent tidak perlu harus terlibat dalam gerak tersebut. Suatu predator dapat menimbulkan kematian tetapi tidak beraksi sebagai agen pengatur. Karena density-dependence itu dipandang dari populasi terhadap mana gerak itu terarah maka pandangan penulis sesuai dengan pandangan Smith, bahwa suatu predator

atau parasitoid dan tidak senantiasa beraksi di dalam cara yang density- dependent.

Holling mengembangkan pandangan tentang predator, tapi data yang disajikannya dapat membingungkan. Dalam kenyataan efek total dari predator oleh spesies tertentu dari segi fungsional dan segi bilangannya adalah bahwa sementara mangsa mereka meningkat maka keseluruhan spesies predator pun akan meningkat tetapi dengan presentase yang menurun dan mereka ini tidak akan beraksi sebagai instrumen pengatur atau instrumen yang density-dependent.

Konsepsi tentang density-dependence yang tepat berasal dari hubungan bahwa suatu jumlah organisme meningkat menurut jumlah yang mereka butuhkan dengan mencemari tempat mereka, menarik atau menghasilkan elemen-elemen (sebagai akibat dari meningkatnya kepadatan mereka) dalam lingkungan yang bermusuhan dengan mereka, yang berupa parasitoid, redatar dan patogen serta juga perubahan bentuk seperti panas yang berlebihan atau produk buangan yang berbahaya. Jika rata-rata hasil selama suatu periode dalam kondisi tertentu adalah sedemikian rupa sehingga populasi dipertahankan dalam kondisi alami primer oleh musuh alami tertentu, maka musuh alami itu akan bertindak sebagai agen pengatur.

Contoh Aksi Density-dependent

Aksi density-dependen yang non-reciprocal (tidak berbalasan)

Dalam beberapa hal tingkat persediaan kebutuhan bagi pengaturan pada suatu Populasi seluruhnya ditentukan oleh kekuatan yang independen dari kepadatan populasi. Dalam bentuk yang sederhana, pendekatan kepadatan terhadap level yang ditetapkan oleh jenis kebutuhan pembatas akan

mendorong persaingan yang lebih intens yang pada akhirnya akan mengurangi surplus persediaan. Jika kebutuhan tidak diubah dalam penggunaannya dan jika tidak pembarasan, yaitu persaingan menanjak yang berat, maka ada titik teoretis di mana semua kebutuhan akan dapat digunakan dan kelanjutan hidup Populasi akan sama meski pun jumlah mereka tinggi atau rendah. Tapi perusakan surplus ternyata berhubungan dengan intensitas persaingan. Jadi, adalah penting jika perhatian dititikberatkan pada kelestarian populasi atau mortalitasnya: cekaman atau persaingan yang density-dependent dalam kasus yang sederhana dan hipotetis tadi tidak menentukan level kepadatan, tetapi itu disebabkan oleh kapasitas tetap untuk menjadi sangat progresif.

Dalam hubungan non-resiprosal, ada fluktuasi yang tajam dalam kepadatan yang timbul dari interaksi yang didorong oleh kepadatan dalam pemanfaatan makanan atau ruang yang supplainya yang konstan. Ini adalah kejadian yang lazim. Populasi *Lucilia cuprina* dewasa yang diatur (governed) oleh suplai daging bagi larva - yaitu kelebihan mahluk hidup di tanah, air, gula. Pada diagram A, 50 gram pakan larva disupply dan dalam diagram B hanya 25 gram saja. Skala vertikal pada A hanya setengah daripada dalam B.

Dijelaskan dalam gambar itu bahwa walau pun tingkat supply pakan konstan, dengan mengabaikan jumlah serangga yang memakannya, maka pola perubahan dalam kepadatan pada level percobaan pada liver (hati) menunjukkan osilasi (goyangan) yang keras dan sama pada kepadatan rata-rata yang berlainan (penelitian Nicholson).

Density-dependen yang Resiprocal

Parasitoid yang monofagous (hidup dari satu macam pakan) yang mengatur inang pada tingkat rendah secara resiprocal dan diatur oleh faktor biotik yaitu melalui berkurangnya inang. Interaksi biotik serupa itu akan menghasilkan osilasi yang luas, walaupun itu dapat terjadi oleh

faktor lain. Pada gambar 11, ada dua tipe interaksi biotik pada spesies kutu yang sarna, *Steneutarsonemus pallidus*, pada tanaman strawberry, yang dipelihara dalam suatu greenhouse. Pada kelompok yang satu ada predator, pada kelompok lain tidak ada predator - *Tyohlodromus*. Plot dalam greenhouse: perubahan kepadatan mangsa beserta predator dan tanpa predatornya dan frekuensi predator. Plot (I-A) dengan predator, plot I-C bebas predator. Mangsanya *S. pallidus*, pada kedua plot diatur per menurut daun. Frekuensi predator menunjukkan jumlah daun dari 36 helai dengan satu atau beberapa *Tyohlodromus*. P dengan anak panah menunjukkan tanggal perlakuan parathion. Pada plot I-C, kutu cyclamen pada tanaman strawberry, tanpa predator, secara berkala membina kepadatan tinggi, yang kemudian akan menurunkan pertumbuhan tanaman dan mengubah lingkungan mikro sehingga kepadatan yang tinggi itu hancur. Fluktuasi kepadatan itu berlangsung beberapa waktu; setiap gelombang makin menurun amplitudonya karena kehilangan tenaga pada tanaman strawberry. Pada kelompok yang ada predatornya (I-A), predator mengontrol kutu pada level yang rendah sekali dan ini mencegah interaksi yang drastis antara cyclamen kutu itu dengan tanaman strawberry. Predatornya dibatasi oleh jarangya cyclamen kutu karena kutu itu mereka makan.

De Bach mengemukakan contoh penelitian tentang efektifitas agen pengendali biologis yang sudah didemonstrasikan oleh banyak peneliti. Metoda demonstrasi itu adalah memindahkan musuh-musuh alami atau pengganggu dengan aksi mereka dalam plot dengan cara lain yang dipakai pada plot pembandingan. Crop dan lingkungan khusus yang terlibat dalam pengendalian atas spesies hama dilakukan oleh musuh yang memiliki kekhususan inang, sebagai contoh dari hubungan resiprocal. Holling menunjukkan peranan 3 kelompok mamalia dengan kepadatan rendah dalam contoh tentang penekan oleh suatu kompleks musuh yaitu kajian tentang aksi terhadap kepompong sawfly.

Para predatornya memiliki kurva respons predasi puncak untuk meningkatkan kepadatan kepompong swafly. Ada 2 tipe responsnya yaitu respons fungsional (jumlah mangsa yang dikonsumsi per predator) yang bersifat langsung, dan respons numerik (naiknya kelimpahan predator) yang tidak tertunda lama karena tingkat reproduksi spesies predator itu yang tinggi. Bentuk dari kurva respons mangsa yang dimakan dengan perubahan kepadatan mangsa, bagi setiap spesies, adalah berbeda-beda, seperti ketika kurva respons tadi dikombinasikan, sehingga pengendalian efektif terlihat melalui luasnya range kepadatan dibandingkan dengan kalau hanya satu spesies saja yang beraksi. Jadi, dalam beberapa hal, pada tempat tertentu, beberapa musuh bersama-sama dapat lebih baik daripada hanya satu musuh terbaik sendirian saja.

Pelaksanaan Peranan Kondisi Abiotik

Faktor abiotik yaitu faktor lingkungan fisik, yang biasanya mencakup elemen cuaca, iklim, cahaya matahari, tipe kondisi tanah, kemiringan dan exposure tanah, mempengaruhi kepadatan populasi serangga dengan beberapa cara yang berlainan. Kondisi-kondisi tersebut bereaksi secara langsung terhadap individu suatu populasi yang mengubah kemampuan dasar pada lingkungan, dan secara tak langsung. Terpenting dalam pengendalian biologis terhadap hama serangga antara lain faktor lingkungan yang mempengaruhi populasi yang ko-eksis (inang dan parasitoid, predator dan mangsa) dalam pelbagai cara yang berlainan.

Aksi Langsung dari Faktor Abiotik

Faktor-faktor fisik mempunyai pengaruh langsung terhadap populasi seperti perubahan dalam waktu siklus hidup, pengaturan pertumbuhan reproduksi dan masa hidup yang panjang dan dengan menimbulkan kematian prematur pada pelbagai proporsi individu dalam populasi. Setiap saat, faktor fisik dapat secara langsung mengubah natalitas

populasi, yaitu kekuatan untuk meningkatkan jumlah, atau mortalitas yaitu kelangkaan, atau kedua-duanya, atau untuk berpencair. Jika aksi density induced tidak terganggu, maka faktor-faktor fisik itu dapat menentukan apakah populasi akan meningkat atau menurun dari satu generasi ke generasi yang lain, atau menentukan tingkat di mana hal-hal itu akan terjadi, atau lamanya waktu interval antara kebangkitan dan penurunan kepadatan populasi.

Kasus yang lebih rumit yang sering dijumpai dalam situasi alami memperlihatkan bahwa faktor fisik menjadi pendorong ke arah mortalitas populasi dalam hubungan dengan faktor lingkungan yang lain. Selain kontribusinya terhadap mortalitas total atas suatu generasi, waktu urutan kejadian kematian yang satu dengan kematian yang lain juga penting. Bess dan Morris melihat bahwa variasi dalam mortalitas oleh faktor fisik dalam siklus hidup serangga bersifat kurang penting karena pengurangan individu-individu yang surplus, dan bukannya karena variasi pada faktor memperpanjang masa hidup mereka.

Faktor mortalitas dari density-independent yang kuat pada populasi inang dan parasitoid dapat bekerja secara berbeda, atau tingkat kehebatannya berlainan pada setiap tahapan. Kematian menurut urutan waktu kejadian mencakup juga konsep mortalitas kompensatif. Dari sudut pengendalian ekonomis, mortalitas tahap awal sering mencegah kerusakan panen yang tidak akan terjadi karena mortalitas tahap akhir.

Pengaruh Tak-langsung dari Faktor Abiotik

Faktor abiotik dari lingkungan dapat mempengaruhi dan mengubah aksi dari faktor-faktor lain yang bekerja langsung pada populasi. Gerak conditioning yang tak-langsung dapat beroperasi mengubah jumlah atau mutu aneka kebutuhan demi kelestarian populasi atau dengan mengubah, merangsang atau membatasi aksi dari kekuatan lain. Dapat terjadi hal-hal berikut

: (1) pengaruh atas persediaan makanan atau tempat yang cocok untuk hidup, (2) memperpendek efektivitas musuh alami dengan mengurangi spesies tuan rumah sampai pada level yang berlawanan terhadap kelestariannya atau efisiensinya sendiri, (3) mengurangi spesies inang sehingga menaikkan efektivitas musuh alami dengan membawa rasio musuh alami yang lebih baik pada kepadatan inang yang lebih mendorong pengendalian efektif oleh musuh alami itu, (4) aksi langsung yang berlainan yang mempengaruhi spesies inang dan pada musuh alami tertentu, (5) dengan aksi serupa terhadap jenis musuh yang lain di antara suatu kompleks yang menghasilkan perubahan peranan dari suatu spesies (baik yang primer maupun yang sekunder) populasi tertentu, (6) dengan mengubah status eksistensi suatu persekutuan, mengubah inang yang alternatif atau sumber makanan yang alternatif dari spesies tuan rumah atau musuh utama atau musuh sekunder mereka. (7) mengubah toleransi kerumunan yang relatif dari daerah teritorial hewan sehingga memicu aksi pengaturan intraspesifik.

Nicholson dalam Nicholson dan Bailey menunjukkan pertimbangan teoritis bagaimana pengaturan atas populasi inang oleh suatu parasitoid dapat dipengaruhi oleh faktor iklim. Atau iklim dapat berperan sebagai faktor mortalitas pada parasitoid tertentu tapi tidak begitu pada inang, sehingga posisi garis keseimbangan spesies inang akan naik sementara posisi parasitoid tetap saja. Iklim dapat pula mendorong mortalitas pada inang tapi tidak pada parasitoid sehingga posisi garis keseimbangan pada parasitoid akan turun. Pengaruh situasi serupa itu pada kepadatan inang bergantung pada waktu berlangsungnya faktor mortalitas, apakah mortalitas disebabkan oleh iklim, sebelum atau sesudah kematian karena parasitoid.

Lingkungan Total dan Peran Musuh Alami

Pertanian dan silvikultur modern sudah terpisah dari status alami yang lebih vegetatif. Meskipun panen berkembang pada tanah tertentu, pertanian kecil menyatakan adanya mosaik dari habitat yang kecil. Perubahan elemen-elemen fauna sudah berlangsung. Tapi dengan naiknya perkebunan ekstensif pada tanaman atau pohon tertentu membuat kecenderungan mundurnya system yang kompleks karena aksi yang berlawanan. Dalam pengendalian biologis. Ini berarti bahwa manfaat yang sudah dicapai dari aksi-aksi spesies predator yang poliphgous (makan banyak jenis makanan) dan parasitoid akan berkurang dalam lingkungan yang secara fauna telah menjadi miskin. Faktor-faktor pengendali alami yang relatif efisien, yaitu monokultur, dapat pula terjadi karena pengurangan kecocokan lingkungan misalnya karena perubahan dalam iklim-mikro atau persediaan makanan atau tempat berlindung dalam monokultur yang selanjutnya menimbulkan gangguan pada kegiatan normal dari musuh-musuh alami .

Pengendalian alami dalam situasi serupa itu secara normal akan bergantung pada aksi dari musuh alami yang lebih khusus - yaitu kemampuan mengatur inang mereka pada level non-ekonomis tanpa bantuan spesies lain. Ketenangan lingkungan adalah faktor yang penting dalam pengendalian oleh parasitoid entomofagous terhadap inang mereka. Hama serangga yang memiliki siklus hidup yang homodinamika adalah subyek yang lebih baik bagi pengendalian biologis karena efektifitas musuh alami tidak dipengaruhi oleh kondisi fisik yang berlawanan atau karena tidak adanya inang pada tahap yang pantas untuk diserang.

Pengendalian Alami dan Penyebaran

Banyak hama tanaman yang tidak siap berpindah atau tidak dapat mencapai jarak jauh. Analisis populasi dalam

situasi itu sederhana saja. Tapi, analisisnya sukar kalau perpindahan serangga ke dalam atau kel luar daerah kajian cukup besar. Perlu ada kajian tentang hasil atau kegagalan dalam kepadatan karena imigrasi dan emigrasi. Perpindahan ke dalam suatu daerah akan sangat mengubah pengendalian alami dan jika geraknya datang dari jarak jauh maka analisisnya akan luar biasa. Juga pala perpindahan dari spesies inang dan parasitoid dapat mempengaruhi apakah parasitoid itu terhalang dari pengaturan yang efektif. Perpindahan belalang adalah contoh yang baik tentang perpindahan karena kebiasaan migrasi yang khas pada dinamika populasi kelompok ini. Perpindahan mereka mencakup upaya mencari tempat makanan dan tempat bertelur. Perpindahan itu kurang ekstensif (kurang jauh) di mana habitat makanan yang baru perlu dicari karena habitat yang ada sementara dipakai atau menghilang karena cuaca, atau padat juga terjadi perpindahan yang sangat jauh. Dalam hal ini, dispersal merupakan response atas kekurangan pakan atau tempat bertelur atau juga karena kekurangan ruang untuk berkerumun. Migrasi berkelompok sering terjadi sebagai response terhadap *overcrowding* (kerumunan yang kelewat padat), yang mendatangkan perubahan fisiologis dan morfologis pada individu sehingga terjadi perpindahan yang kurang lebih tetap pada mayoritas individu ke tempat di luar pusat pertumbuhan mereka. Ada perpindahan yang menimbulkan pemusnahan pada populasi yang bermigrasi itu. Ada juga migrasi yang merupakan perpindahan ke tempat pertumbuhan yang lain. Kadang-kadang migrasi penyebaran ini merupakan gerak sirkuler dari daerah pembiakan yang satu ke daerah yang lain lalu kembali lagi ke tempat pertama tadi.

Migrasi belalang dapat dianggap sebagai mempunyai ekologi normal pada daerah perbanyakan mereka yang dapat menjamin tingkat kepadatan mereka yang tertentu. Kepadatan serupa ini dianggap sebagai tingkat dasar darimana dapat

diukur efek kepadatan yang menimbulkan penyebaran tahap tunggal atau nomadis (dinamika populasi solitary). Pertimbangan tentang hakikat kesementaraan yang singkat dari habitat makanan dan tempat bertelur serangga terutama didasarkan atas fenomena cuaca dan bukannya atas aktifitas makan, dan kegiatan penyebaran mereka berada pada individu dengan mengabaikan soal kepadatan. Perubahan populasi ini tidak menjelaskan tentang aksi yang efektif dari musuh alami. Gerak musuh alami dapat saja penting jika dibandingkan dengan gerak dari spesies hama.

Faktor-Faktor Genetis dan Pengendali Alami

Faktor-faktor pengendali alami, yang density-dependent dan yang density-independent, dapat juga berpengaruh sebagai agen seleksi alami, yaitu dengan faktor gerak pengendali alami mereka cenderung mengubah ciri-ciri individu suatu populasi secara bertahap tetapi progresif. Perlu dipertimbangkan tentang bagaimana perubahan selektif serupa itu mempengaruhi pengendali alami atas kelimpahan. kelompok organisme yang beradaptasi itu, dan apa pengaruh perubahan adaptif serupa itu pada dinamika populasi spesies tersebut.

Anggota individual dari sampel spesies tertentu sering berubah sedikit atau banyak antara lain dalam hal ukuran, struktur, fisiologi, perilaku, kesuburan, laju pertumbuhan. Khususnya, variasi akan terjadi pada konstitusi genetis mereka. Individu akan memperlihatkan variasi dalam ciri yang penting secara ekologis. Kalau perubahan ini bersifat genetis, maka setiap aksi oleh faktor lingkungan' terhadap kelestarian, natalitas atau mortalitas akan cenderung bersifat selektif. Perbedaan pengaruh dari faktor lingkungan atas pengendalian alami cenderung akan mendatangkan adaptasi secara gradual dari populasi pada stress dari lingkungan itu. Jika variasi adaptif serupa itu berlangsung pada ciri-ciri individu seperti kesuburan, kemungkinan dapat hidup atau dapat hidup lama,

laju tumbuh dan daya sebar maka akan terjadi perubahan secara kuantitatif di mana populasi berinteraksi dengan lingkungannya dan dengan sesamanya. Ada juga perubahan temporal (sementara) dalam kualitas populasi, yang genetik atau fisiologis, yang menyatakan pengaruh pada ciri populasi tentang kelimpahan populasi itu.

Telah cukup bukti tentang faktor lingkungan yang menyeleksi populasi serangga yang penting dalam pengaturan populasinya. Persaingan yang ketat, merupakan faktor pengendalian alami yang amat potensial dan dapat menjadi instrumen seleksi alami. Pengaruh yang ditimbulkan oleh pelbagai elemen pengendali alami pada populasi serangga dapat bersifat radikal terhadap fluktuasi dinamika khususnya dalam kemampuan meningkatkan jumlah dalam suatu unit waktu. Sebaliknya, perubahan genetik atau fisiologis secara berlawanan akan mendatangkan kelemahan atau kepekaan yang kuat terhadap faktor-faktor pengendali alami. Dalam teori tentang pengendali alami dimana pengendali dianggap sebagai keseimbangan antara lingkungan yang menyenangkan dan tidak menyenangkan menurut waktu atau tempat atau kedua-duanya tanpa mekanisme density-dependent akan cenderung melewati keseimbangan tersebut. Teori pengendali alami yang lebih cocok atas kelimpahan hewani hendaknya meliputi juga pandangan tentang kecenderungan hewan beradaptasi, juga dalam jumlah untuk mengatasi stress dari lingkungan, khususnya dari faktor fisik dengan mempertemukan reaksi dari yang satu atau yang lainnya. Mekanisme perubahan reaktif dalam intensitas aksi dari faktor pengendali tertentu dari perubahan kelimpahan yaitu faktor pengendali yang density-dependent yang memberikan penjelasan yang sederhana dan memadai tentang bagaimana kemungkinan beradaptasi itu diseimbangkan lagi.

Bab V

Beberapa Konsep Dan Permasalahan Tentang Pengendalian Hayati

Pendahuluan

Sifat khusus dari pekerjaan pengendalian hayati telah memberikan kemungkinan kepada pihak-pihak yang terlibat didalamnya untuk merenungkan banyak gejala alam yang seringkali mempunyai sudut pandang yang agak baru.

Hal ini menyebabkan perkembangan konsep-konsep yang khas dalam pengendalian hayati membentuk latar belakang yang bermanfaat secara praktis sebagai prinsip-prinsip konsep-konsep dasar.

Gagasan-gagasan baru mengalami perkembangan, gagasan yang lebih awal telah banyak berubah sejalan dengan waktu dan adanya informasi yang lebih baru sehingga batas-batas yang semula tajam menjadi kabur. Pendapat-pendapat

yang agak kontroversial ini patut mendapat perlakuan khusus dan bab ini telah disediakan untuk tujuan itu.

Pengendalian Hayati sebagai Ekologi Terapan

Pengurangan populasi hama dengan meningkatkan faktor-faktor lingkungan yang menghambat pertumbuhan hama bersangkutan sudah hampir merupakan suatu keyakinan yang tidak perlu dibuktikan lagi. Disamping penggunaan pestisida kimia terdapat kemungkinan memodifikasi faktor-faktor lingkungan. Dengan demikian seorang entomolog dalam melakukan penelitian lapangan harus mengetahui prinsip-prinsip ekologi dan menerapkan prinsip-prinsip tersebut setiap diperlukan. Pengendalian hayati pada dasarnya bersifat permanen ini memungkinkan, perlunya mengingat beberapa konsep penting khususnya yang terkait dengan gejala populasi.

Keseimbangan Alami

Setiap orang yang mempelajari biologi akan mengetahui bahwa di suatu lokasi terdapat variasi jumlah spesies, terdapat populasi tinggi, sedang dan rendah. Tingkat populasi yang rendah menjadi spesimen koleksi.

Fluktuasi semua spesies-spesies tersebut cenderung terjadi dari tahun ke tahun. Meskipun jumlah setiap spesies dalam populasi relatif dan absolutnya agak beragam, tetapi secara rata-rata perubahan yang benar-benar mendasar jarang terjadi di dalam hubungan numerik di antara beberapa spesies yang menghuni suatu lingkungan yang kurang lebih stabil.

Hubungan kuantitatif diantara spesies-spesies yang berbeda diistilahkan keseimbangan alami". Kecenderungan kepadatan populasi semua spesies dalam daerah umum yang sama untuk mempertahankan hubungan numerik satu sama lain yang kurang lebih bersifat tetap disebabkan adanya interaksi-interaksi satu sama lain dan diantara lingkungan-lingkungan fisik yang ada.

Keseimbangan alami merupakan konsep yang penting tetapi merupakan pilihan kata yang tidak tepat karena pada saat istilah tersebut memuat kestabilan jumlah, istilah tersebut dilain pihak sudah jelas bagi setiap orang bahwa kepadatan populasi selalu mengalami perubahan secara terus menerus sebagai contoh : serangga mungkin jauh lebih meimpah pada satu tahun ketimbang tahun yang lain.

Dengan demikian terdapat pertentangan dimana populasi serangga ditandai dengan stabilitas yang sudah menjadi sitat bawar.an dari populasi-populasi tersebut dan dipihak lain ditandai dengan fluktuasinya yang berulang-ulang. Keseimbangan Populasi dan Garis Keseimbangan Dari pembahasan terdahulu sudah jelas bahwa suatu populas; spesies cenderung mengalami fluktuasi (naik-turun) baik secara positif maupun negatif sejalan dengan intensitasnya yang beragam, dan bahwa suatu kepadatan "rata-rata" bisa diperaleh (dihasilkan) dari fluktuasi- fluktuasi" numerik yang diamati ini diistilahkan sebagai "keseimbangan Populasi" .

Pemikiran logis itu saja sudah tampak mendukung fakta bahwa keseimbangan populasi jenis ini benar-benar ada. Hal ini bisa diamati di lapangan bahwa tidak ada Populasi spesies akan meningkat hingga tidak terbatas atau akan turun hingga titik kepunahan. Menurut Smith (1935), keseimbangan Populasi merupakan salah satu gejala yang paling penting dari semua gejala bialogi.

Jika gagasan keseimbangan populasi (yakni fluktuasi-fluktuasi kepadatan yang dibatasi oleh lingkungan) diterima maka bisa dianggap bahwa untuk setiap spesies dalam setiap habitat akan terdapat tingkat populasi rata- rata teoritis yang disekelilingnya populasi normal terjadi ini diistilahkan garis keseimbangan. Ini oleh Smith (1935) diistilahkan sebagai garis keseimbangan dan oleh Nicholson (1933) diistilahkan sebagai kepadatan tetap.

Garis Keseimbangan yang Berbeda-beda untuk Spesies-spesies yang sama

Secara umum di ketahui bahwa suatu spesies bisa mempunyai rata-rata kepadatan populasi berbeda-beda yakni garis keseimbangannya, di dalam habitat yang berbeda. Dalam suatu habitat spesies tersebut mungkin melimpah, sedang di habitat lain sedikit (jarang). Perbedaan garis keseimbangan suatu spesies di lingkungan yang berbeda seperti itu mempunyai daya tarik praktis sangat besar, dan itu mungkin perbedaan garis tersebut diakibatkan oleh salah satu faktor lingkungan (makanan, habitat, musuh alami atau faktor-raktor fisik).

Smith (1935) telah menunjukkan bahwa masalah-masalah entomologis yang penting berupa masalah dimana nilai garis keseimbangan secara permanen meningkat. Perubahan garis keseimbangan spesies secara permanen disebabkan oleh gangguan yang biasanya tergolong salah satu dari 2 kelompok.

1. Berupa gangguan-gangguan yang berasal dari perubahan besar dalam habitat dan ini mengakibatkan penurunan garis keseimbangan atau peningkatan hingga ke level yang jauh lebih tinggi.
2. Gangguan-gangguan yang berasal dari pemindahan satu serangga di daerah asalnya ke habitat baru dimana pengendali alami tidak ada atau tidak efektif.

Hama yang Berasal dari Luar (Hama Eksotik)

Karena sebagian besar spesies hama merupakan pendatang, maka merupakan hal mudah untuk mengelompokkannya didalam kategori kedua. Sebenarnya spesies-spesies yang dimasukkan ke daerah baru biasanya mempunyai tingkat populasi rendah di tempat tinggal aslinya dimana ditempat tersebut pasisi keseimbangannya dipertahankan pada Populasi rendah oleh musuh-musuh alaminya yang berfungsi secara efektif. Usaha-usaha pengendalian biologi terapan

berusaha untuk memulihkan keseimbangan alam dengan meniru kondisi-kondisi tempat tinggal asli dari hama dengan dimasukkannya pengendali alami, karena dengan dimasukkannya musuh-musuh alami yang efektif, Populasi hama bersangkutan bisa berkurang hingga status rendah sebagaimana status yang semula dipertahankan di daerah endemi (daerah tempat berjangkit) hama tersebut. Pengendalian keseimbangan alami yang sukses ini menjelaskan dasar ekalagis untuk pengendalian bialagi.

Hama yang Berasal dari Dalam (Hama Asli)

Anggapan dimasa lalu mengemukakan bahwa pengendalian hayati disetiap negara umumnya terbatas pada hama yang berasal dari luar. Akan tetapi perkembangan baru menyatakan bahwa pengendalian hayati secara efektif bisa diterapkan terhadap hama-hama asli. Kemungkinan-kemungkinan seperti ini untuk pengendalian hayati terhadap gulma tampak sama baik atau bahkan lebih baik dibanding yang diterapkan terhadap serangga-serangga hama yang berasal dari daerah asal.

Terbukti bahwa mortalitas gulma dapat dinaikkan dengan memasukkan faktor mortalitas biotik dari luar. Contoh-contoh pada kematian pohon-pohon ehardar bermula akibat penyebaran kutu *Carulaspis visei* (Schrank) dan *Lepidosaohes newsteadi* (Sule) Thompson (1954) melaporkan kedua kutu tersebut mematikan pohon tersebut walaupun kepadatan *Lepidosaohes newsteadi* (Sule) yang dilepaskan sangat rendah.

Sifat-sifat Musuh Alami Yang Efektif

Belum diketahuui apakah suatu entomophagus exotik dapat efektif atau tidak. Hal tersebut hanya bisa ditentukan setelah dieoba dilapangan. Pengujian laboratorium dan peranan dilingkungan asli bukan merupakan jaminan keefektifan spesies tersebut di lingkungan baru. Meskipun

demikian ciri-ciri musuh alami yang dapat menjadi dasar penentuan keefektifan di lapangan adalah sebagai berikut :

1. Dapat bertahan pada inang rendah (kapasitas meneari inang yang tinggi) musuh alami yang baik adalah musuh alami yang jarang ditemukan bukan musuh alami yang selalu didapat. Kapasitas mencari yang tinggi ketika inang bersangkutan langkah dibanding kesuburan yang tinggi musuh alami tersebut.
2. Spesifik inang dibanding poliphagous.
3. Potensi laju peningkatan populasi khususnya pada lingkungan yang beragam : Periode perkembangan singkat dan Kesuburan relatif tinggi.
4. Kemampuan musuh alami untuk menempati semua niche yang ditinggali inang dan untuk bertahan hidup dengan baik.

Flanders (1947) mengemukakan sifat lain yang sangat disukai pada setiap spesies entomopagoes yang mana itu menentukan keefektifannya karena sifat-sifat tersebut mempunyai kemampuan menemukan atau memanfaatkan inangnya.

Pada dasarnya sifat-sifat ini mengandung arti bahwa musuh alami bisa beradaptasi dengan baik secara biologis, fisiologis, dan ekologis terhadap inang.

Peran Super Parasitisme

Salah satu sifat parasitoid efektif yang disebutkan oleh Flanders (1947) adalah kemampuan membatasi oviposisi pada inang yang sesuai untuk perkeryibangan keturunan. Ini meliputi kemampuan parasit betina membedakan inang sehat dan inang yang telah terparasitoid. Jika oviposisi terjadi pada inang yang telah terparasitoid maka akan mengakibatkan gejala superparasitoidisme atau parasitoidisme ganda, tergantung

pada apakah parasitoid-parasitoidnya berasal dari spesies yang sama atau berbeda.

Super parasitoidisme adalah parasitoidisasi suatu inang oleh lebih banyak larva dari suatu spesies ketimbang parasitoid yang dapat tumbuh berkembang menjadi dewasa pada tubuh inang. Sedangkan parasitoidisme ganda adalah parasitoidisasi serentak terhadap individu inang oleh 2 atau lebih spesies parasitoid primer yang berbeda. Ketika suatu inang terparasitoid oleh lebih dari satu larva spesies parasitoid, tapi semua hidup berani parasitoid tersebut sifatnya gregarius atau polyembryonic.

Parasitisme Ganda dan Masalah Importasi Ganda

Pemberton dan Willard (1918) mengemukakan hipotesis bahwa parasitoidisme ganda bersifat merusak karena parasitoid yang menurut sifatnya lebih baik akan membinasakan ketika bersaing sebagai larva dengan spesies lain. Dengan demikian disimpulkan, lebih baik memasukkan satu spesies saja. Tanpa memikirkan keabsahan hipotesis tersebut maka masalahnya sekarang apakah meneari spesies yang terbaik atautkah memasukkan sebanyak mungkin mencoba-coba parasitoidisme ganda untuk mencari yang terbaik atau memasukkan yang terbaik langsung. Jika lebih satu spesies dimasukkan dan bahkan seandainya parasitoidisme ganda tidak terjadi, maka tipe-tipe persaingan diluar parasitoidisme ganda terjadi, dan ini bersifat merusak saiah satu spesies atau yang lain.

Teori Deretan (Rangkaian)

Teori deretan dari Howard dan Fishe menyimpulkan bahwa pada ulat berekor eoklat, pengendalian parasitoid harus dilakukan melalui berbagai parasitoid yang bekerja bersama-sama seeara harmonis bukan dari satu parasitoid tertentu. Pengendalian hayati yang berhasil untuk ulat berekor coklat

tergantung apakah mereka bisa mengimpor dan mengembangkan setiap bagian-bagian komponen dari suatu rangkaian atau deretan parasitoid yang efektif di amerika atau tidak. Teori rangkaian dikritik oleh Tompson, dan sekarang secara umum diyakini bahwa pada saat sederetan parasitoid mungkin dikehendaki, tetapi seekor parasitoid yang efektif untuk menyerang inang mungkin akan melakukan pengendalian dengan baik. Sederetan parasitoid mungkin tidak selalu diperlukan untuk mencapai hasil pengendalian yang memuaskan, tetapi jika kemampuan pengendali tidak sanggup, maka deretan musuh alami yang lebih lengkap bisa melakukannya.

Nilai Relatif Parasitoid dan Predator dalam Pengendalian Hayati

Untuk membedakan predator sebagai organisme yang harus mengkonsumsi lebih dari satu mangsa (inang) dengan tujuan untuk mencapai kedewasaan. Parasitoid berkembang mencapai dewasa dengan satu inang. Kedua kategori tersebut, bisa menyebabkan kematian tergantung kepada kepadatan masing-masing karena parasitoid cenderung mematikan inang daripada predator, maka ada kecenderungan untuk mengabaikan peran predator dalam mengendalikan hama pertanian.

Ditopang oleh analisis tentang kegiatan predator vertebrata. Meskipun demikian, ketika teknik-teknik yang diterapkan pada evaluasi musuh alami dilapangan sudah diperhalus, telah terdapat kesadaran pengertian tentang arti penting predator. Patut dicatat bahwa dewasa ini pandangan tersebut dipercepat perkembangannya dengan peledakan hama yang semula bersifat sekunder setelah aplikasi insektisida tertentu. Dalam kasus-kasus tertentu bahan-bahan kimia ini mempunyai efek selektif terhadap predator tertentu, dan konsekwensinya membawa ke fokus nilai spesies-spesies yang dahulunya belum diberikan penghargaan penuh.

Thompson (1929) mencatat bahwa arti parasitoid predator sebagai agen pengontrol hanya bisa dilakukan setelah penelitian cermat dilapangan. Disimpulkan peran serangga pemangsa telah diabaikan, bahwa serangga-serangga tersebut layak untuk mem-peroleh perhatian ketimbang yang diterima pada umumnya, kemungkinan penggunaannya dalam kerja praktis besar. Peran predator vertebrata dalam pengendalian serangga tidak jelas.

Predator atau Parasitoid Spesifik Versus Umum

Walaupun nilai predator umum telah disebutkan, peneliti biologi meyakini bahwa kemungkinan terbaik dalam keberhasilan pengendalian dengan menggunakan parasitoid atau predator yang bersifat spesifik (monopag). Bagaimanapun juga jika populasi inang secara periodik ditekan oleh faktor-faktor lain, maka musuh alami spesifik akan sangat menderita sedangkan pemangsa umum akan menopang dirinya dengan memanfaatkan inang-inang lain selama periode yang tidak sesuai. Penggunaan pemangsa tanaman spesifik dalam pengendalian hayati tanaman gulma sangat diperlukan sebab menghindari resiko adanya serangga fitophagous yang umum yang menyebabkan kerusakan pada tanaman komersial yang akan dilindungi.

Suatu inang yang menyebar luas dan memakan sejumlah tanaman serta tinggal dibanyak situasi ekologi akan mempunyai musuh-musuh alami yang kompleks dan bervariasi secara kualitatif dan kuantitatif disituasi yang berbeda-beda. Bagi peneliti lapangan jelas bahwa disuatu daerah yang mempunyai keragaman ekologi besar dan iklim yang berbeda-beda seperti di California suatu spesies parasitoid tertentu boleh jadi sama efektifnya diseluruh jenis inangnya. Ini bukan hanya menunjukkan kadar spesifitas dalam hubungan dengan iflang, tetapi seperti yang Thompson (1951 a), tunjukkan, akan menunjukkan tingginya kadar spesifitas

dalam seleksi atau adaptasi terhadap lingkungan. Dengan demikian tingginya kadar spesifitas bisa berkorelasi dengan kurangnya adaptabilitas terhadap penyebaran atau perubahan lingkungan.

Arti Penting Ras atau Strain dari Musuh Alami

Terkait dengan diversitas habitat yang dengannya parasitoid impor mungkin harus diatasi adalah masalah ras atau strain spesies tertentu. Seperti Smith (1941) tunjukkan, terdapat ras-ras serangga yang sejauh ini kita ketahui tidak bisa dibedakan satu sama lain. Serangga-serangga tersebut berbeda habitat, karakter fisiologis, dan karakter psikologisnya ketimbang struktur atau warnanya.

Dengan bertambahnya pengalaman dalam pengendalian biologi, menjadi lebih jelas bahwa banyak dari apa yang disebut spesies sering kali terdiri dari ras, strain, atau spesies-spesies sibling yang secara morfologi tidak bisa dibedakan tetapi secara biologis sangat berbeda. Dengan demikian satu spesies parasitoid tertentu mempunyai bentuk yang teradaptasi dengan spesies-spesies inang yang berbeda atau terhadap habitat-habitat yang berbeda.

Efek Hyperparasitisme

Hyperparasitoidisme terjadi ketika suatu parasitoid menyerang dan berkembang dengan memakan parasit lainnya. Jika suatu parasitoid menyerang inang dan mempunyai spesies phitopagus entomophagus diistilahkan sebagai parasitoid primer.

Teori Pulau dalam Pengendalian hayati

Teori ini mengandung keragaman mengenai penggunaan pengendalian hayati di daerah-daerah Benua dan telah diajukan agar metode pengendalian dibatasi di daerah-daerah

kepulauan saja . Teori pulau maksudnya agensia hayati yaitu parasitoid, predator dan patogen akan bekerja dengan optimal karena mobilitasnya akan tetap pada ekosistem tersebut karena mempunyai barrier laut di sekelilingnya artinya pulau tersebut dikelilingi oleh lautan tanpa ada pertanaman lain. Jadi agensia hayati bekerja efektif hanya di ekosistem tersebut tidak akan berimigrasi.

Para penganjur teori pulau mengatakan bahwa hasil-hasil mengagumkan yang diperoleh dibagian-bagian benua seperti California tidak meiemahkan teori pulau, tetapi sebenarnya justru memperkuat teori tersebut. Hal ini disebabkan karena daerah bagian-bagian benua tersebut merupakan pulau-pulau ekologis.

Musuh Alami dan lingkungan yang Kuat serta Meningkatkan Kesehatan

Jika kita menganalisis daerah-daerah iklim yang pengendalian hayati sangat berhasil akan jelas bahwa tempat-tempat tersebut paling sering merupakan daerah yang panas atau sedang. Terdapat 2 penjelasan utama untuk ini :

1. Kematian musuh alami yang berlebihan disebabkan iklim yang ekstrim.
2. Siklus-siklus tahunan yang lebih berlainan dari spesies serangga di daerah beriklim sedang yang membutuhkan sinkronisasi voltinisme atau diapause musuh alami inang.

Faktor waktu dan Nilai Keberhasilan Ekonomi Parsial dalam Pengendalian Hayati

Pencapaian pengendalian peruh dalam periode minimum setelah kolonisasi bukan menjadi jaminan bahwa keefektifan seperti itu akan permanen, sementara itu, ketidak efektifan selama periode yang sama merupakan bukti nyata

bahwa spesies bersangkutan tidak akan pernah secara tepat mengendalikan inangnya.

Jika kesimpulan-kesimpulan diatas yang berkenaan dengan parasitoid-parasitoid dan predator-predator yang sepenuhnya efektif diterima, maka konsekwensinya kesimpulan-kesimpulan lain bisa ditarik dan ini mempunyai kaitan dengan pelaksanaan proyek-proyek masa depan. Kesimpulan-kesimpulan tersebut meliputi :

1. Parasitoid atau predator yang sepenuhnya efektif selalu mapan dengan mudah dan cepat. Dalam banyak kasus terdapat peristiwa pemapanan yang bagus sekali yang diakibatkan oleh pelepasan satu pasang parasitoid predator saja.
2. Kegagalan parasitoid atau predator untuk mapan dengan cepat dan mudah merupakan indikasi bahwa ia tidak akan efektif setelah pembentukan tercapai.
3. Kolonisasi parasitoid atau predator yang dimasukkan bisa dihentikan dengan baik setelah 3 tahun jika masih belum terdapat bukti pemapanan. Masih merupakan asumsi bahwa persyaratan-persyaratan pemapanan telah dipenuhi jika :
 - a. Kolonisasi telah terjadi disetiap zone iklim yang berbeda yang ditempati oleh inang bersangkutan.
 - b. Bahvva koloni-koloni bersangkutan mempunyai ukuran dan jumlah yang memadai.
 - c. Pelepasan-pelepasannya disinkronkan dengan waktu kelimpahan dari tahap-tahap inang yang disukai atau dipilih.
 - d. Koleksi perolehan kembali mencukupi.
 - e. Tidak ada faktor biologis yang secara langsung mempengaruhi reproduksi kontinyu terlibat yakni, perbedaan kelamin hubungan-hubungan inang.

Bab VI

Karakteristik Biologis Entomophagus

Pendahuluan

Parasitoid dan Predator

Spesies entomophagus sering diklasifikasi kan atas dasar hubungan fungsional tertentu dengan suplay makanannya, dan dikotomi permulaan, serta dikotomi besarnya berupa perbedaan antara parasitoid dan predator. Pengujiannya disini adalah apakah dalam perkembangannya mereka hanya mengkonsumsi satu individu tunggal atau harus melalui tahap beberapa individu dengan tujuan untuk mencapai kedewasaan. Larva predator memerlukan konsumsi lebih dari satu individu untuk mencapai tahap dewasa dan akibatnya berkembang hubungan predator mangsa. Di pihak lain parasitoid dibedakan atas dasar bahwa tahap-tahap pra dewasa berkembang dengan mengorbankan suatu individu tunggal yang diistilahkan sebagai inang.

Perbedaan antara parasitoid dengan predator:

1. Parasitoid umumnya bersifat monofag atau oligofag, sedangkan predator bersifat polifag.
2. Parasitoid hanya memerlukan satu inang untuk perkembangannya, sedangkan predator memerlukan banyak mangsa untuk menyelesaikan siklus hidupnya.
3. Yang mencari inang pada parasitoid adalah imago betina, sedangkan pada predator yang mencari mangsa adalah jantan dan betina, juga pradewasanya.
4. Predator mematikan mangsa untuk dirinya, sedangkan parasitoid mematikan inang untuk keturunannya.
5. Parasitoid ukuran tubuhnya lebih kecil dibanding inangnya,, predator ukuran tubuhnya lebih besar dari mangsanya.
6. Metamorfosis parasitoid adalah sempurna, sedangkan predator ada yang sempurna dan tidak sempurna.
7. Parasitoid memarasit inangnya pada stadia tertentu, misalnya larva. Sedangkan predator memangsa semua stadia perkembangan mangsanya.
8. Parasitoid mematikan inangnya memerlukan waktu yang agak lama, predator mematikan mangsanya dalam waktu yang singkat.

Patogen

Mikroorganisme yaitu Virus, Cendawan, Bakteri, Nematoda dan Protozoa yang dapat menginfeksi serangga dan menyebabkan sakit bahkan kematian.

Beberapa patogen yang dalam kondisi lingkungan tertentu merupakan faktor mortalitas utama pada populasi serangga. Oleh karena kemampuannya membunuh serangga hama sehingga sejak lama patogen digunakan dalam pengendalian hayati.

Hubungan Inang-Parasitoid

Spesies yang mempunyai perilaku parasitoid menjadi sasaran klasifikasi. lebih lanjut menjadi banyak sub kategori tergantung pada bentuk serangan dan tipe inang. Sub kategori tersebut adalah :

1. Endoparasitoid (parasitoid internal)
2. Eksoparasitoid (parasitoid eksternal).

Penggolongan lain adalah

1. Parasitoid soliter
2. Parasitoid gregarius

Kategori-kategori sederhana ini sering di kombinasikan sehingga

1. Parasitoid internal soliter
2. Parasitoid eksternal soliter
3. Spesies gregarius
4. Pemangsa internal eksternal

Telah ditunjukkan bahwa walaupun serangga entomopagus mungkin mempunyai perilaku parasitoid, tetapi ia berbeda dengan parasitoid sejati sehingga untuk membedakannya diistiahkan sebagai parasitoid. Perbedaan tersebut disebabkan pada parasitoid:

- a. Perkembangan suatu individu merusak inang (mematikan inang)
- b. Inang biasanya mempunyai kelas taksonomi yang sama
- c. Di bandingkan dengan inangnya, parasitoid relatif lebih besar ukurannya
- d. Parasitoid hanya bersifat parasitoid ketika masih larva, dan parasitoid dewasa menjadi bentuk organisme yang hidup bebas

- e. Parasitoid tidak menunjukkan sifat heteroecism (tinggal diberbagai inang)
- f. Sebagai parameter dinamika populasinya kerja parasitoid mirip dengan kerja predator ketimbang dengan parasitoid sejati.

Parasit adalah organisme yang hidup menumpang pada organisme lain, baik didalam atau diluar tubuh inangnya. Pada umumnya parasit tidak langsung mematikan inangnya.

Jika inang dari Parasit mati, berarti ada toxin yang dikeluarkan. Secara evolusi, parasit tidak akan mematikan inangnya, karena inang diharapkan dapat hidup terus agar parasit juga hidup dengan mendapat nutrisi dari inangnya.

Parasit yang baik, tidak akan membunuh langsung inangnya. Parasit pada orang itu tidak cocok/sesuai maka parasit langsung mematikan, tapi prosesnya lama.

Karakteristik Biologis Parasitoid Dewasa

Yang merupakan penentu efisiensi spesies sebagai agen pengendali :

1. Kemampuan menemukan dan menyeleksi inang yang mana ini lebih ditentukan oleh serangga betina dewasa dengan tujuan untuk menentukan tempat bagi keturunannya. Dua sifat serangga betina ini sangat penting dalam pengendalian hayati.
2. Kebiasaan makan meliputi khususnya tidaknya makanan dari serangga bersangkutan. Hal ini mengandung arti tingginya kemampuan adaptasi. Hal ini penting sekali untuk kerja pengendalian hayati.
3. Sementara kebiasaan dan diskriminasi dalam mencari makan sangat penting, akan tetapi kedua hal itu sendiri tidak cukup untuk menjadikan spesies entomophagus

sebagai' agen yang penting dalam pengendalian hayati. Musuh alami yang yang efisien harus mempunyai kemampuan untuk menemukan inang pada saat inang bersangkutan mempunyai kepadatan popuiasi yang rendah. Ukuran kemampuan diistilahkan sebagai kemampuan mencari .

Kemampuan mencari dari suatu parasitoid terdiri dari beberapa sifat; baik fisik maupun physiologis yang terpenting dari sifat-sifat ini adalah :

1. Kekuatan gerak (kekuatan mencari)
2. Kekuatan persepsi (dalam mempersepsi inangnya)
3. Kekuatan untuk bertahan hidup
4. Keagresifan, persisten dan ketekunannya.

Parasitoid adalah serangga yang memarasit serangga lain. Pada parasitoid yang bertindak sebagai parasit adalah stadia pradewasa, sedangkan imagonya hidup bebas dan tidak terikat pada inangnya.

Faktor-faktor yang mendukung efektivitas pengendalian dengan parasitoid yaitu :

- a. Daya kelangsungan hidupnya baik
- b. Hanya satu atau sedikit individu inang yang diperlukan untuk melengkapi siklus hidupnya.
- c. populasi parasitoid dapat bertahan meskipun dalam keadaan populasi yang rendah.
- d. memiliki inang yang sempit.

Kelemahan parasitoid sebagai pengendali:

- a. Daya cari inang seringkali dipengaruhi oleh cuaca
- b. Serangga betina yang berperan utama karena mereka yang melakukan pencarian inang untuk peletakan telur.

- c. Parasitoid yang memiliki daya cari inang yang biasanya jumlah telurnya sedikit.

Periode Pra Dewasa

Periode pradewasa setelah lepas dari tahap pupa tidak selalu merupakan ciri dari kehidupan parasitoid. Jika jenis kelamin yang berlawanan hadir di kebanyakan hymenoptera. Perkawinan segera akan terjadi setelah lepas dari tahap pupa. Tentang periode ini penelitian dilakukan oleh Simmonds (1952), (1948.c), Crandell (1939), Rosenberck (1934), Hagen (1953).

Perilaku Perkawinan

Beberapa perhatian telah diberikan kepada perilaku perkawinan Hymenoptera Enthomophagus karena suatu bentuk percumbuan terlihat dalam perilaku Hymenoptera betina pada banyak spesies. Penelitian- penelitian yang berkenaan dengan perilaku percumbuan dan perkawinan dilakukan oleh Benzon (1944), Donistopher (1944), Stelfox (1944), L. Loyd (1952), Simonds (1952).

Pada Hymenoptera lazim ditemukan bahwa ketika Hymenoptera betina sudah dibuahi ia akan menghentikan perilaku menarik perhatian untuk menarik pejantan. Meskipun demikian Simon (1953) mendapati bahwa perkawinan satu kali saja tidak mencukupi bagi *Spalangio drosodilae* untuk menghasilkan telur yang sudah dibuahi disepanjang hidupnya. Percobaan Simon menunjukkan bahwa seekor pejantan mampu membuahi beberapa betina secara bergantian. Dalam kondisi lapangan pejantan maupun betina mungkin melakukan perkawinan lebih dari satu kali.

Jackson (1985) mendapati bahwa satu kali perkawinan saja sudah memungkinkan bagi telur yang sudah dibuahi

untuk dikeluarkan disepanjang kehidupan dari Mymarid *Caraohractus cintus* Hal, tawon kecil, *Ovtiscus* ini biasanya melakukan perkawinan di dalam air, meskipun bisa juga terjadi di luar air.

Efek Perkawinan Terhadap Perilaku Betina

Flanders (1946), meyakini bahwa" tindakan perkawinan atau kehadiran sperma dalam spermaterra mempunyai pengaruh menyolok dalam perilaku betina. Pada Aphelinidae tertentu perkawinan mempunyai efek menyolok yakni berupa timbulnya perubahan perilaku penting dari tipe inang yang terpilih dan pada cara oviposisi. Contoh yang ekstrim terjadi pada genus *Aneristus*, *casta*, *Coccophag*tJs, *Euxanthellus*, dan *Physcus*. Bila tidak melakukan perkawinan betina dari spesies tertentu genus ini hanya melakukan oviposisi secara Hyperparasitoidis dalam suatu serangga yang sudah terparasitoid dari spesies yang sama atau mlnp. Konsekuensinya, spesies jantan hanya berkembang sebagai parasitoid sekunder terhadap insta, mud a dari spesies yang sama (mirip), dan inang bagi spesies jantan tidak pernah menjadi inang untuk spesies betina. Tropisme bisa berubah disebabkan perkawinan.

Periode Praoviposisi

Interval antara kemunculan sebagai betina dewasa dan oposisi telur pertama, diistilahkan sebagai periode praoviposisi. Tidak ada aturan umum tentang interval khusus ini dalam kehidupan dewasa serangga enthomophagus. Terjadinya dan lamanya periode praoviposisi biasanya ditentukan oleh berbagai proses fisiologis yang biasanya terkait dengan kebutuhan makanan dari serangga dewasa. Berdasarkan periode kematangan telur terdapat 2 kelompok betina yaitu Provigenik dan Sinovigenik.

Makanan Serangga Dewasa

Parasitoid betina sinovigenik membutuhkan makanan protein untuk memproduksi telur sepanjang kehidupan dewasa .

Pada sejumlah spesies cukup jelas bahwa lokasi sumber makanan mempunyai pengaruh kuat terhadap distribusi dan keefektifan parasitoid dewasa. Tentang jenis-jenis parasitoid dalam hubungannya kebiasaan makannya di teliti oleh Clausen, Jaenes, dan Garner (1933), Garner (193b), Woulchoutt (1942), Allen dan Smith (195b) dan lain-lain.

Oviposisi

Jika betina sinovigenik tidak mendapatkan makanan berprotein atau tidak bisa menemukan inang dalam periode yang panjang, maka telur-telur yang matang dalam ovarium tidak dikeluarkan, tetapi diserap (Flander 1942 a, 1945 b).

Konsekwensinya, rangkaian produksi telur bisa mengikuti salah satu dari 2 rangkaian:

1. Siklus ovigenesis, ovisorpsi, ovigenesis
2. Linear ovigenesis, ovulasi, oviposisi

Gejala ovisorpsi menekankan nilai ekonomi parasitisme, dan konservasi bahan reproduksi mempunyai korelasi dengan tingginya kemampuan mencari. Spesies parasitoid yang betinanya berumur panjang, baik yang mempunyai rangkaian bertelur siklus maupun linear terjadi dengan kemudahan yang sama. Umumnya merupakan agen pengendali hayati yang efektif. Ini dikarenakan mereka mampu mencari inang yang kepadatannya rendah sehingga mereka bisa melindungi telurnya dan membatasi oviposisi hanya pada tempat yang cocok untuk perkembangan keturunannya (Flander, 1947).

Perilaku Pemilihan Inang

Pencapaian hubungan inang parasitoid dari 2 spesies harus memenuhi syarat-syarat awal yang terjadi secara bersamaan dari sudut pandang musim, geografis dan ekologi. Tetapi meskipun syarat-syarat ini sudah dipenuhi hubungan parasitoid boleh jadi belum terbentuk apabila terdapat kendala-kendala fisik, fisiologis atau nutrisi. Tentang urutan-urutan penyeleksian inang. Salt (1934, 1935, 1937) mengklasifikasikannya menjadi 3 kategori dengan urutan yang tepat.

1. Seleksi ekologis
2. Seleksi psikologis (seleksi inang)
3. Seleksi fisiologis (kesesuaian inang)

Cara lain untuk mempertimbangkan penyeleksian adalah memperkirakan seleksi inang yang dicapai melalui 4 fase :

1. Penemuan habitat inang
2. Penemuan inang
3. Penerimaan inang
4. Kesesuaian inang.

Sebenarnya 2 fase yang pertama (1 dan 2) adalah merupakan seleksi ekologis dari penggolongan yang dibuat oleh Salt dan langkah 3 dan 4 masing-masing sesuai dengan "seleksi psikologis". Berkenaan dengan perilaku penerimaan inang Edwards menyimpulkan adanya 4 fase perilaku parasitoid ;

1. Penemuan daerah inang
2. Penemuan puparium
3. Respon drumming dan drilling
4. Respon oviposisi dan pencarian makanan

Cara dan tempat Oviposisi

Untuk kejelasan pembahasan disarankan untuk menentukan tempat terjadinya perilaku oviposisi menjadi 3 kategori :

1. Oviposisi yang terpisah dari inang
2. Oviposisi pada permukaan inang
3. Oviposisi didalam inang

Penggunaan Oviposisi

Kekuatan parasitoid untuk memantapkan ovipositornya merupakan salah satu sifat yang melekat pada parasitoid sejalan dengan analisis Flanders (1947). Kemampuan ini diukur dengan faktor-faktor kekuatan ovipositor, panjang dan fleksibilitas ovipositor, dan waktu yang dibutuhkan untuk insersi (penyusupan).

Kelumpuhan Inang

Pada banyak Hymenoptera parasitoid, penyuntikan Ovipositor / Venom (bisa) untuk melumpuhkan inang dan tindakan oviposisi merupakan dua kegiatan yang berbeda. Menurut Ullyett (1945), *Bracon hebetor* Say. Pertama-tama melumpuhkan semua individu inang di lingkungan terdekat sebelum mulai mengeluarkan telur pada beberapa individu inang. Meskipun demikian tidak semua Hymenoptera parasitoid melumpuhkan atau membunuh inangnya sebelum oviposisi. Sebagian spesies tidak pernah menyuntikkan Venom (bisa) kedalam inang. Spesies yang lain jelas-jelas membunuh atau melumpuhkan inang sebelum Inang bersangkutan sesuai untuk perkembangan lebah yang belum dewasa.

Mekanisme Pembuahan, Penentuan Jenis Kelamin dan Pengaturan Jenis Rasio Jenis Kelamin

Biasanya penentuan jenis kelamin telur terjadi selama oviposisi. Ketika telur turun melalui saluran telur, apabila ada

perangsang yang tepat maka spermateka akan melepaskan sperma yang diarahkan kepada telur tersebut. Spermatozoa-spermatozoa ini akan memasuki telur dimana salah satunya akan menyatu bergabung inti telur. Telur ini kemudian berubah dari kondisi Haploid (dimana secara phartenogenesis ia telah berkembang menjadi jantan) ke kondisi diploid yang berkembang menjadi betina.

Karena kebanyakan Hymenoptera menghasilkan dua jenis kelamin, maka perlu dibahas adanya gejala penentuan jenis kelamin pada parasitoid - parasitoid ini. Semua ordo Hymenoptera ditandai dengan parthenogenesis. Diantara Hymoneptera parasitoidis perkembangan dengan parthenogenesis ini bisa dibagi menjadi 3 kategori :

1. Thelyotoky
2. Deutherotoky
3. Arhenotoky

Menurut Flanders (1946) menyatakan bahwa rasio jenis kelamin ditentukan secara eksterilnsik oleh kepadatan tempat oviposisi terhadap :

- a. Perbedaan mortalitas
- b. Interval praperkawinan setelah lepas dari tahap perkembangan yang mana hal itu menentukan proporsi telur yang disimpan sebelum perkawinan dan pencegahan perkawinan.
- c. Perkawinan yang berlebihan
- d. Perbedaan respon oviposisi sebelum dan setelah perkawinan
- e. Adanya tempat oviposisi yang dipilih.

Flanders juga menunjukkan bahwa rasio jenis kelamin secara interinsik bisa ditentukan oleh :

- a. Banyaknya telur yang tersimpan pada satu insersi ovi-positor
- b. Banyaknya telur ovarian yang siap untuk disimpan
- c. Perbedaan kecenderungan polyembrionik masing-masing jenis kelamin.

Karakteristik Predator Dewasa

Pada spesies predator, tidak seperti pada parasitoid, tahap larva dipaksa untuk mencari beberapa individu mangsa yang dengan demikian bahwa perilaku mencari yang dimiliki oleh larva dan juga spesies dewasa merupakan hal penting dalam setiap analisis tentang dinamika populasi predator mangsa. Seleksi mangsa oleh predator tahap dewasa beragam mulai dari seleksi yang sangat selektif hingga seleksi yang relatif minimal.

Bab VII

Tahap-Tahap Perkembangan Parasitoid

Pendahuluan

Seperti parasitoid lainnya, serangga parasitoid berkembang dari bentuk kehidupan bebas. Bentuk pra-imago yang seragam dan ditemukan di antara serangga endoparasitoid mencerminkan karakteristik penyesuaian diri yang baik, baik dalam bentuk maupun ontogeninya.

Parasitoid entomophaga atau parasitoid bersal dari ordo-ordo yang menyusun subdivisi endopterygota atau holometabola. Tahap-tahap pradewasanya berbeda mencolok dibanding tahap-tahap dewasanya. dari holometabola, spesies-spesies yang bersifat parasitoid adalah Neuroptera, lepidoptera, Choleoptera, Strepsitera, Diptera, Himenoptera. Elastisitas genetik yang memungkinkan serangga mempunyai bersifat parasitoid terletak pada serangga yang mempunyai tahap larva bukannya tahap mahluk hidup muda tanpa sayap (Nymph).

Mulainya tahap pupa memungkinkan serangga menyerang sangat banyak habitat dibanding serangga yang tidak mengalami tahap ekstra.

Tipe Telur

Bentuk telur parasitoid entomophaga sama sekali tidak seragam ini disebabkan oleh tumpang-tindihnya modifikasi adaptasi sehingga filogeni mempunyai kemungkinan memberikan sifat-sifat umum kepada telur.

Ukuran telur tidak selalu proporsional dengan ukuran parasitoid betina yang menghasilkannya. Bahkan dari satu parasitoid betina, ukuran, dan bentuknya beragam.

Ada kemungkinan untuk mengasosiasikan telur yang baru saja keluar dengan telur yang masih di dalam ovarium. Meskipun demikian ukuran dan bentuk telur bisa sangat berubah setelah keluar dari ovarium.

Embriologi

Biasanya parasitoid menempatkan telur yang sudah diinkubasi sempurna di dalam, di permukaan, atau terpisah dari inang dan larva yang sudah menetas mulai mencari makan. Telur-telur ini mempunyai tipe monoembrionik. Tipe lainnya adalah poliembrionik. Partenogenesis terjadi baik pada Himenoptera monoembrionik maupun poliembrionik.

Dalam monoembrionik, yang merupakan metode yang lazim dalam reproduksi parasitoid, embriologinya tidak berbeda secara mendasar dari embriologi kelompok non-parasitoid.

Periode inkubasi dan penetasan di antara parasitoid-parasitoid sangat bervariasi. Inkubasi sempurna bisa terjadi di uterus, dan ada juga yang inkubasi dan penetasannya terjadi pada saat telur dikeluarkan.

Perkembangan spesies poliembrionik dimulai persis sebagaimana pada parasitoid telur monoembrionik.

Poliembrioni mulai menjadi jelas ketika daerah embrioni terjadi menjadi kelompok-kelompok sel kecil atau poligerm (morulae) di dalam "trophamnion" (membran embriol). Membran ini kemudian memanjang dan morulaenya tersusun dalam deretan. setelah itu morulae ini pecah dan embrio-embrio terpisah terbentuk.

Jumlah Instar Larva

Dimorfisme bisa terjadi pada tahap larva yang sama dari parasitoid- parasitoid tertentu. Salah satu tipe dimorfisme adalah dimorfisme seksual dan tipe lainnya mempunyai kaitan dengan Encyrtidake Poliembrioni.

Dimorfisme seksual bisa terjadi tanpa perbedaan biologi nyata di antara kedua jenis kelamin. Dimorfisme seksual jauh lebih mencolok pada larva aphelinid tertentu. Jenis kelaminnya bukan cuma berbeda secara morfologis tetapi juga perilakunya.

Larva Instar-Pertama

Tahap parasitoid paling menyolok dalam siklus kehidupan adalah larva instar-primer atau larva-pertama. tahap-tahap larva selanjutnya biasanya menyerupai kepompong tanpa ada struktur-struktur menyolok.

Bentuk larva instar-pertama beragam mulai dari tipe kantong tanpa sekat hingga tipe bersekat dan memanjang. Sebagian penulis, dengan mengikuti Barlese (1913) membuat kategori tipe larva menjadi protopod, polipod, oligopod dan apodous.

Untuk tipe utama larva instar-pertama di antara predator telur atau parasitoid adalah; Triangulin, Planidium, Sacciform, Teleaform, Mymariform, Cyclopiiform dan lain-lain. Fungsi-fungsi yang ditunjukkan karakteristik-karakteristik morfologis larva meliputi : daya gerak, pencernaan, dan respirasi.

Larva Setengah Dewasa dan Dewasa

Larva biasanya menunjukkan perubahan bentuk di samping ukurannya ketika ia berkembang melalui berbagai instar.

Instar Larva Setengah Dewasa

Tahap-tahap setengah dewasa dari parasitoid diptera maupun hymenoptera biasanya menyerupai bentuk tahap larva terakhir. bagian kepala yang besar dan rahang bawah menghilang setelah pergantian kulit pertama.

Larva Instar Akhir

Secara umum larva diptera Cyclorrhaphous entomopagus kurang- lebih seperti belatung dan larva hymenoptera entomophaga adalah imenopteriform (seperti kepompong) ketika mencapai instar akhir. Dari penampilan permukaan, belatung yang satu tampak mirip belatung lainnya, dan larva yang mirip kepompong satu sama lain tampak tidak bisa dipisahkan belakangan ini kajian-kajian morfologis intensif terhadap larva parasitoid mengungkapkan adanya struktur-struktur untuk menentukan berbagai taksa termasuk dari spesies-spesies dari beberapa kelompok. struktur kepala dan anatomi spirakel secara luas digunakan untuk menetapkan kategori taksonomis.

Hymenoptera

Bentuk tubuh. Walaupun bentuknya yang utama adalah hymenopteriform, tapi ada beberapa kelompok yang larvanya berbeda mencolok dari bentuk yang menyerupai kepompong. secara umum modifikasi-modifikasi ekor yang ditemukan di beberapa larva primer pada instar terakhir sudah hilang atau berkurang. Penyekatan tubuh biasanya jelas dengan

pembagian menjadi 13 segmen post-cephalik. Jumlah ini merupakan penyekatan yang biasa ditemukan.

Struktur kenala. Kepala larva parasitoid meskipun sering kali sederhana, tetapi menunjukkan struktur yang berbeda-beda yang mudah dikenal. Seringkali bagian-bagiannya mengandung pigmen dan mandibelnya pada beberapa spesies mengalami sklerosis. struktur kepala merupakan petunjuk untuk membedakan kelompok-kelompok taksonomi.

Anatomi-dalam. Anatomi-dalam larva hymenoptera parasitoid relatif sederhana. Semua sistem organ normal dari serangga umumnya ada, tetapi lazim juga terdapat spesialisasi dan degenerasi spesialisasi lebih banyak terjadi pada larva instar-pertama.

Diptera

Bentuk Tubuh. Sebagian larva diktera parasitoid ketika dewasa mempunyai bentuk muscidiform atau seperti belatung karena tidak ada kakinya. Penyekatan (segmentasi) tubuhnya menjadi sebelas atau dua belas dengan satu kepala. Di kebanyakan spesies kepalanya tidak berkembang dengan baik.

Struktur Kenala. Dari Nematocera famili yang ada parasitoidnya cuma cecidomiidae dan chironomidae. Pada kelompok ini bagian-bagian mulut tidak mencolok, tetapi biasanya terdapat antene pendek. pada brachycera, parasitoid terdapat di dalam famili bomblyiidae, nemestrimidae, dan acroceridae. Kepala agak menonjol dan mudah dilihat walaupun sudah banyak menyusut.

Anatomi-Dalam. Anatomi-dalam larva diptera parasitoid tidak terlalu jauh bedanya dengan yang non-parasitoid. Meskipun demikian secara umum lebih kompleks ketimbang pada larva himenoptera.

Pra-Pupa

Tahap ini mengacu kepada saat instar larva-terakhir berhenti makan sebelum pembentukan pupa dan jarang menunjukkan gerakan eksternal. Meskipun demikian terjadi perkembangan cepat di dalam tubuhnya. Pada kelompok parasitoid tahap ini tidak ditandaidengan ekdisis sebagaimana pada hymenoptera.

Tanap pra-pupa di banyak hymenoptera mempunyai dua bentuk fase "eonympha" dan fase "pronympha".

Pupa

Kebanyakan larva parasitoid membentuk pupa di dalam bangkai inangnya, ada juga yang di luar atau berdekatan dengan inangnya. Parasitoid yang mengalami pupasi di dalam inang tidak membentuk kepompong (cocoon).

Tempat-Tempat Oviposisi dan Karakteristik-karakteristik Perkembangan

Serangga-serangga parasitoid bisa dikelompokkan menurut tempat penyimpanan telur atau larva dan tempat makan untuk larvanya. Townsemb (1968) menempatkan tachinids dalam lima kelompok didasarkan pada penempatan telur atau larva pada inang. Pantel (1910) dengan basis biologi, menembangkan diptera parasitoid, terutama tachinids, menjadi sepuluh kelompok dengan menggunakan tipe sistem reproduksi serangga betina, tipe telur yang ditempatkan dan periode inkubasi.

Klasifikasi-klasifikasi lainnya berasal dari Imms (1931), Clausen (1940 a, t1al 3,4), Bilioni (1958), Sweetman (1958) Klasifikasi-klasifikasi di atas, terkecuali dari Pantel, didasarkan pada penempatan telur atau larva (untuk larva lebih jarang) pada inang. tempat-tempat yang dimaksud adalah terpisah,

di permukaan, atau di dalam inang. Perbedaan juga didasarkan pada apakah larva mencari makan secara internal ataukah eksternal.

Telur atau Larva yang Ditempatkan Terpisah

Parasitoid yang melakukan oviposisi atau larviposisi terpisah dari inang memperlihatkan tipe siklus kehidupan paling kompleks karena larvanya harus mempunyai suatu mekanisme untuk menjangkau inang. Hipermetamorfosis larva terjadi di mayoritas spesies yang melakukan oviposisi terpisah dari inang. Semua ordo serangga yang mempunyai spesies parasitoid memiliki wakil-wakil yang menempatkan telur atau larva terpisah dari inangnya. Kesimpulannya, perilaku oviposisi bisa jadi terpengaruh oleh perkawinan atau tidak.

Telur dan Larva Yang Ditempatkan di Permukaan Atau di dekat Inang

Hampir semua parasitoid yang melakukan oviposisi langsung ke dalam inang dan berkembang secara internal akan mengalami hipermetamorfosis hingga kadar tertentu tempat yang dipilih untuk penempatan dan perkembangan telur atau larva bisa di dalam telur inang, larva inang, pupa, serangga muda homopterus, atau serangga dewasa. Perkembangan telur atau larva yang seterusnya bisa menjadi predator telur atau parasitoid larva-telur. Perkembangan akan berakhir di dalam serangga muda homopterus atau serangga dewasa.

Korelasi Tempat Oviposisi dengan Jenis Kelamin Telur

Menurut Flanders (1950) dalam kelompok aphidid, perilaku oviposisi ditentukan oleh kawin tidaknya serangga betina jika tidak kawin, telur yang dikeluarkan selalu haploid (menghasilkan serangga jantan) dan *saw* jenis inang atau tempat

tertentu dipilih. Meskipun demikian, tampak bahwa setelah melakukan perkawinan biasanya serangga betina memilih untuk menghasilkan telur diploid (menghasilkan serangga betina) dan karena telur seperti itu berkembang di atas atau di dalam jenis inang yang berbeda atau di tempat-tempat yang berbeda pada inang, maka perkawinan dianggap mengubah perilaku oviposisi serangga betina. Kadang kala betina yang sudah kawin mengeluarkan telur haploid maupun diploid selama satu kali oviposisi.

Bab VIII

Sistematika dalam hubungannya Dengan Pengendalian Hayati

Pendahuluan

Dalam bidang biologi penting untuk dikembangkan pengetahuan tentang klasifikasi yang diistilahkan sebagai "taksonomi" atau sistematika. Dua hal penting dalam pengklasifikasian organisme adalah:

1. Dasar yang handal dan logis untuk menyusun dan mengurutkan unit-unit taksonomi.
2. Sistem tata nama untuk unit ini agar bisa dirancang dengan tepat.

Sistem tata nama binomial menurut Linnaeus telah diterima diseluruh dunia dan secara konvensional spesies organisme dibedakan atas dasar perbedaan-perbedaan morfologis. Meskipun demikian semakin canggihnya atau rumitnya pengetahuan bidigi umum telah memunculkan ilmu

biosistematika modern yang memuat kajian tentang fungsi-fungsi kehidupan dalam hubungannya dengan klasifikasi organisme.

Pendekatan taksonomi modern dari tulisan Huxley (1940) dan penulis-penulis sesudahnya bukan hanya pencantuman nama dan pendeskripsian spesies, tetapi juga memuat data-data dari kajian ekologi, sitologi, korologi (biogeografil, biometri, teori seleksi dan evolusi serta lain-lain.

Bahan dan Metode Dalam Kajian Biosistematika

Koleksi sesuatu yang mutlak harus ada bagi pakar taksonomi adalah sederetan spesimen museum yang memadai. Deretan-deretan yang banyak diperlukan untuk menentukan ragam goeografis, rasio jenis kelamin dan untuk deretan spesimen dewasa harus diasosiasikan dengan tahap-tahap pra-dewasa, inang dan data bioekologi.

Pelestarian (pngaetan) Spesimen Impor Atau yang baru ditemukan

Berkenan dengan ini merupakan keharusan bahwa stok induk sebanyak mungkin (F1), pemeliharaan dilakukan untuk koleksi museum setelah imago melakukan oviposisi. Hal ini penting untuk membanding-bandingkan antaia popuiasi yang "baru" dan yang "tua" (lama) dikemudian hari.

Arti Penting dan data Inang

Inang dari parasitoid sangat mempengaruhi karakteristik morfologis dan fislogis spesies parasitoid bersangkutan ketentuan yang umum adalah bahwa semakin banyak inang akan semakin banyak parasitoid yang dihasilkan.

Perlengkapan Ahli Taksonomi

Alat-alat yang dibutuhkan seorang ahli taksonomi adalah mikroskop, reagen, bahan untuk pembuatan slide, penjepit dan

kotak serangga, bahan untuk label, perlengkapan bedah (pemotong) sederhana. Alat yang lebih khusus lagi adalah media fotografi.

Metode

Dengan munculnya buku *New Systematics* (Huxley, 1940) konsep taksonomi yang kuno, sempit dan morfologis mulai berubah. Meskipun demikian sebagian besar peneliti dibidang ini (umumnya ahli biologi dan ahli bakteriologis) yang sudah lebih dahulu mengusahakan kajian tentang masalah-masalah taksonomi dengan sarana-sarana di luar sarana-sarana morfologis. Setelah zaman Linnaeus para ahli taksonomi serangga berpuas diri dengan pendeskripsian perbedaan antar spesies hanya dengan dasar morfologis. Problem-problem taksonomi sekarang dikaji dan dipecahkan dengan metode yang berbeda dan menggabungkan metode-metode baru dengan metode morfologis.

Metode-metode baru yang kini digumakan adalah

1. Morfologi dan anatomi
2. Biologi, Ekologi dan Ethologi.
3. Genetika, Sitologi, Serologi dan Fisiologi
4. Biogeografi, Paleontologi, Klimatologi, Geologi, dan Filogeni
5. Biometri.

Unit-Unit Taksonomi dalam Pengendalian hayati

Dalam setiap kajian sistematik, sangatlah penting bagi peneliti pengendalian hayati untuk memahami defenisi istilah-istilah "genus", "spesies" dan "sub spesies". Demikian pula istilah "strain", "ras" dan "bentuk". Lebih cepatnya perkembangan kerja pengendalian biologi dibanding kajian sistematika yang berkenaan dengannya telah memunculkan istilah-istilah seperti "*Coccophagus sp*" dan lain-lain untuk

menunjukkan pada spesies- spesies yang meragukan.

Spesies

Defenisi spesies yang cocok dan dapat diterima diberikan oleh May, Linsley dan Usinger (1955). Spesies adalah "kelompok-kelompok dari populasi-populasi alami yang benar-benar (atau berpotensi) untuk persilangan atau kawin dengan cara reproduksinya berbeda dari kelompok-kelompok spesies lain".

Sub spesies dan Kategori-kategori intra-spesies lainnya

Menurut Mayr, Linsley dan Usinger (1955), sub-spesies adalah "kumpulan populasi-poulasi lokal yang dibatasi secara geografis dan secara taksonomi berbeda dari sub devisi spesies sejenisnya".

Sub-spesies merupakan kelompok paling randah diberi nama secara taksonomis. Istilah-Istilah yang memuat kategori-kategori infra spesies adalah "ras", "strain", "bentuk" dan lain-lain.

Hubungan Timbal-Balik Antara Sistematika (taksonomi) dengan Pengendalian Hayati

Hubungan timbal-balik antara taksonomi dan pengendalian bila digambarkan sebagai berikut : Para peneliti pengendalian hayati berurusan dengan dengan interaksi – interaksi antara parasitoid, spesies, inang, hiper parasitoid, predator dan faktor iklim dan lingkungan. Serupa dengan itu, taksonomi dalam pengendalian hayati berurusan dengan pengidentifikasi atas spesies-spesies dari semua kategori di atas. (Sabrasky, 1955).

Arti Penting Pengendalian Hayati Untuk Sistematika (Taksonomi) Banyak ahli yang telah menguraikan arti penting pengendalian Hayati untuk ilmu taksonomi. Sobrosky (1955) mengemukakan beberapa hal penting yang bisa dilakukan oleh para peneliti pengendalian hayati untuk para ahli taksonomi yaitu

1. Melengkapi data-data penting tentang daftar parasitoid-inang, materi peliharaan, rangkaian analisis tentang parasitisme, tahap-tahap pradewasa yang terkait, dan data distribusi dan juga semua ciri bioekologi yang teramati.
2. Teknik-teknik seperti yang digunakan oleh dalam ilmu genetika, sitogenetika, serologi dan kromatografi kertas bisa digunakan oleh ahli biologi yang hasilnya akan melengkapi kajian yang dilakukan ahli taksonomi terhadap spesimen-spesimen mati di laboratorium.
3. Melengkapi ciri-ciri adanya kemungkinan perbedaan-perbedaan dalam populasi, sub-spesies, spesies sekandung (sibling spesies) dan spesies morfologis.

Arti Penting Sistematika Atau Taksonomi Untuk Pengendalian Hayati

Tiga hal yang dapat dikerjakan pakar taksonomi untuk peneliti pengendalian hayati dikemukakan Sabrosky sebagai berikut:

1. Melengkapi informasi mendasar berkenaan dengan identifikasi berbagai spesies.
2. Pekerjaan klasifikasi dan penggabungan pengetahuan tentang spesies sudah diterima oleh para ahli taksonomi sebagai tanggung jawab mereka. Dengan demikian, masalah rumit tentang hubungan inang-parasitoid dan predator, inang-alternatif, dan hiperparasitoid harus dirganisir oleh ahli taksonomi.
3. Meskipun Pengumpulan informasi fundamental tentang klasifikasi dan Filogeni kelompok serangga mungkin tidak secara langsung dihargai oleh peneliti pengendalian bidigi, akan tetapi hanya jenis informasi ini yang bekas-bekas bisa diterapkan.

Sistematika Pengendalian Hayati di Masa Depan

Masalah-masalah yang harus diatasi untuk kemajuan biosistematika dimasa depan di antaranya adalah :

1. Pencarian dana untuk para ahli taksonomi terlatih agar dapat membimbing calon ahli taksonomi yang baru.'
2. Perlu dimudahkannya penerbitan monograf dan refisi-refisi yang luas dan banyak ilustrasinya.
3. Pelatihan yang cukup dalam ilmu-ilmu biologi, terutama bidang-bidang bioekologi dan genetika, morfologi dan prinsip-prinsip klasifikasi.
4. Perbaikan dalam kode etik dan kerja sama antar ahli taksonomi.

Hasil akhir yang Diinginkan

Ada banyak pendapat tentang persyaratan yang diperlukan untuk kajian-kajian biosistematika yang cukup. Salah satu dari pendapat-pendapat tersebut adalah dari thorpe (1940) yang mengemukakan 6 hal tiga diantaranya adalah :

1. Semua spesialis harus mempunyai fasilitas untuk pengkajian kelompok spesies di lapangan.
2. Laboratorium biologi yang lengkap peralatannya harus ada di setiap departemen museum agar material-material dari kelompok spesies yang sulit dan sangat rentan terhadap faktor lingkungan dapat dipelihara.
3. Pengawetan (pelestarian) yang sesuai untuk fase-fase awal dari mahluk hidup harus dilakukan.

Bab IX

Penelitian luar Negeri Untuk Menemukan Organisme berguna

Pendahuluan

Prinsip dasar pengendalian hayati terhadap hama pendatang adalah bahwa “dengan mengintroduksi musuh alami, akan banyak hama di lingkungan baru yang bisa dikurangi”.

Prospek-prospek pengendalian biologi yang hanya mengulang-ulang keberhasilan di daerah lain biasanya dilakukan tanpa adanya persiapan yang cermat, fasilitas dan personel yang dilatih secara khusus. Dipihak lain program-program eksplorasi rintisan di luar negeri untuk menemukan parasitoid dan predator baru merupakan operasi yang relatif kompleks dan memerlukan keakraban kerja tim diantara personel-personel yang sangat terlatih dan membutuhkan fasilitas-fasilitas unik (langkah) yang biasanya cuma tersedia untuk organisasi-organisasi yang secara khusus disiapkan untuk tipe pekerjaan ini.

Konsep-Konsep Penting Yang Relevan dengan Pencarian Artropoda Eksotik Yang Menguntungkan

Respon Hama Terhadap Pengendalian Hayati

Pertimbangan pertama dalam memulai program-program introduksi asing adalah Penilaian yang realistis terhadap karakteristik-karakteristik masalah hama karena karakteristik-karakteristik tersebut mempengaruhi probabilitas (kemungkinan) berhasilnya pengendalian biologi. Salah satu dari konsep primer dalam menaksir respon hama tertentu terhadap pengendalian biologi adalah adanya kaidah umum bahwa hama pendatang memberikan prospek yang jauh lebih baik dalam hal keberhasilannya dibanding dengan spesies hama asli.

Sering kali usulan eksplorasi untuk menemukan musuh alami hama gagal dalam mendapatkan dukungan terkecuali, jika ada contoh keberhasilan yang meyakinkan dengan hama-hama sebanding pada operasi-operasi pengendalian lain. Dengan alasan inilah maka banyak program introduksi mengikuti model-model sebelumnya yang diarahkan kepada sedikit tipe hama pertanian.

Hama dan Asosiasi-Asosiasi Musuh Alami di Daerah Asalnya sebagai Basis Pencarian

Doktrin dasar pengendalian biologi adalah bahwa musuh alami yang mampu menyerang dan menghancurkan spesies hama di daerah baru paling baik dicari di tanah asal hama. Kemudahan adaptasi musuh alami terhadap inang yang kemungkinan disebabkan kontak jangka panjang antara musuh alami dan inang di tanah asal akan tercermin dengan besarnya efisiensi musuh alami untuk menemukan inang dan menahannya untuk tetap dalam kepadatan rendah. Konsep ini merupakan kaidah untuk memaksimalkan usaha pencarian musuh alami. Asumsi awal adalah daerah asal spesies hama

merupakan satu-satunya daerah untuk pencarian musuh alami yang efisien. Untuk sekarang secara kategoris tidak bisa diterima. Untuk spesies predator yang spesifitas inangnya kurang mencolok dibanding parasitoid, penerimaan spesies mangsa baru adalah lazim dan pada hiperparasitoid, pengalihan ke banyak inang yang baru ditemukan umumnya bisa diterima. Dari pertimbangan- pertimbangan di atas maka logislah disimpulkan bahwa pencarian musuh alami dapat diperoleh di luar daerah asal hama dan spesies hama asli dapat dikendalikan dengan parasitoid dan predator yang dimasukkan dari luar.

Kemiripan Iklim Antar Daerah Asal dan Daerah Tujuan Sebagai Basis Pencarian

Dalam importasi artropoda eksotik yang menguntungkan umumnya iklim daerah asal sama dengan iklim daerah sasaran introduksi dengan demikian semakin besar kemungkinan keberhasilan musuh alami. Meskipun demikian hampir mustahil untuk meramalkan secara tepat bagaimana spesies impor akan memberikan respon' terhadap lingkungan iklim baru.

Arti Penting Spesifitas Inang dan Persaingan Antar Spesies Dalam Introduksi Musuh Alami

Spesifitas inang yang sangat berkembang (sedikit ragam inangnya) telah ditekankan sebagai suatu atribut yang terkait erat dengan efisiensi spesies parasitoid (Howard Fiske, 1911), Sedangkan kebiasaan polipagus (kapasitas untuk bereproduksi lebih dari satu inang) sering dikaitkan dengan karekteristik banyak predator umum untuk menyerang inang yang sangat padat populasinya. lebih dari itu, telah sering dicatat bahwa kasus-kasus pengendalian biologi yang sukses adalah yang menggunakan satu spesies entomophaga spesifik dalam hubungannya dengan inang.

Arti Penting Ras Genetik dalam Koleksi Asing (Luar negeri)

Keputusan untuk mengimpor keturunan (strain) biologis atau ekologis yang dicurigai dari suatu serangga entomophaga berdasarkan pada identifikasi dan penentuan dari kolektor tentang arti penting dari serangga yang bersangkutan. Fasilitas dan waktu yang cukup untuk menduga nilai dari bentuk-bentuk spesies yang dicurigai tidak selalu tersedia untuk kolektor asing. Meskipun demikian bila isolasi geografis dan bukti biologis menunjukkan adanya ras genetik, maka keputusan yang umum harus ditujukan untuk memastikan bahwa ras genetik tersebut akan di impor dan dimasukkan ke dalam stok pemerliharaan. Karakteristik genetik ras seperti itu akan tetap tersimpan dan tersedia untuk pemisahan adaptif ketika dilakukan eksp:dirasi lagi di lingkungan yang baru.

Pilihan Inang Tanaman oleh Musuh Alami

Dalam mencari inang, musuh-musuh alami seringkali tertarik pada habitat tertentu, pemilihan utamanya adalah spesies tanaman tertentu yang menjadi makanan inang (cushman, 1926 a). Dengan demikian, supaya sukses. di pertanaman pertanian, maka musuh alami harus telah terbiasa (adaptasi) dengan inang tumbuhan. tetapi hal ini kadang-kadang saja dilakukan disebabkan adanya keragaman tanaman inang yang disukai hama, dan konsentrasi sering diberikan kepada spesies tanaman yang terjangkau hama di daerah sasaran introduksi.

Perencanaan dan Penyiapan Untuk Introduksi Musuh Alami

Identifikasi taksonomi dan asal usul spesies hama

Usaha Kerja sama dari berbagai sumber dalam merencanakan program introduksi untuk alami baru dimulai dengan penentuan tepat dan kedekatan taksonomi sering dari spesies

hama. Informasi tentang ini sering sukar diperoleh sehingga harus dicari dari museum dan para spesialis di luar negeri.

Penjadwalan dan Organisasi Program Eksplorasi Luar Negeri

Setelah area pencarian ditentukan, periode yang paling sesuai untuk pengumpulan koleksi di luar negeri harus ditetapkan. Pertimbangan yang diberikan untuk mensinkronkan antara pengumpulan di luar negeri dengan program perbanyakan dan kolonisasi di dalam negeri. Suatu organisasi harus selalu bekerja untuk mencari musuh alami untuk banyak ragam spesies hama maka laboratorium-laboratorium semi permanen sering dibangun di tempat-tempat strategis di negara-negara asing.

Persiapan Untuk Pengangkutan dan Penerimaan Musuh Alami Eksotik

Berlangsungnya pelaksanaan (penyediaan fasilitas, persiapan dan perencanaan) Penerimaan kiriman musuh alami eksotik agar tidak terjadi ketidaksinkronan serius merupakan tanggung jawab kolektor asing, khususnya bila berkenaan dengan pengangkutan dan masuknya kiriman. Hal yang harus disiapkan meliputi :

- a. Izin dari pemerintah (setempat)
- b. Pemberitahuan kepada Departemen Pertanian negara asing, pejabat pabean dan karantina negara asing, dinas karantina dalam negeri.
- c. Izin lewat pelabuhan
- d. Kerja sama dengan pejabat penerbangan dan pos untuk pengiriman.

Hal-hal lainnya berkenaan dengan persiapan pribadi kolektor untuk perjalanan ke luar negeri dan perlengkapan kerjanya.

Pengumpulan Musuh Alami

Penemuan dan Pengumpulan musuh alami sering merupakan bagian pekerjaan yang kurang penting dari pekerjaan para spesialis. Pekerjaan memelihara stok biakan dan membawanya dengan aman ke daerah tujuan memerlukan kecermatan dan kepintaran paling besar, dan sering merupakan bagian terbesar dari usaha keras peneliti. Kebijakan dan prosedur pengumpulan saat ini telah berubah secara drastis akibat dari mudahnya transpor dan perubahan tekanan kultur musuh alami dari daerah ekspidirasi ke daerah yang menjadi sasaran introduksi. Peralatan untuk pengumpulan yang dibutuhkan tergantung pada tipe organisasi yang dieari tidak ada daftar pelengkapan yang tertentu yang penting adalah kesederhanaan dari alat-alat tersebut.

Pengiriman Musuh Alami Eksotik

Pengiriman musuh alami dari sumber asing biasanya dalam bentuk stadium pupa, spesies entomophaga imago yang telah kawin atau fase inang yang terdapat parasitoid di tubuhnya. Baik tipe wadah maupun caranya mengangkut tergantung dari tipe bahan yang dikirim pemberian makan kepada parasitoid atau predator dewasa sebelum pengiriman harus merupakan tindakan baku.

Tindakan Pencegahan Untuk Tidak Mengintroduksi Serangga Penyerang Potensial dan Patogen Tanaman

Pencegahan berikutnya serangga penyerang dan patogen-tanaman potensial mengharuskan adanya jaminan kehati-hatian dan pengetahuan yang mendalam terhadap perilaku dan biologi dari serangga parasitoid dan predator dipihak setiap orang yang punya kaitan dengan program importasi.

Penanganan Karantina Serangga Entomophaga

Pendahuluan

Tujuan penanganan serangga entomophaga yang sengaja diimpor kedalam kondisi karantina adalah untuk mencegah terikutnya introduksi spesies serangga fitophaga, hiperparasitoid, hama gulma atau penyakit tanaman.

Keberhasilan atau kegagalan program importasi sangat tergantung pada tingkat pelatihan kecerdikan dan dedikasi personil peiaksana karantina. Dengan demikian personil karantina mesti mempunyai kualifikasi- kualifikasi dasar :

1. Pendirian (sikap) untuk membuat setiap spesies atau strain parasitoid atau predator import bisa memberikan andil nyata terhadap pengendalian spesies hama.
2. Minat besar terhadap biologi serangga.
3. Pengetahuan taksonomi umum di dalam kelompok-kelompok entomophaga utama.
4. Pengetahuan tentang simptom-simptom penyakit.

Laboratorium Karantina

Fungsi pokok laboratorium karantina adalah menyediakan fasilitas-fasilitas untuk menangani bahan import sehingga mencegah lolosnya organisme yang secara potensial berbahaya.

Fasilitas minimum untuk karantina sekurang-kurangnya terdiri atas 2 ruang terpisah:

1. Ruang utama yang berisi' sebuah lampu perangkap yang hidup terus menerus diantara areal insektarium dan ruang karantina.
2. Ruang karantina tempat kiriman serangga dibuka dan kajian awal dimulai.

Perlengkapan-perengkapan yang harus diperhatikan adalah;

1. Pencahayaan pipa (untuk air atau bahan kimial
2. Fasilitas pipa (untuk air atau bahan kimia)
3. Sistem AC pusat (untuk mengatur suhu ruang, sirkulasi udara, kelembaban dan penyaring udara).
4. Peralatan untuk menyimpan serangga
5. Fasiitas penyetril atau pembakaran.

Kerjasama Dengan Kolektor

Arti Survei Pra Pengiriman Untuk Penanganan Karantina

Catatan dan observasi (pengamatan) kolektor berkenaan dengan bahan impor bermanfaat bagi penerima. Pengetahuan yang dimiliki kolektor tentang ekologi dan hubungan-hubungan spesies bersangkutan dengan inang bisa digunakan untuk mengurangi adanya spesies yang tidak dikehendaki di dalam pengiriman.

Data Koleksi

Lembar data yang dilampirkan oleh para kolektor Universitas California dalam pengiriman menunjukkan jenis

barang kiriman termasuk asal daerah pengumpulan dan spesies inangnya. Lembar data ini terdiri atas 2 sisi. Sisi pertama untuk diisi pengirim dan sisi lainnya untuk diisi oleh penerima.

Penambahan Penerimaan Kiriman

Penerimaan kiriman diperlancar jika sipengirim cermat dalam membubuhkan alamat laboratorium, izin importasi federal dan perangko yang tepat. Registrasi pengiriman memerlukan adanya penanganan ekstra dan pegawai pos dan penundaan waktu tiba beberapa hari. Kadangkala ada kiriman yang ditahan pihak pabean atau karantina disebabkan tidak adanya izin yang diperlukan.

Persiapan Untuk Penerimaan Bahan Import

Sila suatu lembaga berencana untuk mengirim kdiektor peneliti ke lapangan untuk melakukan pengiriman serangga hidup, diharapkan agar personil karantina menerima pemberitahuan importasi sekurang- kurangnya 6 bulan sebelumnya. Selama masa menunggu ada kesempatan untuk melakukan kegiatan-kegiatan seperti :

1. Mencari literatur tentang tanaman inang, serangga inang {hama} dan musuh-musuh alami yang sudah tercatat hingga saat itu.
2. Untuk proyek baru 6 bulan merupakan waktu minimum untuk menyiapkan biakan inang, khususnya bila penanaman tanaman diperlukan.
3. Merenovasi dan pembuatan kurungan, unit-unit isolasi dan lain-lain.
4. Prosedur Penanganan Bahan di dalam Karantina

Pengujian dan Pemrosesan Karantina

Untuk mencegah keluar masuknya organisme dari karantina selama pemrosesan kiriman, terutama yang masih baru, sebaiknya diperhatikan hal-hal berikut :

1. Para personil karantina hendaknya menggunakan mantel laboratorium.

2. Pembukaan kiriman harus dilakukan di dalam hand-case.
3. Hindari penggunaan zat untuk anes~esi bila mahluk hidup kiriman terlalu lemah.
4. Makanan untuk spesies kiriman harus diperhatikan.

Permintaan Import

Karena keberadaan strain atau ras biologi sudah diakui, maka inang-inang yang sudah terparasit harus dipilah-pilah menurut spesies, stadium perkembangan, tanaman inang, dan lokalisasinya. Jika terdapat adanya kelainan perilaku, maka perbedaan-perbedaan ras atau spesiesnya perlu dipertanyakan dan perlu dipisahkan biakan (kultur)nya untuk evaluasi biosistemika.

Temperatur Optimum dan Syarat Kelembaban

Setiap laboratorium karantina mempunyai temperatur konstan 76°F agar sesuai untuk berbagai parasitoid dan predator. Bila lebih tinggi akan membatasi perkembangbiakan lanjut dari serangga-serangga daerah beriklim sedang. Ketidaktepatan suhu menyebabkan diapause parasitoid. Toleransi suhu masing-masing spesies harus diperhatikan bila lebih dari 1 spesies hendak disimpan bersama.

Walaupun hanya ada sedikit informasi yang tersedia mengenai kelembaban relatif untuk optimalnya perkembangan parasitoid pra dewasa, para peneliti kadang melaporkan perlunya peralatan untuk dilembabkan dengan tujuan untuk meningkatkan prosentasi munculnya spesies.

Manipulasi Perkawinan

Kesulitan dalam prosedur pemisahan adalah dilakukannya pemisahan secara tidak disengaja diantara 2 jenis kelamin dari suatu spesies tertentu. Metode yang biasa untuk melangsungkan manipulasi perkawinan adalah dengan sengaja :

1. Mencampurkan imago jantan yang usianya 24 jam atau lebih dengan betina yang baru muncul.

2. Dalam kasus betina yang muda kelihatan masih ragu, perkawinan bisa dipaksakan dengan bantuan anestetik CO₂.
3. Pemberian suhu 40°F selama 30 menit.

Beragamnya kesiapan parasitoid untuk kawin dipengaruhi oleh umur, ruang, bau, cahaya, gerakan udara dan lain-lain. Setelah terjadinya perkawinan betina dipindahkan ke inang setelah dibiarkan dahulu selama 1 hingga 2 jam untuk memberikan waktu kepada sperma untuk mencapai spermateka.

Pilihan Inang

Masing-masing betina yang telah kawin atau yang belum kawin dibiarkan untuk dikerjakan beberapa fase kehidupan dari satu spesies serangga inang atau lebih. Semua inang yang terserang ditandai untuk penelitian atau kalau jumlahnya memungkinkan, dilakukan pengkaleksian. pada saat observasi semua atribut biologis dicatat.

Perhatian Terhadap Pola-Pola Perilaku Abnormal

Ada beberapa hal yang menyebabkan abnormalitas perilaku serangga dalam biakan. Pengaruh-pengaruh tersebut berupa :

1. Suplai makanan
2. Cahaya matahari langsung jika perkembangan inang tidak tertahan (Salt, 1941).

Karena diapause pada spesies inang biasanya dirangsang oleh penambahan-penambahan sikhHs atau musiman pada suhu, intensitas cahaya, makan atau parasitoidasi maka terjadinya diapause bisa diperkirakan bila serangga diangkut diantara belahan bumi dan iklim yang berbeda jauh.

Respon spesies-spesies terhadap perangsang yang mengakhiri diapause beragam, dan dalam beberapa kasus mustahil untuk menghentikan diapause di dalam laboratorium.

Penyimpanan Parasitoid Dewasa

Toleransi spesies imago parasit yang berbeda terhadap temperatur sangat beragam dan harus diteliti untuk tiap spesies jika spesies hendak disimpan.

Berikutnya Spesies Secara Tidak Sengaja Mendefeksi Penyakit

Personil karantina harus waspada terhadap spesies yang tidak dikehendaki dan pilihan inang yang jelas, untuk itu perlu diuji sesuai apakah sesuai dengan spesies yang dicari.

Berakhirnya Kemunculan Spesies dan Pembuangan Bahan dan Residu Pengirim.

Setelah parasitoid mulai muncul dari bahan asing, pertanyaan tentang berapa lamanya hal itu berlangsung hingga kemunculannya sempurna harus ditentukan, khususnya jika hanya beberapa individu parasitoid hendak dipelihara. Berdasarkan pengalaman jika kemunculan hiperparasitoid jauh lebih banyak daripada parasitoid primer maka bahan tersebut harus dibuang.

Cahaya buatan

Penyaringan Hiperparasitoid dan Organisme Pemangsa

Untuk melakukan ini ada 5 observasi yang bisa memberikan indikasi adanya hiperparasitoidisme.

- a. Aplikasi-aplikasi taksonomis dengan famili atau genus yang diketahuui mempunyai spesies hiperparasitoid.
- b. Pengamatan terhadap oviposisi di dalam inang yang sudah terparasitoid.
- c. "Mummi" inang kosong yang memuat dua tipe menconia dan acuviae.

- d. Pembedahan yang memperlihatkan adanya iarva yang memakan larva atau pupa parasitoid lain atau makan di dalam tubuh larva pupa tersebut.
- e. Meningkatnya berat spesies melebihi spesies primer dari inang biasa ketika musim berjalan khususnya jika spesies yang dicurigai selalu mempunyai ukuran lebih kecil.

Manipulasi Spesies Yang Peiantannya Merupakan Parasitoid Sekunder

Spesies-spesies parasitoid yang betina berkembang sebagai parasitoid primer dan jantan sebagai parasitoid primer dan jantan sebagai parasitoid sekunder. Hal tersebut memerlukan penanganan khusus pada saat di karantina karena tanda-tanda hiperparasitoidisme pada pejantan.

Diapause

Diapause pada serangga entomophaga parasitoid mempunyai banyak bentuk dan terkait erat dengan kondisi fisiologis inang. Telah ditunjukkan bahwa pertumbuhan parasitoid tertunda jika serangga inang memasuki diapause tetapi pertumbuhannya tidak akan berhenti.

Catatan tentang Data Karantina

Catatan-catatan tertulis tentang penanganan karantina terhadap bahan impor sangatlah penting. Catatan tersebut memuat transaksi pengiriman dan ringkasan informasi biologi yang dikembangkan di karantina, seperti catatan tentang kesuburan, lama hidup, nisbah kelamin dan lain-lain, yang akan digunakan sebagai pemandu teknisi proyek pada fase-fase pengembangan program perbanyak massal.

Arti Taksonomi Bagi kerja Karantina

Identifikasi mustahil dilakukan terhadap serangga yang bergerak secara akurat maka ketentuan taksonomi dibuat dari spesimen yang mati dari pengiriman dan dari spesimen yang mati selama pengujian. Spesimen spesies yang tidak dikenal

oleh peneliti karantina segera dikirim ke ahli taksonomi untuk identifikasi.

Hubungan karantina Dengan Kegiatan-Kegiatan lain

Peran mutlak taksonomi dalam kerja karantina sangat penting, begitupula peneliti karantina bisa memberikan informasi berharga kepada ahli taksonomi. Ahli taksonomi mengamati sifat-sifat biologis yang bisa merupakan indikasi pertama bahwa spesies yang ditangani oleh peneliti karantina tidak selalu merupakan spesies yang dimaksudkannya (Flanders, 1953).

Nematoda

Sangat sedikit usaha lapangan dilakukan untuk memanfaatkan nematoda entomophaga untuk mengendalikan serangga. Meskipun demikian, Tanada (1959a) mengatakan bahwa nematoda pada akhirnya menyediakan sangat banyak agen efektif karena banyak darinya merupakan parasitoid internal terhadap serangga. Telah terdapat peningkatan minat di AS terhadap penggunaan nematoda untuk pengendalian serangga setelah adanya laporan tentang dampak nematoda yang menjanjikan oleh Dutky dan Hough (1955).

Walaupun nematoda telah dikaji sejumlah entomologi di AS, sangat sedikit informasi nematoda tentang keefektifannya melawan serangga hama. Keberhasilan penggunaan populasi *Capocapsa pomonella* dan *Heliothis Sea* (Boddie) sebesar 60-70% setelah diaplikasikan nematoda yang dilaporkan oleh Dutky dkk dianggap tidak memuaskan. Menurut Hall (1961) masih memungkinkan adanya pengujian tambahan yang mengungkapkan situasi-situasi di mana nematoda bisa digunakan untuk keberhasilan pengendalian sejumlah inang yang rentan.

Bab XI

Dasar-Dasar Pengendalian Gulma Secara Hayati

Pendahuluan

Dalam pengendalian hayati terhadap gulma, keamanan merupakan pertimbangan utama. Gulma adalah tumbuhan/tanaman yang salah tempat. Gulma boleh jadi merupakan tumbuhan yang bernilai dalam situasi-situasi lain, baik gulmanya itu sendiri atau dalam hubungannya dengan tumbuhan lain. Fakta ini merupakan dasar untuk mempertimbangkan praktek pengendalian hayati. Dengan alasan tersebut maka setiap masalah gulma harus dipertimbangkan dari banyak sudut pandang.

Pertimbangan Ekonomi, sasaran dan Pendekatan

Tipe-tipe kerugian yang disebabkan oleh gulma akan mengikut sertakan lingkup hubungan-hubungan ekologis dan variasi kepentingan manusia yang merupakan hal penting

dalam mempertimbangkan masalah-masalah gulma unuk pengendalian biologi.

1. Berjejalnya atau berkurangnya pertumbuhan tanaman yang dikehendaki dalam mengurangi hasil dan kualitas.
2. Biaya pengolahan dasar
3. Kebutuhan akan benih khusus dan pembersihan biji-bijian
4. Bahaya langsgn terhadap manusia, ternak atau produk ternak
5. Penurunan batas air (watershed) dan nilai kehiduoan air
6. Fungsinya sebagai inag alternative untuk hama serangga atau patogen tanaman.

Sasaran pekerjaan ini bukannya pemusnahan gulma, tetapi Cuma pengurangan kepadatan hingga level yang secara ekonomi tidak merugikan. Ini bisa dilakukan baik dengan aksi langsung atau tidak langsung dari musuh alami yang digunakan.

Metode biologis untuk mengendalikan gulma secara ogah-ogahan telah dipakai atas dasar dua alasan: (1) perasaan/ perkiraan bahwa resikonya terlalu besar dibanding kemungkinannya untuk berhasil, dan (2) pertentangan pendapat tentang diterimanya, suatu tumbuhan tertentu dianggap sebagai gulma, diperhadapkan dengan fakta bahwa agen-agen yang diintroduksi bisa pindah (bergeser) ke tanah lain dimana tanaman bersangkutan mungkin mempunyai nilai.

Teori pengendalian biologis terhadap gulma didasarkan pada ketergantungan saling menguntungkan antara status suatu gulma dan serangga atau agen-agen yang punya kemungkinan untuk mampu mengendalikan gulma.

Kerja pengendalian biologi terhadap gulma biasanya melibatkan tanah gembalaan semi alami.

Perbandingan dengan pengendalian Biologi terhadap Serangga

Tillyard (1929, 1950) dan Sweetman (1956, 1958) menunjukkan pengendalian biologi terhadap gulma sebagai kebalikan dari pengendalian biologi terhadap serangga. Mereka tidak menekankan kemiripan-kemiripan yang lebih mendasar. Prinsip-prinsipnya sama. Di satu pihak tanaman menjadi sasaran yang mau dilindungi, di pihak lain, hama yang hendak dikendalikan. Juga banyak prosedur pengendalian biologi yang berlaku untuk hama serangga masih dipakai dalam pengendalian gulma.

Pertentangan Kepentingan dalam pengendalian Gulma

Metode fisik, kimiawi dan cultural (biakan) dalam pengendalian hama bisa dibatasi pada bentangan tanah yang hendak dibersihkan dari gulma tertentu. Di pihak lain, serangga fitofaga yang diintroduksi menurut kepentingannya sendiri akan memperluas lingkup kegiatannya sendiri melalui batas yang dimaksudkan. Ini bisa menimbulkan masalah karena suatu tumbuhan bisa menjadi hama di satu tempat dan menjadi tumbuhan berguna di tempat lain, atau areal yang sama ia bisa berbahaya untuk satu jenis kepentingan dan bermanfaat untuk jenis kepentingan lainnya. Dengan demikian evaluasi posisi ekonomi terhadap masalah ini dimana-mana terbukti penting.

Konsep-konsep pengendalian Alami Berkenaan dengan Gulma

Prinsip holokoenotik memandang lingkungan sebagai bertindak sebagai satu kompleks atau keseluruhan. Tetapi ini tidak berarti tidak adanya penyebab dominant atau prinsipil yang bisa ditunjukkan dalam peran kunci penyebab-penyebab tersebut dalam kondisi-kondisi tertentu.

Tanpa peduli akan pengaruh makhluk hidup pada suatu saat, posisi persaingan dari berbagai spesies tanaman akan

merupakan suatu fungsi dari kondisi-kondisi untuk pembenihan, pematangan anak benih, pertumbuhan, produksi biji, dan kelangsungan hidupnya selama periode-periode kesulitan sebelum pembenihan.

Ketika tindakan makhluk hidup merumput, pengumpul biji, penabur benih dan makhluk hidup-mahluk hidup lain yang terkait nyata dipertimbangkan, maka situasinya menjadi jauh lebih rumit. Pengendalian hayati telah menunjukkan bahwa kerusakan oleh serangga tertentu yang tampaknya tidak penting justru bisa memadai untuk memiringkan keseimbangan dengan melawan spesies gulma dan mendukung tanaman yang dikehendaki (Simmonds, 1934).

Menurut Clements (1936) konsep vegetasi klimaks (dikutip dari Cain, 1939) merupakan suatu konsep tentang kecenderungan stabilitasi dalam iklim yang sedang mengatur perubahan merupakan hal yang khas, tetapi dalam kondisi tidak adanya manusia, perubahan masih berada dalam klimaks tersebut. Kesatuan klimaks ditandai dengan bentuk kehidupan dari tanaman-tanaman dominant dan oleh genus dan famili tanaman yang menonjol.

Dalam praktek, falsafah Clementsion yang mengandung kebenaran umum ini dikecam oleh Love (1959). Gleason (1934) mengkritik konsep adaptasi dominant klimaks dari clements yang dianggap unggul dan tidak disangsikan.

Jenis- jenis Musuh Alami

Serangga

Bermula dengan introduksi delapan species serangga ke Hawaii pada tahun 1902 untuk mengendalikan *Lantana Camara L.*, serangga menjadi agen penting yang digunakan dalam pengendalian biologi terhadap gulma. Spesies-spesies

yang telah sukses digunakan adalah dari Lepidoptera, Homoptera, hemiptera, Koleoptera dan Diptera.

Organisme Lain sebagai Agensia

Setiap organisme yang bisa membatasi pertumbuhan atau reproduksi tumbuhan bisa digunakan sebagai agensia pengendali hayati terhadap gulma. Secara potensial meliputi makhluk hidup yang lebih tinggi atau lebih rendah daripada serangga, dan juga tanaman tinggi yang bersifat parasitoid. Jamur, bakteri, dan virus.

Sifat dan Aksi Pengendalian

Hubungan timbal balik khusus antara serangga dengan tumbuhan berbunga (Brues, 1946) merupakan hal mendasar dalam pengendalian gulma dengan memakai serangga. Ini tidak berarti memungkinkan untuk mengendalikan setiap gulma yang parah dengan kerusakan tanaman oleh serangga bisa bersifat langsung atau tidak langsung. Jelas atau sukar diketahui dan tidak bisa diramalkan. Akibat dari kerusakan pada tipe dan dasar tertentu mempunyai kaitan dengan lingkungan sebagai satu keseluruhan.

Kerusakan Langsung dan tidak Langsung

Musuh alami sering merusak gulma melalui kerusakan langsung pada bagian-bagian vital (contoh aksi *Cactoblastis cactorum* terhadap *Opuntia*). Sehingga ia bisa mati dengan cepat atau mati pada musim lain di tahun itu sebagai akibat ketidakberesan fungsi pada masa kritis setelah serangan.

Musuh alami bisa juga merusak gulma secara tidak langsung dengan: (1) menciptakan kecocokan kondisi untuk terjadinya infeksi oleh patogen tumbuhan, dan (2) merusak keuntungan (kelebihan) kompetitif gulma.

Bagian-bagian Tumbuhan yang Diserang

Tekanan penting telah diberikan kepada aksi serangga yang menyerang biji atau bunga atau yang melubangi akar atau batang.

Sementara keamanan merupakan dasar pertimbangan utama menurut Imms (1929) dan Wilson (1943), kedua penulis juga merasa bahwa bentuk-bentuk serangan ini lebih efektif. Belum ditunjukkan bahwa bentuk-bentuk serangan ini lebih aman atau betul-betul lebih efisien. Terlalu sedikit contoh yang tercatat, dan terlalu banyak cara rumit agar pengendalian bisa dilakukan dengan bentuk serangan terhadap daun atau tunas sehingga bisa ditarik kesimpulan dari sedikit pengalaman yang tersedia.

Serangga yang menyerang biji bisa terbukti sangat efisien dalam pengendalian gulma tahunan dengan pencegahan terjadinya penyebaran dan penggantian. Tumbuhan tertentu Cuma rusak sedikit terkecuali bila diserang oleh sejumlah besar serangga, atau bisa jadi mati oleh serangan dari satu serangga saja.

Hubungan Iklim dengan pengendalian dan Pilhan Agen

Wilson (1949) membahas hubungan iklim dengan seleksi spesies untuk introduksi. Beberapa dari kesimpulannya adalah:

1. Jelas bahwa spesies yang berbeda tetapi mempunyai pertalian erat umumnya memainkan peran yang persis sama dalam hubungannya dengan inang(tumbuhan) di tempat-tempat yang berbeda (dimana tumbuhannya mempunyai distribusi yang lebih luas ketimbang musuh fitopagusnya) dan bahwa perbedaan-perbedaan esensial antara spesies memiliki adaptasi – adaptasi khusus yang dilakukannya terhadap iklim tertentu.

2. Iklim daerah distribusi gulma di daerah yang diserang dan di daerah asli harus dikaji secara cermat sebagai dasar seleksi terhadap subjek yang hendak diintroduksi.

Hubungan Timbal Balik Antara agensia Serangga dengan Makanannya

Teoritis seperti Muis (1914), Thompson (1929), Bodenheimer (1930), Simth (1935), dan Imms (1937) sepakat bahwa serangga-serangga fitopagus jarang dibatasi oleh kekurangan tumbuhan makanan mereka.

Di pihak lain, Nicholson (1933, 1954b), Uvarov (1931, hal 161), dan Brues (1946), yang telah melakukan kajian luas tentang arti penting makanan, mengakui bahwa makanan biasanya merupakan pembatas populasi.

Dewasa ini, kajian-kajian lain menekankan arti penting unsur-unsur makanan tertentu di dalam makanan serangga dan ketegantungan banyak spesies bukan hanya pada kuantitas makanan tetapi kepada makanan yang memuat keseimbangan tepat unsur-unsur makanan (Painter 1951; Rodriguez dan Rodriguez; Fleschner 1952). Dengan demikian semata-mata adanya tanaman inang bukan tersedia untuk suatu serangga fitopagus.

Resiko Introduksi dan Spesifitas Inang

Pengendalian gulma secara biologis mengandung potensi resiko besar. Resiko-resiko tersebut berkenaan dengan : 1) tingkat spesifitas dan spesialisasi agen yang diintroduksi dan 2) posisi botani dan sifat-sifat khusus gulma. Tillyard (1929) menekankan bahwa resiko nyata disebabkan ketidaktahuan kita tentang spesifikasi inang ketimbang tentang metodenya itu sendiri.

Tes Spesifitas

Terdapat kontroversi tentang interpretasi terhadap tes-tes spesifitas. Keputusan-keputusannya tidak bisa sepenuhnya obyektif.

Dodd (1954) menyusun poin-poin berikut yang relevan untuk menginterpretasikan tes spesifitas dan pertanyaan umum tentang introduksi.

1. Arti penting gulma, dan kesulitan pengendaliannya dengan metode-metode selain metode hayati.
2. Nilai potensial serangga untuk mengendalikan gulma.
3. Nilai tumbuhan ekonomis yang mungkin diserang oleh serangga, ditimbang bobotnya dibanding dengan kerusakan dan kerugian produksi yang ditimbulkan oleh gulma.
4. Serius tidaknya kerusakan tumbuhan ekonomi yang mungkin disebabkan oleh serangan serangga.
5. Sederhana tidaknya pengendalian oleh serangga melalui sarana kultur, kimiawi atau sarana lain, jika dan pada saat ia menyerang suatu tumbuhan ekonomi tertentu.

Keamanan Realitif Tipe-Tipe Feeding yang Berbeda

Imms (1929) menekankan anggapan adanya keamanan yang lebih besar dalam mempergunakan pelubang akar atau batang atau pemakan biji untuk pengendalian gulma.

Wilson (1943) sependapat dengan Imms dalam menganggap bahwa serangga pelubang akar, batang, buah dan biji disukai karena keamanannya yang lebih besar dan kesempatan suksesnya lebih besar. Belakangan (1949) yang menjangkiti biji menawarkan prospek keberhasilan yang lebih baik untuk melawan gulma peremial. Jelaslah bahwa usaha-usaha untuk menemukan serangga yang spesifik untuk gulma tertentu harus mencakup segala kemungkinan tanpa penekanan yang tidak tepat pada baguan tumbuhan yang disernag dan dengan

tes trarvetasi dan oviposisi baku, untuk menunjukkan keamanan dalam mengitroduksi contoh-contoh yang dites.

Sifat Penjangkitan dan Prospek Keberhasilan

Setiap gulma yang dipertimbangkan sebagai subyek pengendalian hayati harus dipandang dari banyak aspek karena pengendalian hayati hanya bisa diterapkan bila hubungan-hubungannya tepat.

Sifat Berbahaya dari Gulma

Sifat berbahaya dari gulma bisa disebabkan toksisitasnya yang tinggi terhadap mahluk hidup; menggeser tanaman yang lebih dikehendaki; fungsinya sebagai inang alternative untuk patogen tanaman atau hama serangga; mengkontaminasi sebagai contoh dengan biji; atau berbahaya bagi kehidupan liar atau konservasi tanah.

Perilaku Pertumbuhan gulma, Asal Usul dan tipe Tanah yang Dijangkiti Lingkup khusus pengendalian hayati terhadap gulma mempunyai kaitan dengan fakta bahwa para petugas yang berwenang pertama-tama mencobakan metoda lain disebabkan adanya unsur resiko bila mengintroduksi serangga fitopagus. Tanah yang dianggap cocok untuk metode ini juga terlalu sukar dicapai atau terlalu rendah nilainya bisa menggunakan metode kimiawi atau lainnya, atau kalau gulmanya tidak bisa diatasi dengan metode lain. Sebagaimana kasus hama serangga, gulma eksotik merupakan penyerang yang paling buruk.

Gulma di tanah yang tidak diolah menjadi sasaran utama pengendalian hayati i karena gulma di tanah olahan mudah dibedakan dengan sarana konvensional tanpa terhalang oleh biaya yang berlebihan. Kontinuyitas tanaman inang tergantung pada perubahan kondisi untuk perkecambahan biji, peman-

tapan, pertumbuhan dan reproduksi. Asaptasi biji untuk bertahan hidup beberapa tahun menunggu pulihnya kondisi untuk pengkecambahan memberikan jaminan kontinuitas inang tanaman dalam kondisi tidur (dorman). Serangga yang hendak menyerang tidak punya kemampuan sebanding.

Bab XII

Kegiatan Pengendalian Hayati Terhadap Gulma

Pendahuluan

Laporan yang pertama dipublikasikan tentang pemakaian serangga secara sengaja untuk mengendalikan spesies tumbuhan yang tidak dikehendaki atau penggunaan serangga dalam pengendalian hayati terhadap gulma dibuat oleh Perkrus dan Swezey (1924). Ini merupakan laporan dari penelitian yang dilakukan pada tahun 1902 di Hawaii dimana *Lantana camara* L., suatu tanaman hias introduksi telah lolos dari pengolahan tanah dan pengambil oleh areal yang cukup luas di tanah gembalaan.

Proyek-Proyek Terkenal Dunia

Lantana-Lantana camara L.

Semak perenial yang berasal dari Amerika tengah ini digunakan secara luas di seluruh dunia sebagai tanaman hias.

Di banyak kejadian ia telah lolos dari pengolahan dan menjadi hama di tanah gembalaan dan perkebunan kelapa, menghalangi penghutanan kembali dan menjadi masalah yang agak mempengaruhi kepentingan pertanian lainnya.

Hawaii. Pencarian serangga untuk menghancurkan Lantana di Hawaii yang dilakukan Alber Koebele di Meksiko dan Amerika Tengah pada akhirnya menghasilkan lebih dari 20 spesies serangga musuh alami. Selain Hawaii di sendiri importasi dilakukan ke Pulau Maui dan Oahu.

Koebele yakin bahwa hasil terbaik dalam usaha mengendalikan Lantana diperoleh dari kegiatan serangga-serangga yang menghalangi peroduksi biji yang bisa hidup baik dengan mencegah pembungaan atau menghancurkan biji yang baru terbentuk.

Fiji. Lantana merupakan tumbuhan pertama yang dilaporkan sebagai hama serius di Fiji. Empat spesies serangga yang sudah mantap di Hawaii kemudian diintroduksi dan tiga darinya mantap di Fiji. India. Dalam pembuatan tes sepsifikasi spesies serangga untuk Lantana di India, didapati bahwa *Teleonomia scurupolosa* mengarang jati yang merupakan keluarga dekat Lantana akhirnya spesies lain, *Apliompha Lantanae* yang berasal dari Hawaii dipergunakan dengan aman.

Australia. Selama bertahun-tahun Lantana melimpah di daerah tropis dan subtropis di pantai Queensland dan New South Wales. Disebabkan kondisi iklim beberapa introduksi serangga musuh alami belum memberikan hasil memuaskan. Beberapa calon masih diteliti.

Per Berduri - Opuntia Spp.

Beberapa spesies Opuntia yang berasal dari belahan bumi barat telah diangkut manusia ke seluruh dunia. Disamping aspek-aspek manfaatnya, sebagian spesies lolos dari peng-

olahan dan menjadi gulma yang sangat agresif menempati jutaan areal produktif.

Australia. Kerja yang dilakukan terhadap per berduri di Australia benar-benar merupakan prestasi menonjol dalam bidang pengendalian hayati terhadap gulma. Di antara introduksi-introduksi yang sukses yang paling menonjol adalah *Cactoflastis cactarum* (Berg).

India dan Selandia. Dua spesies opuntia *O. vulgaris* (*O. monacantha*) dan *O. elatior* Mill (*O. micricans* Haw) diintroduksi ke India sekitar tahun 1787 untuk digunakan dalam budidaya komersial serangga penghasil warna merah. Spesies *O. dillenii* (kerGowl) Haw, kemungkinan diintrukduksi sebelumnya. Serangga yang menebrikan pengendalian Pling abgus adalah *Dactylopius tomentosus*.

Sulawesi. Selama awal 1930-an *O. elatior* dengan cepat menduduki sawah yang disi-siakan dan menyebar ke tanah ge,balaan di lembah Palu. Gulma ini berhasil di atasi dengan *Dactylopius tomentosus* yang juga sukses di Australia. Afrika Selatan. Dari 20 spesies yang diintroduksi dan menjadi masalah, 2 spesies opuntia, *O. megacantha* Salm-Dyck dan *O. amantiaca* menjangkiti pedesaan terbuka dan dilaporkan bahwa lebih dari 1 juta ha terjangkiti *O. megacantha* saja. Delapan spesies serangga terlibat dalam upaya mengendalikan gulma ini disamping pengendalian mekanis tambahan. 90% dari arel yang terjangkiti akhirnya bisa dipublikasikan.

Hawaii. Karena tedapat pertentangan pendapatn tentang nilai ekonomi *Opuntia megacantha* yang diintrodksi dari meksiko. Penyebaran serangga yang diintrodksi dibatasi penyebarannya. Dari delapan spesies serangga, *Cactoblastis cactarum* adalah yang paling dominant untuk pengendali gulma.

Mouritius. Kaktus yang menimbulkan kesulitan di pulau ini dilaporkan sebagai *opuntia tuna* (L). semula *Dactylapius*

tomentosius diintroduksi, tetap aktivitasnya merosot disebabkan serangga lain yang diintroduksi *Cactoblastis Cactroum* dari Afrika selatan memberikan hasil memuaskan.

Rumput St. john, Gulma sungai Klamath, *Hypericum Perforatum* L

Tumbuhan ini tersebar luas di seluruh zone beriklim sedang di seluruh dunia. Gulma ini bila termakan bisa mengganggu selera makan mahluk hidup, kepekaan kulit mahluk hidup yang tak berpigmen dll.

Australia. *Hypericum perforatum* masuk ke Australia sekitar tahun 1880 dari Jerman pada tahun 1916. tanaman ini menjadi gulma di sekitar 184 ribu acre di Victoria saja. Tahun 1917 masalah ini dianggap sebagai masalah nasional. Dari 37 spesies pemusnah *Hypericum* yang diperkenalkan oleh Wilson (1943), 3 spesies serangga cukup mapan: *Chrysolina quadrigemina* (Suffr) dan *Agrillus Hyperici* (Crent), dan *Zewidiplosis giardi* (kief). Hasilnya belum memuaskan.

Amerika Serikat. Di Washington dan Oregon, tumbuhan ini disebut Gulma Biri-Biri, dan di California disebut gulma Klamath, (karena pertama dilaporkan sekitar tahun 1900 di dekat sungai Klamath). Dari beberapa spesies serangga diintroduksi *Agrilus Hyperici* merupakan agen pengendali yang terbaik meskipun faktor yang mempengaruhi keberhasilannya belum diketahui.

Kanada. Introduksi *Crytolima hyperici*, *C. quadrigemina*, *Zenlidiplosis giardi*, dan hyperciti masih belum berhasil untuk mengendalikan gulma Klamath di Kanada. Sedang dilakukan introduksi *C. Variasu* dan hasilnya saat ini belum diketahui (Smith, 1958).

New Zealand. Meskipun belum ada laporan tentang kesuksesan usaha introduksi tapi dari percakapan dengan para pengunjung di New Zealand dipastikan bahwa *C. quadrigemina* sudah mapan dan banyak mengurangi gulma ini.

DAFTAR PUSTA

- Agrios, G.N. 2004. Plant Pathology. Fifth Edition. Elsevier Academic Press. London, New York., Tokyo.
- Andrewartha, H. G and L. C Buch. 1954. The Distribution and Abundance of Animals. University of Chicago Press. Chicago. First Edition. 680p.
- Blantaran de Rozari. M. 1973. Effect of Temperature on the Survival and Development of the European Corn
- Borrer, O. *mubiaksi*. Thesis Iowa State University America. 58pp
- Critech Field, H.J. 1979. General Climatologi. Third edition. Prenticea Hallof India. New Delhi. 446p
- Clark, F.E. 1979. Ecological Association Among Soil Microorganism *in* Soil Biology Review Research. Unesco.
- Cook, RJ. and beker, K.F. 1989. The Natural and Practice of Bilogcal Control of Plant Pathogens. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. USA.
- DeBach, P., 1973. **Biological Control by Natural Enemies**. Cambridge University Press. London

- Fatahuddin, Nurdin Dai, Itji Diana D, dan Firdaus H., 1995. *Perbanyakan Masal dan Inundasi Diadegma semiclausum H. Parasitoid Plutella xylostella L. Pada Pertanaman Kubis Dataran Tinggi di Malino, Kabupaten Gowa*. Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pda Masyarakat, Universitas Hasanuddin, Ujung Pandang.
- Heming, B.C. 1990. Bacteria as Antagonis in Biological Control of Plant Pathogen *in* Biological Control Alternative for Supperessing Agricultural Pest and Disease. Preceding of a UCLA Colloquium Held at Friesco. Alan R. Liss Inc. New York.
- Huffaker, C.B., dan P.S. Messenger, 1989. *Teori dan Praktek Pengendalian Biologis. " Theory and Practice of Biological Control"*. Penerjemah : Soeprapto Mangoendihardjo. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Huffaker C.B. dan Messenger P.S, 1976. *Theory and Practice of Biological Control*. Academic Press Inc.
- Kalshoven, L. G. E., 1981. *Pest of Crops in Indonesia (Resived and Translated by P. A. Van der Lann)*. P. T. Ichtar Baru - Van Hoeve, Jakarta
- Krebs, C.J. 1978. *Ecology The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Second Edition.
- Messenger, P.S. 1959. Bioclimatic Studies with Insects *An. Rev. Ent.* 4:183-206
- Pumomo, H. 2010. *Pengantar Pengendalian Hayati*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Untung, K. 1993. *Pengantar Pengelolaan Hama Terpadu*. UGM Press. Yogyakarta

- Sudarwohadi. 1987. *Pengendalian Terpadu Hama Ulat Daun Kubis (Plutella xylostella). L ; Lepidoptera : Yponomeutidae) Pada Tanaman Kubis*. Universitas Padjajaran Bandung. (Disertasi).
- Sudarwohadi, S, dan K. G. Evelens, 1977. *Biological Control of Plutella xylostella L. on Cabbage in Indonesia by the Introduction Parasite Diadegma eucerothaga H.* Bulletin Penelitian Hortikultura, Vol. V. No. 6.
- Suksino, H. 1961. Peramalan Penyerangan Hama Beluk di Jawa dan Madura. Tahun 1961-1962.
- Sosromarsono, S. 1979. Pengaruh Iklim Terhadap Perkembangan
- Soesanto, L. 2008. Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman. Rajawali Press. Jakarta.
- Van Den Bosch R, and Messenger P. S., 1973. *Biological Control*. Intext Educational Publishers, New York and London.
- Vos, H.C.C.A.A., 1953. *Introduction in Indonesia of Angitia eucerothaga Grav., a Parasite of Plutella maculipennis Curt.* Contrib. Gen. Agric. Sta., Bogor. No. 143. P. 87.

