

INTRODUKSI PARASITOID, SEBUAH WACANA BARU DALAM PENGENDALIAN HAMA KUTU PUTIH PEPAYA *Paracoccus marginatus* DI INDONESIA

Lina Herlina

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Jalan Tentara Pelajar No. 3A Bogor, 16111
Telp. (0251) 8339793, 8337975, Faks. (0251) 8338820, E-mail: bb_biogen@litbang.deptan.go.id, borif@indo.net.id

Diajukan: 15 November 2010; Diterima: 2 Desember 2010

ABSTRAK

Masuknya hama eksotis *Paracoccus marginatus* ke Indonesia telah menimbulkan permasalahan dalam pengendalian hama tersebut pada tanaman pepaya (*Carica papaya*). Belum terdapat alternatif pengendalian yang efektif untuk menekan populasi hama ini di Indonesia. Pengendalian hayati dengan mengoptimalkan musuh alami sebenarnya merupakan alternatif yang paling sesuai, namun hasil penelitian yang memadai untuk mengembangkan musuh alami lokal yang potensial belum tersedia. Introduksi parasitoid yang efektif mengendalikan *P. marginatus* di luar negeri menginspirasi upaya pengendalian hama ini di Indonesia. Tulisan ini bertujuan membahas beberapa aspek penting dalam program introduksi parasitoid, antara lain karakter agens hayati introduksi, prosedur pelepasan musuh alami, dampak negatif terhadap organisme bukan sasaran, serta prospek aplikasi parasitoid introduksi di Indonesia. Pada prinsipnya, introduksi parasitoid cukup prospektif untuk diterapkan di Indonesia dengan persyaratan tertentu.

Kata kunci: *Carica papaya*, *Paracoccus marginatus*, pengendalian hama, parasitoid, Indonesia

ABSTRACT

Introduction of parasitoid, a new concept in controlling papaya mealybugs Paracoccus marginatus in Indonesia

The invasion of exotic pest *Paracoccus marginatus* in Indonesia has encountered a special problem. Any pest controls conducted on this pest have not proved to be effective yet to suppress pest population. Actually, the most appropriate strategy to control *P. marginatus* infestation could be attained through biological control by optimizing the natural enemies, but unfortunately there has not been any sufficient research which developed some potential natural enemies native to Indonesia. The attempts that succeed in managing *P. marginatus* under lower population have been carried out by other countries through introduction of parasitoids. This has been inspiring to apply the same strategy in Indonesia to control *P. marginatus*. This paper aimed to discuss some important aspects associated with introduction of parasitoids, e.g. characteristics of potential agents, procedure for releasing natural enemies, effects on nontarget organisms, and also the potential and prospect of applying parasitoid introduction in Indonesia. In principal, parasitoid introduction to control *P. marginatus* is potential to be implemented in Indonesia, as long as it matched with the requirements.

Keywords: *Carica papaya*, *Paracoccus marginatus*, pest control, parasitoid, Indonesia

Hama kutu putih, *Paracoccus marginatus* merupakan salah satu kendala utama dalam budi daya tanaman pepaya (*Carica papaya*). Awalnya hama ini tidak dikenal dalam kelompok kutu putih di Indonesia dan bukan merupakan ancaman bagi tanaman hortikultura karena belum teridentifikasi keberadaannya di Indonesia. Namun, sekitar tahun

2008, hama tersebut telah menginfestasi secara luas tanaman pepaya di daerah Bogor sehingga kutu putih menjadi sangat populer di kalangan petani maupun praktisi hama.

Masuknya hama eksotis *P. marginatus* ke Indonesia telah menimbulkan kerugian besar pada tanaman pepaya. Pada tahun 2009, 10 kabupaten sentra

pepaya di Jawa Tengah mendapat serangan parah hama kutu putih. Harian Joglo Semar melaporkan sekitar 135.000 tanaman pepaya di Kabupaten Boyolali terpaksa dimusnahkan, bahkan hama dilaporkan telah mencapai Kabupaten Klaten, yang terindikasi dari adanya 300 tanaman pepaya yang terserang. Serangan tidak hanya mematikan tanaman pe-

paya jenis impor, tetapi juga pepaya lokal, bahkan pepaya andalan Boyolali M9 sebagian juga mati terserang kutu putih.

Sejak terdeteksi keberadaannya pada Mei 2008 di pertanaman pepaya di Bogor, serangan hama kutu putih meluas secara cepat ke berbagai wilayah Indonesia, antara lain Kabupaten Bogor, Sukabumi, Cianjur, Kota Depok (Jawa Barat), DKI Jakarta, Kabupaten Tangerang (Banten), beberapa kabupaten di Jawa Tengah, Kota Surabaya (Jawa Timur), Kota Pekanbaru (Riau), Denpasar (Bali), dan Sulawesi (Friansa 2009; Muniappan 2009; Deffan 2010). Alternatif pengendalian yang efektif untuk menekan populasi kutu putih belum tersedia di Indonesia. Aplikasi insektisida dengan bahan aktif imidakloprid secara tunggal dapat menurunkan populasi hama hingga 40% setelah empat kali aplikasi, sedangkan aplikasi yang dikombinasikan dengan air sabun mampu menekan populasi hama hingga 60% (Dadang *et al.* 2008). Meskipun demikian, selain tidak efisien karena berbiaya tinggi, pengendalian dengan pestisida, sebagaimana dipraktekkan sebagian petani pepaya di Indonesia, tidak dapat menekan populasi kutu putih di lapangan. Bahkan dalam waktu singkat, serangan hama meluas lintas pulau. Lapisan lilin di permukaan tubuh kutu putih merupakan perisai yang mampu melindungi kutu putih dari zat toksik insektisida.

Pengendalian hayati klasik dengan mengoptimalkan musuh alami merupakan cara pengendalian yang paling sesuai. Namun, karena tergolong hama baru, inventarisasi musuh alami *P. marginatus* di Indonesia masih sangat terbatas sehingga perlu dilakukan survei ke berbagai wilayah di Indonesia, khususnya di daerah endemis kutu putih untuk menggali informasi mengenai keberadaan musuh alami lokal yang potensial untuk dikembangkan. Studi secara mendalam mengenai karakter biologi masing-masing musuh alami, kisaran inang, efektivitasnya dalam mengendalikan *P. marginatus*, serta analisis risiko terhadap organisme nontarget juga perlu dilakukan untuk memperoleh kandidat musuh alami yang andal.

Beberapa negara telah mempraktekkan pengendalian secara biologi tersebut, antara lain Karibia, negara di Amerika Latin, Florida, Guam, dan Palau (Rich 2010). Parasitoid yang digunakan adalah dari ordo Hymenoptera, famili Encyrtidae, antara lain *Acerophagus papayae* Noyes

& Schauff, *Anagyrus loeckii* Noyes & Menezes, dan *Pseudleptomastix mexicana* Noyes & Schauff. Tingkat parasitisasinya bervariasi antarlokasi dan antarspesies parasitoid. Keberhasilan cara pengendalian tersebut menginspirasi untuk mengimplementasikannya di Indonesia melalui introduksi parasitoid.

Tulisan ini bertujuan memberikan ulasan mengenai introduksi parasitoid, antara lain karakteristik parasitoid yang efektif serta faktor yang perlu dipertimbangkan dalam introduksi musuh alami, seperti teknik pelepasan yang tepat serta pengukuran dampaknya terhadap organisme nontarget.

***P. marginatus* ANCAMAN SERIUS PRODUSEN PEPAYA**

Penyebaran *P. marginatus*

Kutu putih pepaya *P. marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) ditengarai berasal dari Meksiko, atau suatu wilayah di dekat Amerika Tengah (CABI 2005). Meski spesimen serangga ini telah dikoleksi pertama kalinya di Meksiko pada tahun 1955, deskripsi tentang spesies ini baru dilakukan pada tahun 1992 oleh Williams dan Granara deWillink, dan dideskripsi ulang oleh Miller dan Miller pada tahun 2002 (Amarasekare *et al.* 2008). Sejak saat itu, hama ini berturut-turut dilaporkan terdapat di US Virgin Island (1996), Amerika Serikat (Florida), Haiti, St. Kitts dan Nevis, St. Barthélemy, dan Guadeloupein (1998); French Guyana, Cuba, dan Puerto Rico (1999); Barbados, Cayman Islands, dan Montserrat (2000); Bahamas dan Guam (2002); Republik Palau (2003) (Muniappan *et al.* 2006), Kepulauan Hawaii (Maui dan Oahuta) (2004) (Amarasekare *et al.* 2009); dan di Northern Marianas (Tinian) (2005) (Muniappan 2009). Selanjutnya *P. marginatus* menginvasi pulau-pulau di Pasifik dan telah mapan di Guam (Meyerdirk *et al.* 2004).

Invasi ke Asia Selatan dan Asia Tenggara berlangsung sejak tahun 2008 hingga sekarang. Hama ini pertama kali masuk Indonesia pada Mei 2008, berdasarkan laporan Aunu Rauf, seorang Profesor dari IPB (Deffan 2010). Pada tahun yang sama, *P. marginatus* juga dilaporkan terdapat di Tamil, Sri Lanka, utara Thailand, dan setahun kemudian juga terdapat di Bangladesh dan Maladewa (Muniappan 2009).

Gejala dan Dampak Kerusakan

Dengan karakternya yang bersifat polifag, relatif tahan terhadap pestisida, menyebar sangat mudah dan cepat, serta pada serangan berat menyebabkan kematian pada tanaman, *P. marginatus* menjadi ancaman yang cukup serius bagi petani pepaya. Selain menyerang pepaya, hama ini juga menginfestasi tanaman alpukat, terung, tomat, kamboja, aglaonema, palem putri, kembang sepatu, puring, zodia, ubi kayu, dan jarak (Ditjen Hortikultura 2008).

Hama biasanya menginfestasi sepanjang tepi tulang daun tua atau pada hampir seluruh bagian daun muda serta buah. Serangga menusuk dan mengisap cairan floem tanaman inangnya dan mengeluarkan toksin yang dapat mengakibatkan daun klorosis (menguning) dan mengerut, tanaman mengalami deformasi dan kerdil, serta daun dan buah gugur prematur (Heu *et al.* 2007; Sartiami *et al.* 2009a).

Koloni *P. marginatus* menghasilkan cairan madu (*honeydew*) yang menutupi permukaan tanaman, yang menginisiasi tumbuhnya cendawan jelaga yang berwarna kehitaman (*sooty mould*). Permukaan daun, batang maupun buah yang tertutupi jelaga akan mengalami gangguan difusi gas dan menghambat proses fotosintesis sehingga selain produksi buah turun drastis, buah yang terbentuk juga gagal dipanen karena gugur prematur atau tidak layak jual (CABI 2005).

Sejak terjadi serangan *P. marginatus* di Indonesia, buah pepaya menjadi sulit dijumpai di pasaran, padahal sebelumnya pepaya sangat mudah ditemukan dan murah harganya. Masyarakat umumnya mengonsumsi buah pepaya untuk kesehatan saluran cerna. Bagi beberapa produsen pepaya di dunia seperti negar-negara di Kepulauan Karibia, Amerika Selatan, Kepulauan Hawaii, serta Florida, pepaya bernilai jutaan dolar, khususnya dari produksi papain. Papain merupakan bahan baku bagi produksi permen karet, sampo, pasta gigi maupun pasta pemutih gigi, pelunak daging, serta untuk industri minuman keras dan tekstil (CABI 2005).

PENGENDALIAN HAYATI

Sejak masuk pada tahun 2008, dalam kurun waktu 2,5 tahun *P. marginatus* telah 'mapan' di Indonesia, terbukti dari laporan serangan hama ini di berbagai wilayah pada berbagai komoditas, dengan prefe-

rensi utama pada tanaman pepaya (Friamsa 2009; Sartiami *et al.* 2009a). Berbagai teknik pengendalian telah dilakukan petani, antara lain dengan melakukan eradikasi tanaman terserang, mengganti tanaman pepaya dengan tanaman lain yang relatif tahan (misalnya ubi kayu), dan menyemprot hama menggunakan pestisida. Namun dari sekian usaha pengendalian, belum ada satupun yang efektif menghentikan invasi hama ini. Pengendalian kimiawi dengan insektisida berbahan aktif aseptat, karbaril, khlorpirifos, diazinon, dimetoat, malation, dan minyak mineral putih hanya efektif secara parsial, atau memerlukan aplikasi dua kali dari dosis normal untuk memberikan efek terhadap infestasi hama kutu putih (Walker *et al.* 2003). Hal ini dikarenakan *P. marginatus* memiliki lapisan lilin yang tebal dan kantung kapas serta sering bersembunyi di dalam daun atau tunas yang rusak (Walker *et al.* 2003). Statusnya sebagai hama eksotis membawa konsekuensi kesulitan tersendiri dalam mencari taktik pengendalian yang sesuai.

Di negara asalnya, Amerika Tengah (Meksiko), *P. marginatus* tidak menjadi masalah yang serius karena di negara tersebut terdapat beberapa jenis musuh alami lokal, yaitu parasitoid yang dapat mengontrol populasi hama. Pengendalian populasi hama dengan memberdayakan musuh alami dikenal sebagai pengendalian hayati. Pengendalian hayati mencapai era gemilangnya sejak abad ke-19. Saat itu, penggunaan pestisida untuk mengendalikan hama mulai menunjukkan efek negatif, berupa resistensi dan resurgensi beberapa jenis hama. Pengendalian hayati sebagai isu lingkungan berskala internasional mempunyai keunggulan, yaitu bersifat permanen dalam mempertahankan populasi hama pada tingkat yang aman, tidak mencemari lingkungan, aman bagi manusia, produk tanaman, dan organisme menguntungkan, ekonomis karena tidak membutuhkan biaya tambahan untuk pekerja sesudah pelepasan awal, ketika musuh alami telah mapan dapat menyebar sendiri, dan kompatibel dengan teknik pengendalian yang lain (Vincent *et al.* 2007).

Dalam pengendalian hayati hama, dikenal dua jenis musuh alami utama, yaitu predator dan parasitoid. Predator adalah makhluk hidup yang memangsa makhluk lain untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, sedangkan parasitoid adalah makhluk hidup (dalam hal ini serangga) yang

tinggal pada tubuh serangga lain (disebut inang) dan menggunakan tubuh inang sebagai media untuk memenuhi kebutuhan hidup dan atau menyelesaikan siklus hidupnya. Penggunaan parasitoid untuk pengendalian hayati lebih aman bagi lingkungan karena spesifik terhadap inangnya (Greathead 1986).

Pengendalian hama dengan manipulasi musuh alami dimaksudkan untuk memberikan peran yang lebih besar kepada musuh alami untuk menekan populasi hama. Pada prinsipnya, musuh alami akan selalu berkembang mengikuti perkembangan hama. Selama musuh alami dapat menekan hama maka pengendalian dengan bahan kimia tidak diperlukan karena keseimbangan biologi telah tercapai (Anonymous 2002). Filosofi ini merupakan strategi pendekatan hama terpadu dengan pendekatan ekologi, yang menekankan pada upaya menciptakan kondisi ekosistem sedemikian rupa sehingga musuh alami dapat berkembang secara baik dan menunjukkan pengaruh nyata terhadap penurunan populasi hama atau tingkat kerusakan pada tanaman.

Inventarisasi musuh alami *P. marginatus* dari pertanaman pepaya di Bogor dan Sukabumi pada tahun 2008 dan 2009 memperoleh beberapa jenis musuh alami, antara lain dari kelompok predator (ordo Neuroptera, Coleoptera, Diptera), dan parasitoid (ordo Hymenoptera), serta dari kelompok cendawan Entomophthorales (Dadang *et al.* 2008; Sartiami *et al.* 2009b) (Tabel 1). Meskipun demikian, penelitian terhadap hama kutu putih maupun musuh alaminya di Indonesia masih sangat terbatas, yaitu baru dalam tahap identifikasi dan pengukuran persentase parasitisasi

pada skala laboratorium. Belum terdapat pengkajian di lapangan maupun upaya pengembangan musuh alami lokal secara massal. Oleh karena itu, perlu dilakukan survei dalam jangka panjang untuk menggalikan potensi musuh alami yang ada di Indonesia, terutama dari daerah dengan karakter geografis yang berbeda. Untuk jangka pendek, mengingat kerusakan akibat *P. marginatus* pada pertanaman pepaya cukup parah dalam waktu singkat, pengendalian hayati melalui introduksi parasitoid dapat menjadi alternatif pemecahan masalah.

PENGENDALIAN HAYATI MELALUI INTRODUKSI PARASITOID

Komersialisasi Musuh Alami

Pengendalian hayati dengan mengoptimalkan kinerja musuh alami makin banyak diadopsi petani. Produksi musuh alami secara massal berkembang sangat pesat dalam tiga dekade terakhir, antara lain dalam hal jumlah serangga, kisaran spektrum spesies serangga, serta metode produksinya (Van Lenteren dan Tommasini 2003). Kemajuan di bidang teknologi produksi massal, pengawasan mutu, penyimpanan, pengkapalan, dan teknik pelepasan telah menurunkan biaya produksi secara signifikan sehingga komersialisasi musuh alami bukan lagi hal yang sulit. Bahkan dengan makin banyaknya inovasi yang terkait dengan sistem penyimpanan jangka panjang, antara lain memanfaatkan fenomena diapause pada

Tabel 1. Musuh alami *Paracoccus marginatus* berdasarkan hasil survei di beberapa lokasi di Jawa Barat.

Ordo	Famili	Spesies	Peranan
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysopa</i> sp.	Predator
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Scymnus</i> sp.,	Predator
		<i>Curinus</i> sp.,	
		<i>Chilocorus politus</i> , <i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	
Diptera	Syrphidae	-	Predator
Hymenoptera	Scelionidae, Eulophidae	-	Parasitoid
	Braconidae, Encyrtidae		
Entomophthorales	Neozygiteae	<i>Neozygites fumosa</i>	Cendawan

Sumber: Dadang *et al.* (2008); Sartiami *et al.* (2009b).

serangga), pengkapalan, dan teknik pelepasannya, berhasil meningkatkan kualitas musuh alami sehingga aplikasinya sebagai pengendali hama makin mudah dan murah (Van Lenteren dan Tommasini 2003).

Aplikasi Parasitoid sebagai Pengendali Hama di Indonesia

Parasitoid yang telah banyak dipelajari maupun dimanfaatkan sebagai pengendali hama di Indonesia didominasi oleh parasitoid dari famili Trichogrammatidae, yaitu genus *Trichogramma* dan *Trichogrammatoidea* (Herlinda 1995; Marwoto *et al.* 1997; Nurindah *et al.* 1997; Marwoto dan Supriyatin 2000; Meilin *et al.* 2000; Nurindah 2000; Marwoto dan Saleh 2003; Buchori *et al.* 2010). Potensi parasitoid *Trichogramma* sebagai agens pengendali hama secara hayati telah diuji di berbagai belahan dunia dan memberikan hasil yang baik (Marwoto 2010). Spesies *Trichogramma* dan *Trichogrammatoidea* yang dipilih adalah yang tergolong parasitoid telur karena lebih efektif untuk mengendalikan beberapa jenis hama, antara lain penggerek polong kedelai, penggerek batang jagung, dan hama kubis.

Spesies *Trichogramma* maupun *Trichogrammatoidea* yang terdapat di Indonesia sangat beragam (Tabel 2). Namun, informasi maupun penelitian yang terkait dengan jenis parasitoid dari famili Trichogrammatidae yang menyerang *P. marginatus* belum ada. Dengan demikian, untuk saat ini genus *Trichogramma* maupun *Trichogrammatoidea* belum dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan *P. marginatus*.

Contoh Sukses Introduksi Parasitoid

Pengendalian hama melalui introduksi musuh alami, dalam hal ini parasitoid, bukanlah hal baru. Keberhasilan introduksi parasitoid *Pediobius foveolatus* JC Crawford dari India untuk mengendalikan kumbang kedelai Meksiko *Epilachna varivestis* Mulsant di wilayah pantai Amerika Serikat adalah salah satu contoh sukses pengendalian hayati klasik yang terintegrasi dengan PHT pada tanaman kedelai (Kogan dan Turnipseed 1987). Introduksi parasitoid musuh alami kumbang alfalfa *Hypera postica* Gyllenhal

(Flanders dan Radcliffe 1999) juga berhasil memapankan endoparasitoid larva *Bathyplectes curculionis* Thompson dan *B. anurus* Thompson (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Kingsley *et al.* 1993; Steffey *et al.* 1994), endoparasitoid imago *Microctonus aethiopoidea* Lioan (Hymenoptera: Braconidae), dan endoparasitoid larva *Oomyzus incertus* (Hymenoptera: Eulophidae) (Radcliffe dan Flanders 1998).

Department of Agriculture's Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS), Amerika Serikat telah berhasil mengidentifikasi tiga spesies parasitoid

dari kelompok endoparasitoid soliter yang memiliki efektivitas tinggi dalam mengendalikan *P. marginatus*. Parasitoid tersebut adalah *A. papayae*, *A. loecki*, dan *P. mexicana* (Hymenoptera: Encyrtidae) (Amarasekare *et al.* 2009). Parasitoid-parasitoid tersebut telah dikulturkan di laboratorium Puerto Rico dan ditawarkan secara cuma-cuma ke negara yang bermasalah serius dengan *P. marginatus*. Beberapa negara yang telah menggunakannya antara lain adalah negara-negara Karibia, Amerika Latin, Florida, Guam (Meyerdirk *et al.* 2004), dan Palau (Rich 2010).

Tabel 2. Beberapa spesies parasitoid dari famili Trichogrammatidae di Indonesia.

Spesies	Serangga inang	Tanaman inang
<i>Trichogramma japonicum</i>	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Padi
	<i>Tryporyza nivella</i>	Tebu
	<i>Chillo auricilius</i>	Tebu
	<i>S. innotata</i>	Padi
<i>T. chilonis</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	Kedelai, bawang merah
	<i>T. nivella</i>	Tebu
<i>T. australicum</i>	<i>C. auricillius</i>	Tebu
	<i>Chillo</i> spp.	Tebu/padi
	<i>H. armigera</i>	Jagung
	<i>C. suppressalis</i>	Jagung
	<i>Ostrinia furnacalis</i>	Jagung
<i>T. chilotraeae</i>	<i>C. infuscatellus</i>	Tebu
	<i>C. sacchariphagus</i>	Tebu
	<i>Etiella zinckenella</i>	Kedelai
<i>T. minutum</i>	<i>Heliothis</i> spp.	Tembakau
	<i>Agrius convolvuli</i>	Ubi jalar
<i>Trichogramma</i> sp.	<i>Pieridae</i>	Kedelai, cassia, kubis
<i>Trichogramma</i> sp.	<i>Cricula trifenestrata</i>	Jambu mete
<i>T. flandersi</i>	<i>Milionia basalis</i>	Pinus
<i>Trichogrammatoidea bactrae-bactrae</i>	<i>Plutella xylostella</i>	Kubis
	<i>Etiella</i> sp.	Kedelai
<i>T'toidea bactrae</i>	<i>C. sacchariphagus</i>	Tebu
<i>T'toidea thoseae</i>	<i>Straminellus</i>	>
	<i>Setora nitens</i>	Kelapa sawit
	<i>Setothoseae asigna</i>	Kelapa sawit
	<i>Darna trima</i>	Kelapa sawit
	<i>H. armigera</i>	Kapas
<i>T'toidea armigera</i>	<i>E. zinckenella</i>	Kedelai
	<i>P. xylostella</i>	Kubis
	<i>Crociodolomia binotalis</i>	Kubis, bunga kol
	<i>S. incertulas</i>	Tebu
	<i>H. armigera</i>	Jagung
<i>T'toidea guamensis</i>	<i>C. sacchariphagus</i>	Tebu
	<i>Straminellus</i>	-
<i>T'toidea nana</i>	<i>C. infuscatellus</i>	Tebu
	<i>Tetramoera schistaceana</i>	Tebu
	<i>P. xylostella</i>	Kubis, bunga kol, salada
	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Padi
<i>T'toidea cojuangcoi</i>	<i>Diptera</i>	Bunga kol

Sumber: Meilin *et al.* (2000); Buchori *et al.* (2010).

Introduksi Parasitoid

Introduksi berarti membawa masuk/memperkenalkan sesuatu yang baru ke suatu tempat/lokasi/daerah tertentu. Introduksi parasitoid merupakan salah satu tahapan pengendalian hayati, yaitu melepas musuh alami eksotis ke dalam lingkungan baru sehingga nantinya secara permanen dapat mapan dan mampu mengendalikan populasi hama dalam jangka panjang tanpa intervensi lebih lanjut. Tujuan dasarnya adalah mengembalikan keseimbangan alami yang terganggu akibat masuknya spesies hama eksotis dengan cara menghadirkan musuh alaminya. Introduksi umumnya diikuti oleh konservasi musuh alami, yaitu menciptakan kondisi yang memungkinkan agens hayati untuk tetap tinggal dan hidup pada area target. Idealnya, terdapat area yang khusus disediakan untuk melindungi musuh alami agar tetap bertahan hidup, terutama di luar musimnya (Manley *et al.* 2001). Praktek bercocok tanam dan pemakaian pestisida yang selektif dapat dimanipulasi sedemikian rupa sehingga mendukung upaya konservasi agens hayati introduksi maupun lingkungan (Manley *et al.* 2001)

Dalam pengendalian hayati, musuh alami yang efektif memiliki ciri-ciri sebagai berikut: mampu mendeteksi populasi hama pada kepadatan yang rendah, memiliki pertumbuhan populasi lebih cepat dibanding hama, menunjukkan laju penekanan populasi hama per kapita cukup tinggi, memiliki fenologi yang sinkron dengan hama target, persisten pada kepadatan populasi hama yang rendah, musim tanam maupun rotasi tanaman, toleran terhadap berbagai aktivitas pengelolaan tanaman, serta mudah diadopsi petani dan diperbanyak secara massal (Manley *et al.* 2001).

KARAKTER PENTING PARASITOID INTRODUKSI

Keberhasilan introduksi parasitoid sebagai musuh alami sangat ditentukan oleh kemampuannya beradaptasi terhadap iklim, tanaman inang, serangan musuh alami lokal, dan menemukan inang alternatif di lokasi yang baru (Van Driesche *et al.* 2008). Selain itu, juga ditentukan oleh teknik pelepasan yang tepat, yang meliputi jumlah parasitoid yang dilepas, media, praadaptasi parasitoid introduksi terhadap hama target sebelum pelepasan,

perlindungan pada saat distribusi, dan waktu pelepasan (Van Driesche *et al.* 2008; Marwoto 2010). Berikut ini diuraikan keterkaitan karakter tersebut dengan keberhasilan introduksi parasitoid.

Kemampuan Beradaptasi terhadap Iklim

Kemampuan musuh alami untuk 'mapan' (*establish*) di lapangan merupakan titik kritis dalam pengendalian dengan memanfaatkan musuh alami. Ketidaksiuaian lingkungan biologis musuh alami introduksi dengan lokasi baru dapat menyebabkan kegagalan dalam 'memapankan' agens hayati tersebut di lapangan (Van Driesche *et al.* 2008). Faktor utama yang menjadi pembatas distribusi musuh alami, selain keberadaan hama inang adalah iklim (BIREA 2010). Artinya, introduksi musuh alami akan lebih berhasil bila musuh alami tersebut berasal dari negara yang memiliki iklim/cuaca yang sama dengan negara penerima. Selain berpengaruh secara langsung terhadap parasitoid, iklim juga memengaruhi hama target yang menjadi 'habitat parasitoid' serta tanaman inang sebagai media hidup hama.

Keberhasilan parasitoid introduksi untuk bertahan di lokasi baru sangat ditentukan oleh kemampuannya merespons faktor-faktor fisik yang ekstrem, antara lain iklim maupun cuaca panas, dingin, kelembapan, dan kekeringan (Van Driesche *et al.* 2008). Serangga merupakan organisme poikilotermik yang kelangsungan hidup maupun eksistensinya sangat bergantung pada suhu lingkungan. Tidak terdapat agens pengendali hayati yang secara permanen mampu mengkolonisasi habitat dengan suhu di luar kisaran suhunya (BIREA 2010). Demikian pula distribusi populasinya dibatasi oleh letak geografis (elevasi). Prediksi secara akurat distribusi musuh alami tanpa informasi yang memadai mengenai iklim yang sesuai bagi agens hayati maupun hama inang nontarget yang potensial, sulit dilakukan.

Agens introduksi yang mampu mentoleransi kondisi fisik iklim di lingkungan baru belum tentu berhasil apabila iklim setempat tidak sejalan dengan stadia kritis hama inangnya, atau jika kondisi iklim setempat tidak cukup menstimulasi agens tersebut untuk memasuki masa istirahat atau hibernasi (diapause) secara tepat. Di Kolumbia dan Kanada, parasitoid *Cotesia rubecula* Marshall memasuki masa

istirahat jika panjang hari berkisar antara 15–16 jam, yang biasanya terjadi pada akhir Agustus. Ketika strain ini dibawa ke Missouri, Amerika Serikat yang terletak pada 12°LS, sensitivitas terhadap panjang hari di wilayah tersebut menyebabkan parasitoid beristirahat pada awal September, yang suhu rata-ratanya lebih dari 15°C. Padahal kemampuan hidup parasitoid menjadi rendah jika parasitoid yang sedang beristirahat terekspos oleh kisaran suhu tersebut. Akibatnya, introduksi *C. rubecula* di Missouri gagal (Van Driesche *et al.* 2008).

Meksiko terletak pada ketinggian 2.309 m dpl, dengan suhu rata-rata 10°C, rentang kisaran suhu 5°C, suhu terpanas 27°C (biasanya terjadi pada April), dan suhu terendah 5°C (terjadi pada Januari dan Desember). Musim terkering terjadi pada Februari, yakni hanya terdapat 3 hari hujan dalam bulan tersebut dengan curah hujan 4 mm. Musim terbasah terjadi pada Juli dengan 22 hari hujan dan curah hujan rata-rata 160 mm. Kelembapan relatif tahunan 59,30% (Anonymous 2010b).

Apabila dibandingkan dengan Meksiko, secara umum iklim di Indonesia cukup berbeda. Indonesia merupakan negara tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan (basah) dan musim kemarau (kering). Dengan kondisi wilayah 81% tertutup perairan, suhu daratan Indonesia umumnya tidak tetap, variasi suhu relatif kecil dari satu musim ke musim berikutnya. Daerah pantai memiliki suhu rata-rata 28°C, dataran rendah 26°C, dan dataran tinggi 23°C. Kelembapan relatif berkisar antara 70–90% (Anonymous 2010a).

Perbedaan iklim tersebut menjadi masalah tersendiri dalam introduksi parasitoid asal Meksiko ke Indonesia dalam rangka pengendalian hama kutu putih pepaya. Mengingat suhu rata-rata Meksiko lebih rendah dibanding Indonesia, ada dua alternatif untuk mengantisipasi hal tersebut. Alternatif pertama, mencari strain parasitoid di Meksiko atau negara lain yang memiliki iklim mirip dengan Indonesia sebagai kandidat parasitoid yang akan diintroduksi. Dengan demikian diperlukan informasi sebanyak mungkin parasitoid yang efektif mengendalikan hama kutu putih. Alternatif kedua, melakukan adaptasi kandidat parasitoid asal Meksiko yang akan diintroduksi sebelum dilepas secara massal dengan memeliharanya di suatu daerah di Indonesia yang memiliki suhu sama dengan Meksiko, misalnya di dataran tinggi. Melalui adaptasi ini akan

diperoleh strain parasitoid baru yang lebih adaptif terhadap iklim Indonesia.

Solusi lain untuk mengatasi perbedaan iklim dalam introduksi musuh alami adalah menggunakan *climate-matching*. Teknik ini telah digunakan secara luas untuk memprediksi potensi distribusi berbagai jenis tanaman maupun serangga introduksi pada kondisi iklim aktual maupun di masa mendatang (Van Driesche *et al.* 2008). *Software* Climex, misalnya, secara empiris dapat mencocokkan ekoiklim setempat dengan spesies asli untuk memprediksi kisaran spesies introduksi yang sesuai dengan iklim tersebut (Sutherst 2004).

Strategi lainnya dapat dipelajari dari Amerika Serikat. Untuk meningkatkan peluang keberhasilan memapankan parasitoid introduksi di kawasan beriklim marginal, sebuah proyek dibangun di daerah gurun sebelah barat daya negara tersebut dengan menerapkan tiga strategi dalam mengintroduksi parasitoid untuk mengendalikan *Bemisia tabaci* biotipe B (Roltsch *et al.* 2008). Daerah tersebut kondisi iklimnya sangat buruk dan keberadaan tanaman inang juga terbatas, namun mobilitas hama sangat tinggi. Tiga strategi yang dilakukan yaitu: 1) melepas secara berkala parasitoid eksotis dalam jumlah besar setiap musim tanam, 2) membuat area pengungsi (*refugee*) untuk *B. tabaci* ketika populasi inang rendah, untuk jangka pendek (sementara) maupun permanen, dengan menanam berbagai jenis tanaman tahunan, 3) memelihara parasitoid yang dilepas pada vegetasi yang ditanam di kebun maupun pekarangan rumah di perkotaan. Dengan menerapkan strategi tersebut, dalam selang waktu 3 tahun (1997–2000), dua jenis spesies parasitoid yang diintroduksi, *Eretmocerus emiratus* dan *Eret.* sp. nr. *emiratus*, berhasil mengendalikan *Bemisia* dengan tingkat parasitisasi lebih dari 50%. Begitu pula, *Encarsia sophia* asal Pakistan berhasil mapan sejak dilepas pada tahun 1997 (Roltsch *et al.* 2008). Strategi ini dapat ditiru untuk memperbesar peluang keberhasilan introduksi parasitoid *A. papayae* dan *A. loecki* di Indonesia.

Kemampuan Menemukan Inang (Hama Target)

Kemampuan menemukan inang merupakan karakter penting yang harus dimiliki

parasitoid. Parasitoid umumnya memiliki kemampuan mengeksploitasi senyawa kimia tertentu yang dikeluarkan tanaman sehingga dapat menemukan inangnya secara akurat (Henneman 2008). Parasitoid juga memiliki kemampuan mempelajari 'bau' tertentu yang dapat meningkatkan aktivitas pencarian inang (*foraging activity*). Pada *Trichogramma* spp., parasitoid telur *Etiella zinckenella*, agar efektif mengendalikan hama tersebut, pelepasan parasitoid dilakukan setelah ditemukan telur inang (hama) atau populasi telur inang (hama) tinggi, yaitu pada saat tanaman berumur 45 hari dan diulang tiga kali dengan interval 7 hari (Marwoto *et al.* 1997; Marwoto 2001).

Beberapa jenis tanaman diketahui mengeluarkan senyawa kimia tertentu saat terluka akibat aktivitas makan suatu hama. Hal ini menimbulkan adanya sugesti bahwa penurunan aktivitas makan hama akan menguntungkan tanaman. Tanaman memproduksi senyawa bau tertentu yang dapat dengan mudah dieksploitasi musuh alami hama, atau dengan kata lain, tanaman yang terserang hama akan 'memanggil' parasitoid untuk datang dan menyerang hama inangnya (Henneman 2008).

Parasitoid akan lebih responsif dan akurat dalam menemukan inangnya jika inang tersebut berasosiasi dengan bau yang telah dikenal oleh parasitoid sebelum inang tersebut datang. Parasitoid juga memiliki orientasi dan preferensi terhadap warna tertentu serta pola kerusakan/gejala tanaman yang berasosiasi dengan hama inangnya (Henneman 2008).

Kemampuan Beradaptasi pada Tanaman Inang Lain

Parasitoid yang efektif menyerang hama spesies tanaman tertentu, belum tentu efektif jika digunakan untuk memarasit spesies hama yang sama pada tanaman inang yang berbeda. Sebagai faktor biotik, karakteristik tanaman yang berbeda dalam hal komposisi kimia, tekstur daun, tingkat kematangan, dan arsitektur dapat memengaruhi kemampuan parasitoid untuk menyerang hama (Van Driesche *et al.* 2008).

Kemampuan beradaptasi yang tinggi terhadap tanaman inang akan meningkatkan efektivitas parasitoid, apalagi bila hama yang dikendalikan bersifat polifag atau memiliki kisaran tanaman inang yang luas. Kemampuan *Sitona discoideus* untuk mapan dan bereproduksi pada

tanaman inang selain Lucerne (tanaman inang utama) di Kepulauan Norfolk, diikuti oleh kemampuan *Microctonus aethiopoidea* (parasitoidnya) untuk bertahan dan berkembang pada hama tersebut pada pengujian di laboratorium, di mana *S. discoideus* dipelihara dengan pakan tanaman sejenis legum, famili fabaceae (Barratt *et al.* 2005). Hal ini mengindikasikan bahwa *M. aethiopoidea* memiliki adaptasi yang tinggi terhadap tanaman inang hamanya.

P. marginatus dikenal sangat polifag dengan lebih dari 60 jenis tanaman inang. Tiga kandidat parasitoid yang akan diintroduksi ke Indonesia (*A. papayae*, *A. loecki*, dan *P. mexicana*), perlu terlebih dahulu dikaji kemampuannya untuk bertahan hidup dan bereproduksi pada hama yang dipelihara pada berbagai jenis tanaman inang. Introduksi parasitoid di Republik Palau menggunakan tanaman *Plumeria* sp. (famili Apocynae) sebagai inang bagi *P. marginatus* untuk memantau kepadatan populasi hama tersebut serta parasitoidnya (Rich 2010). Tanaman pepaya dianggap terlalu rapuh dan mudah mati akibat infestasi berat *P. marginatus* sehingga tidak dipilih sebagai media perbanyakan. Sementara *Plumeria* sp. memiliki karakter fisik yang lebih kuat dan cukup tahan terhadap hama ini. Dari hasil penelitian, parasitoid yang diintroduksi melalui media *Plumeria* spp. sebagai inang *P. marginatus*, berhasil memapankan *A. papayae* dan *A. loecki* di negara tersebut. Ini juga mengindikasikan kedua spesies parasitoid tersebut cukup adaptif terhadap tanaman inang selain pepaya.

Demikian pula introduksi parasitoid di Republik Guam. Media tanaman inang yang digunakan adalah *Plumeria* spp. dan *Hibiscus* spp. dan parasitoid *A. papayae* dan *A. loecki* efektif menemukan populasi kutu putih. Dengan demikian kedua spesies parasitoid tersebut cukup prospektif untuk diintroduksi dengan media inang selain pepaya, meskipun di Indonesia, *P. marginatus* lebih menyukai tanaman pepaya. Namun demikian, hal ini adalah positif karena dari segi vegetasi tidak terdapat kendala bagi introduksi parasitoid hama tersebut.

Kemampuan Bertahan Hidup terhadap Musuh Alami Lokal

Salah satu risiko introduksi parasitoid di lokasi baru adalah serangan dari organis-

me/musuh alami lokal (Van Driesche *et al.* 2008), baik berupa hiperparasitoid, predator (khususnya terhadap imago parasitoid), maupun mikroba entomopatogen (virus, bakteri atau fungi). Serangan oleh musuh alami lokal berpengaruh terhadap keberhasilan introduksi parasitoid di lapangan. Kokon *C. rubecula*, parasitoid dari famili Braconidae untuk mengendalikan ulat kubis *Pieris rapae* (L.) di Virginia (AS) diserang sejenis hiperparasitoid ketika dilepas di lapangan sehingga introduksi parasitoid tersebut secara permanen mengalami kegagalan (McDonald dan Kok 1992).

Dalam tataran parasitisasi, parasitoid dikelompokkan menjadi parasitoid primer, parasitoid sekunder, dan hiperparasitoid. Parasitoid primer adalah parasitoid yang tidak menyerang parasitoid lain, sedangkan hiperparasitoid adalah parasitoid yang hidup berkembang pada parasitoid lain. Hiperparasitoid dapat bersifat obligat atau fakultatif. Umumnya hiperparasitoid menyerang parasitoid primer, dan hiperparasitoid tersebut disebut parasitoid sekunder. Hiperparasitoid tersier atau kuartar dapat terjadi secara fakultatif (Capinera 2008). Kegagalan *P. mexicana* untuk tetap ada di Miami-Florida (Amara-sekare *et al.* 2009) kemungkinan disebabkan serangan hiperparasit lokal.

Terkait dengan introduksi parasitoid untuk mengendalikan *P. marginatus* pada pepaya di Indonesia, belum terdapat studi yang melaporkan adanya spesies hiperparasitoid lokal yang menyerang *A. papayae*, *A. loecki* maupun *P. mexicana*. Namun, introduksi parasitoid di Palau mendapat serangan hiperparasitoid dengan tingkat parasitisasi rendah, yaitu dari spesies *Eunotus* sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) 0,40% dan *Procheiloneurus dactylopii* (Hymenoptera: Encyrtidae) 0,80% (Rich 2010). *A. papayae* dan *A. loecki* yang dapat bertahan hidup dan 'mapan' di lokasi introduksi disebabkan oleh dua kemungkinan. Pertama, kemampuan bertahan hidup kedua jenis parasitoid tersebut terhadap musuh alami lokal cukup tinggi, atau tingkat parasitisasi yang rendah sehingga agens hayati tersebut dapat melepaskan diri dari serangan.

Kemampuan Bertahan Hidup pada Inang Alternatif

Keberhasilan introduksi parasitoid juga ditentukan oleh kemampuannya meng-

kolonisasi inang alternatif jika pada lingkungan introduksi tidak ditemukan inang target (inang primer), atau secara fisik tidak memenuhi komponen biologis bagi kelangsungan hidup parasitoid. Pada parasitoid telur walang sangit, augmentasi (penambahan populasi musuh alami ke lapangan) terhadap *Ooencyrtus malayensis* dapat dilakukan karena telah ditemukan inang alternatif yaitu telur *Riptortus linearis* L. (Kartusuwondo 2001).

Adanya inang alternatif juga akan mempermudah produksi parasitoid di laboratorium. Produksi *O. malayensis* dengan inang alternatif *R. linearis* cukup ekonomis, yakni dengan membiakkan induknya di laboratorium menggunakan kacang panjang sebagai pakan (Kartusuwondo 2001). Umumnya, parasitoid spesifik untuk inang tertentu. Oleh karena itu, ketahanan hidup parasitoid pada inang alternatif perlu diteliti. Ketahanan hidup agens hayati di lapangan pada inang sekunder sedapat mungkin tidak mengeksploitasi serangga nontarget sebagai inang sekunder saat parasitoid tidak mampu menemukan inang primer.

PERSYARATAN PELEPASAN AGENS INTRODUKSI

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelepasan agens hayati yaitu parasitoid dalam kondisi sehat, bebas dari infeksi patogen, cukup mendapat pakan, telah kawin (untuk imago) serta mewakili karakteristik genetik yang luas dari populasi aslinya (Van Driesche *et al.* 2008). Pemeliharaan/perbanyakan parasitoid dilakukan pada stadium hama target yang disukai parasitoid untuk menghindari dihasilkannya keturunan yang kerdil serta memiliki fekunditas dan lama hidup yang rendah. Sebelum pelepasan, perlu pula diketahui sensitivitas musuh alami terhadap hama target. Penurunan kualitas genetik (erosi genetik) dapat terjadi pada agens yang dikultur terlalu lama, sampai beberapa generasi. Hal tersebut biasanya terdeteksi pada uji sensitivitas terhadap hama target (Center *et al.* 2006).

Untuk mempertahankan keragaman genetik musuh alami, pelepasan sebaiknya dilakukan dalam area yang cukup luas dan sedapat mungkin menyerupai kondisi lingkungan aslinya sehingga agens hayati dapat menyebar, menemukan pasangan dan inangnya (Hopper dan Roush 1993).

Seleksi genetik dapat dilakukan kembali setelah parasitoid mapan, untuk memperoleh populasi baru sebagai dasar dalam pengembangan parasitoid berikutnya. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam pelepasan parasitoid diuraikan berikut ini.

Jumlah dan Frekuensi Pelepasan

Jumlah parasitoid yang efektif untuk mengendalikan hama berbeda untuk setiap spesies parasitoid dan hama yang dikendalikan (Marwoto 2010). Berdasarkan hasil penelitian, jumlah parasitoid telur *T. bactrae-bactrae* yang efektif mengendalikan hama penggerek polong kedelai *Etiella* spp. adalah 250.000 ekor/ha/aplikasi, tiga kali aplikasi dengan interval satu minggu (Marwoto 2001; 2010).

Menurut Pabbage dan Tandiabang (2007), agar efisien, sebelum pelepasan parasitoid *T. evanescens* di lapangan untuk mengendalikan penggerek batang jagung (*Ostrinia furnacalis*), perlu dilakukan pendugaan populasi telur penggerek batang jagung melalui pengamatan sehingga jumlah parasitoid yang dilepas tidak berlebihan. Jumlah parasitoid yang dilepas juga perlu memperhitungkan luas lokasi serta spesifikasi agens hayati itu sendiri. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian awal untuk mengetahui jumlah minimal parasitoid yang efektif mengendalikan hama. Van Driesche *et al.* (2008) memberi patokan, bila tidak ada informasi mengenai jumlah parasitoid yang perlu dilepas dapat digunakan jumlah sekitar ratusan ekor per 100 m².

Media Pelepasan

Media diperlukan untuk meningkatkan keberhasilan introduksi parasitoid di lapangan. Pelepasan parasitoid ditentukan oleh tipe parasitoid, antara lain sebagai parasitoid telur, parasitoid larva atau parasitoid imago. Pelepasan parasitoid hasil pemeliharaan di laboratorium, akan lebih baik jika dilakukan dengan menyertakan hama yang telah terparasitisasi, misalnya berupa larva, telur atau imago.

Mengoleksi hama terparasit parasitoid di lapangan untuk kemudian didistribusikan di lokasi lain yang mengalami permasalahan hama yang sama juga dapat dilakukan. Selain itu, parasitoid juga dapat

dilepas dalam bentuk koloni pada tanaman inang yang terdapat hama yang terparasit. Pelepasan parasitoid tipe ini memiliki keuntungan, yaitu parasitoid dapat muncul kapan saja sehingga sumber inokulasi tersedia secara kontinu di lingkungan tersebut. Parasitoid yang dilepas dapat ditempatkan dalam suatu wadah berupa kotak kardus kecil atau botol plastik bekas yang diberi lubang untuk keluar masuk parasitoid.

Adaptasi Agens Introduksi Sebelum Pelepasan

Adaptasi serangga pada lingkungannya akan meningkatkan respons serangga terhadap lingkungan. Demikian pula pada parasitoid, dengan memberikan kesempatan untuk mengenal hama target sebelum dilepas akan meningkatkan keberhasilan parasitoid untuk memarasit hama inangnya di lokasi baru. Untuk parasitoid yang diperbanyak dengan media inang alternatif (bukan hama target), pengadaptasian terhadap hama target dapat dilakukan sebelum pelepasan dalam skala laboratorium (Van Driesche *et al.* 2008).

Beberapa spesies parasitoid memiliki strategi tertentu dalam mengeksploitasi hama yang menjadi inangnya, seperti *O. nezarae* Ishii, spesies parasitoid telur kumbang kedelai. Menurut Takasu *et al.* (2004), parasitoid ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengkolonisasi *Riptortus clavatus* pada pertanaman kedelai. Dengan karakter demikian, adaptasi dengan hama inangnya akan relatif lebih mudah dan cepat, serta persentase keberhasilan parasitasasinya juga akan lebih tinggi.

Kondisi Lingkungan untuk Pelepasan

Selama transportasi menuju lokasi pelepasan, musuh alami ditempatkan dalam wadah yang terlindung dari panas matahari, tersedia air dan makanan yang cukup serta kondisi cuaca mendukung. Pelepasan parasitoid sedapat mungkin dilakukan pada pagi atau sore hari untuk menghindari suhu yang ekstrem. Menurut Marwoto (2010), pelepasan parasitoid *Trichogramma* spp. yang efektif adalah pada pagi hari saat cuaca cerah, dengan suhu 25–30°C. Pelepasan parasitoid pada saat cuaca buruk (turun hujan atau badai) perlu dihindari.

Manajemen Lokasi Setelah Pelepasan

Introduksi parasitoid di suatu lokasi memerlukan pengaturan yang tepat untuk meminimalkan gangguan. Misalnya, lokasi bebas dari aplikasi pestisida, atau membatasi akses masyarakat umum ke lokasi untuk meminimalkan gangguan ataupun kerusakan, seperti kebakaran.

DAMPAK TERHADAP ORGANISME NONTARGET

Introduksi musuh alami eksotis maupun pelepasannya secara massal berpotensi menimbulkan efek negatif terhadap organisme nontarget. Kemungkinan terjadi atau tidaknya dampak negatif tersebut ditentukan oleh kisaran inang musuh alami serta keberadaan spesies yang termasuk kisaran inang musuh alami tetapi bukan menjadi target musuh alami tersebut.

Salah satu kelebihan pengendalian hayati dibanding pengendalian lainnya adalah sangat mengutamakan keamanan. Dalam program pengendalian hayati, pertimbangan utamanya adalah menggunakan agens yang tidak menyerang organisme nontarget. Sebagai agens hayati, parasitoid memiliki kespesifikan lebih tinggi dibanding predator. Meskipun demikian, sebagai langkah antisipasi, sebelum maupun sesudah pelepasan parasitoid, perlu dilakukan evaluasi untuk mengukur pengaruh yang ditimbulkan musuh alami tersebut.

Metode untuk memprediksi dampak negatif pelepasan musuh alami terhadap organisme nontarget antara lain adalah melalui evaluasi faktor-faktor yang terkait dalam penetapan kisaran inang, baik berdasarkan informasi dari literatur, museum, observasi lapangan di area asal maupun observasi faktor fisiologi, perilaku, dan ekologi (Bigler *et al.* 2006). Mc Clay dan Balciunas (2005) menyarankan untuk melakukan pengujian efikasi pralepas (*pre-release efficacy assessment*, PREA) dalam proses seleksi agens hayati. Meskipun diadopsi dari teknik pengendalian gulma, PREA memiliki prinsip yang sama dan dapat diterapkan dalam pengendalian serangga hama. Dampak suatu agens hayati dapat ditetapkan berdasarkan formula sebagai berikut:

$Impact = range \times abundance \times percapita\ impact$ (Mc Clay dan Balciunas 2005).

Range merupakan hasil estimasi dari beberapa faktor, seperti batas iklim, ketahanan hidup dan penyebaran, kisaran geografis, masa istirahat dan kebutuhan untuk aestivasi, serta kesesuaian iklim. *Abundance* (kelimpahan populasi) ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain voltinisme, fekunditas, kesesuaian inang, dan kemampuan hidup. Efek per kapita dapat diestimasi dari studi kisaran lapang di daerah asal, manipulasi penelitian, dan kurva kerusakan akibat suatu agens hayati. Pengendalian hayati hama kutu putih pepaya dengan parasitoid yang dilakukan di luar negeri belum menemukan adanya efek negatif dari penerapan pengendalian tersebut.

PROSPEK INTRODUKSI DI INDONESIA

Berdasarkan faktor iklim, sifat agens hayati yang diintroduksi, dan dampak terhadap organisme nontarget, introduksi parasitoid berpeluang dilakukan di Indonesia (Tabel 3). Belajar dari keberhasilan negara-negara lain, kerja sama dapat dilakukan untuk merealisasikan upaya pengendalian dengan agens hayati introduksi. Satu pilar penting yang mendukung introduksi adalah sinergisme pengendalian hayati dengan PHT agar keberlanjutannya dapat dipertahankan.

Salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan adalah biaya untuk mendapat agens hayati introduksi. Menurut informasi, Meksiko menawarkan parasitoid untuk musuh alami *P. marginatus* secara cuma-cuma. Perlu pula dilakukan analisis biaya perbanyakannya di laboratorium, serta studi yang terkait dengan introduksi tersebut. Jika dilihat dari segi keberlanjutan, pengendalian menggunakan musuh alami (parasitoid) cukup murah karena efeknya terhadap populasi hama akan berlanjut tanpa batas waktu, kecuali bila terjadi bencana alam atau kerusakan lingkungan yang fatal. Biaya hanya diperlukan pada inisiasi awal, yaitu untuk kegiatan koleksi, impor musuh alami, dan perbanyakannya. Ketika musuh alami telah mapan, biaya pemeliharaan relatif tidak diperlukan karena musuh alami dapat berkembang sendiri.

Kelemahan pemanfaatan parasitoid sebagai pengendali hama menurut Marwoto (2010) adalah: 1) kemampuan mencari inang dipengaruhi oleh cuaca dan faktor lain, 2) hanya parasitoid betina yang aktif

Tabel 3. Prospek introduksi parasitoid ditinjau dari aspek iklim, cekaman biotik, karakter agens, dampak terhadap organisme nontarget, dan biaya.

Aspek yang menjadi pertimbangan dalam introduksi parasitoid	Solusi
Iklim/cekaman abiotik	Iklim merupakan faktor pembatas utama yang dapat diatasi dengan mengadaptasikan parasitoid introduksi selama beberapa waktu
Cekaman biotik Tekanan dari musuh alami lokal (jika ada) Ketersediaan inang (hama target) Keberadaan tanaman inang	Relatif tidak terdapat kendala bagi parasitoid <i>Paracoccus marginatus</i>
Karakteristik parasitoid Daya mencari inang Daya adaptasi dengan inang alternatif Daya adaptasi dengan tanaman inang alternatif Daya tahan terhadap musuh alami lokal	Studi karakter parasitoid untuk seleksi kandidat melalui studi literatur dan penelitian aspek biologi secara komprehensif; jika parasitoid diperoleh melalui impor maka akan mempersingkat tahapan ini
Dampak terhadap organisme nontarget	Parasitoid sebagai musuh alami memiliki tingkat keamanan cukup tinggi karena umumnya spesifik untuk hama/inang tertentu
Biaya	Relatif murah, efek pengendalian bersifat jangka panjang (Hoffman dan Frodsham 1993). Biaya diperlukan saat inisiasi, penelitian, survei/koleksi, perbanyakan massal, transportasi, dan untuk bea impor

mencari inang, dan 3) parasitoid yang mempunyai daya cari tinggi memiliki jumlah telur sedikit. Menurut Hoffmann dan Frodsham (1993), kelemahan pengendalian dengan musuh alami adalah sulitnya mengukur efektivitas, bahkan ada yang tidak bekerja sama sekali. Selain itu, biasanya hanya efektif terhadap hama eksotis dan tidak efektif terhadap hama lokal. Untuk mengantisipasi hal tersebut, perlu dilakukan seleksi terhadap parasitoid yang akan digunakan sehingga perlu dipilih parasitoid yang benar-benar telah teruji efektivitasnya di lapangan.

Terkait dengan rencana introduksi parasitoid untuk mengendalikan hama kutu putih pepaya, langkah konkret yang perlu segera dilakukan (jika memungkinkan dalam 2–3 tahun) adalah melakukan studi pendahuluan (identifikasi dan studi literatur), menyusun proposal, melaksanakan survei dan eksplorasi, penelitian aspek biologi dan seleksi kandidat parasitoid, karantina dan seleksi sebelum pelepasan, memfasilitasi infrastruktur dan sumber daya manusia untuk produksi parasitoid secara massal, pelepasan

parasitoid dengan berbagai strategi (inokulasi, inundasi atau augmentasi), evaluasi terhadap efektivitas parasitoid (persentase parasitisasi) dan dampak terhadap ekosistem setelah pelepasan, serta mendokumentasi seluruh kegiatan pengendalian (Coupland dan Baker 2007).

KESIMPULAN

P. marginatus atau kutu putih merupakan hama penting pada tanaman pepaya. Upaya pengendalian yang telah dilakukan terhadap hama eksotis ini belum mampu secara efektif menekan populasi hama di lapangan. Pengendalian hayati merupakan alternatif terbaik bagi pengendalian hama, antara lain dengan memanfaatkan musuh alami.

Keterbatasan pengkajian maupun penelitian terhadap musuh alami lokal Indonesia mengisyaratkan perlunya kegiatan survei dan eksplorasi musuh alami untuk pengendalian jangka panjang.

Dalam jangka pendek, pengendalian hayati melalui introduksi musuh alami seperti parasitoid dapat menjadi alternatif pemecahan masalah hama kutu putih.

Keberhasilan introduksi parasitoid sebagai musuh alami ditentukan oleh kemampuan beradaptasi terhadap iklim dan tanaman inang, menahan serangan musuh alami lokal, dan menemukan inang alternatif di lokasi introduksi. Selain itu, juga ditentukan oleh ketepatan teknik pelepasan, seperti jumlah parasitoid yang dilepas, penggunaan media untuk pelepasan, praadaptasi terhadap hama target sebelum dilepas, proteksi saat distribusi, dan pelaksanaan pelepasan.

Introduksi parasitoid untuk mengendalikan hama kutu putih pepaya cukup layak (prospektif) karena hama menyebabkan kerugian yang besar bagi petani. Selain itu, belum ada alternatif pengendalian yang efektif, serta belum terdapat musuh alami lokal yang dapat dikembangkan untuk pengendalian hayati dalam kurun waktu 5–10 tahun untuk menekan populasi hama tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Amarasekare, K.G., C.M. Mannion, and L.S. Osborne. 2008. Life history of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on

four host plant species under laboratory condition. *J. Environ. Entomol.* 37(3): 630–635.

Amarasekare, K.G., C.M. Mannion, and Nancy D. Epsky. 2009. Efficiency and establishment of three introduced parasitoids of the

- mealybugs *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae). USDA Agricultural Research Service, Lincoln, Nebraska.
- Anonymous. 2010a. Climate of Indonesia. 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Indonesia. [3 September 2010]
- Anonymous. 2010b. Climate of Mexico. 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Mexico#Climate [3 September 2010].
- Anonymous. 2002. Integrated pests management, entomology, plant pathology, and soil science. Biological control. <http://eppserver.ag.utk.edu/courses/Epp530/BioCont.html>. [7 September 2010].
- Barratt, B.I.P., R.G. Oberprieler, C.M. Ferguson, and S. Hardwick. 2005. Parasitism of the lucerne pest *Sitona discoideus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) and non-target weevils by *Microctonus aethiopoidea* Loan (Hymenoptera: Braconidae) in south-eastern Australia, with an assessment of the taxonomic affinities of non-target hosts of *M. aethiopoidea* recorded from Australia and New Zealand. *Aust. J. Entomol.* 44: 192–200.
- Bigler, F., D. Babendreire, and U. Kuhlmann. 2006. Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods. CABI Publ., Wellington. 316 pp.
- BIREA (Biocontrol Information Resource for Erma New Zealand Applicant). 2010. Selecting biological control agent. BIREA. http://www.b3nz.org/birea/index.php?page=selecting_success_definition. [7 September 2010].
- Buchori, D., A. Meilin, P. Hidayat, and B. Sahari. 2010. Species distribution of *Trichogramma* and *Trichogrammatoidea* genus (Trichogrammatoidea: Hymenoptera) in Java. *J. ISSAAS* 16(1): 83–96.
- CABI. 2005. Crop Protection Compendium. CAB International, Wallingford.
- Capinera, J.L. 2008. Encyclopedia of Entomology. 2nd Ed. Springer, German. 4411 pp.
- Center, T.D., P.D. Pratt, and P.W. Tipping. 2006. Field colonization, population growth, and dispersal of *Boreioglycaspis melaleucae* Moore, a biological control agent of the invasive tree *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) Blake. *Biol. Control* 39: 363–374.
- Coupland, J. and G. Baker. 2007. Classical biological control. In C. Vincent, M.S. Goettel, and J. Lazarovits (Eds). *Biological Control, A Global Perspective*. CAB International, Wallingford.
- Dadang, D. Sartiami, R. Anwar, dan I.S. Harahap. 2008. Kajian teknis permasalahan hama baru *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) pada tanaman pepaya di Jawa Barat. Laporan Akhir. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Deffan, P. 2010. Invasi kutu dari Meksiko. *Koran Tempo*. http://www.google.co.id/search?hl=id&source=hp&q=paracoccus+in+indonesia&meta=&aq=o&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai. [19 Agustus 2010].
- Ditjen Hortikultura. 2008. Waspada Serangan Kutu Putih pada Pepaya. Direktorat Jenderal Hortikultura, Jakarta. http://www.hortikultura.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id=200&Itemid=138. [30 Agustus 2010].
- Flanders, K.L. and E.B. Radcliffe. 1999. Alfalfa IPM. In E.B. Radcliffe and W.D. Hutchison (Eds.). *Radcliffe's IPM World Textbook*. University of Minnesota, St. Paul, MN. <http://ipmworld.umn.edu>.
- Friamsa, N. 2009. Biologi dan Statistik Demografi Kutu Putih Pepaya *Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae) pada Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.). Skripsi Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. 56 hlm.
- Greathead, D.J. 1986. Parasitoids in classical biological control. In J. Waage and D. Greathead (Eds.). *Insect Parasitoids*. Academic Press, Orlando, FL. p. 289–318.
- Henneman, M.L. 2008. Host Location in Parasitic Wasps. p. 1926. In Capinera (Ed). *Encyclopedia of Entomology*. 2nd Ed. Springer, Germany. 4411 pp.
- Herlinda, S. 1995. Kajian *Trichogrammatoidea bactrae-bactrae* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae), Parasitoid Telur *Etiella zinckenella* Treitschke. (Lepidoptera: Pyralidae). Tesis, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Heu, R.A., M.T. Fukada, and P. Conant. 2007. Papaya Mealybug *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink (Hemiptera: Pseudococcidae). State of Hawaii New Pest Advisory Department of Agriculture. No. 04–03.
- Hoffmann, M.P. and A.C. Frodsham. 1993. Natural Enemies of Vegetable Insect Pests. Cooperative Extension, Cornell Univ., Ithaca, NY. 63 pp.
- Hopper, K.R. and R.T. Roush. 1993. Mate finding, dispersal number released, and the success of biological control introductions. *Ecol. Entomol.* 18: 321–331.
- Kartosuwondo, U. 2001. Augmentasi parasitoid telur walang sangit pada pertanaman padi. *Hayati* 8(3): 76–80.
- Kingsley, P.C., M.D. Bryan, W.H. Day, T.L. Burger, R.J. Dysart, and C.P. Schwalbe. 1993. Alfalfa weevil (Coleoptera: Curculionidae) biological control: spreading the benefits. *Environ. Entomol.* 22: 1234–1250.
- Kogan, M. and S.G. Turnipseed. 1987. Ecology and management of soybean arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 32: 507–538.
- Manley, D.G., E.C. Murdock, J. Thompson, W.R. James, D.R. King, and R.W. Miller. 2001. *Biological Control of Pest4-HIPM Project4-Hmanual 136 For Grade Levels 9–12 IPM Level F*. Clemson extension. www.clemson.edu.
- Marwoto. 2001. Potensi dan peluang parasitoid *Trichogramma* untuk menekan populasi hama pada tanaman kedelai. *Prosiding Seminar Nasional Kinerja Teknologi untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Marwoto. 2010. Prospek parasitoid *Trichogrammatoidea bactrae-bactrae* Nagaraja (Hymenoptera) sebagai agens hayati pengendali hama penggerek polong kedelai *Etiella* spp. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 3(4): 274–288.
- Marwoto, Supriyatin, dan T. Djuwarso. 1997. Prospek pengendalian hama penggerek polong kedelai (*Etiella* spp.) dengan parasitoid *Trichogrammatoidea bactrae-bactrae*. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 16(3): 71–76.
- Marwoto dan Supriyatin. 2000. Daya sebar dan efikasi parasitoid *T. bactrae-bactrae* dalam mengendalikan hama penggerek polong kedelai. *Penelitian Pertanian* 19(1): 15.
- Marwoto dan N. Saleh. 2003. Peningkatan peran parasitoid telur *Trichogrammatoidea bactrae-bactrae* dalam pengendalian penggerek polong kedelai *Etiella* spp. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 22(4): 141–149.
- McClay, A.S. and J.K. Balciunas. 2005. The role of pre-release efficacy assessment in selecting classical biological control agents for weeds-applying the Anna Karenina principle. *Biol. Control* 35: 197–207.
- McDonald, R.C. and L.T. Kok. 1992. Colonization and hyperparasitism of *Cotesia rubecula* (Hymenoptera: Braconidae), a newly introduced parasite of *Pieris rapae* in Virginia. *Entomophaga* 37: 223–228.
- Meilin, A., P. Hidayat, D. Buchori, dan U. Kartosuwondo. 2000. Parasitoid telur pada hama kubis *Plutella xylostella* (L) (Iponomeutidae). *Buletin Hama dan Penyakit Tumbuhan* 12(1): 21–26.
- Meyerdirk, D.E., R. Muniappan, R. Warkentin, J. Bamba, and G.V.P. Reddy. 2004. Biological control of the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Guam. *Plant Protect. Quarterly* 19(3): 110–114.
- Muniappan, R., D.E. Meyerdirk, F.M. Sengabau, D.D. Berringer, and G.V.P. Reddy. 2006. Classical biological control of the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in The Republic of Palau. *Florida Entomol.* 89(2): 212–217.
- Muniappan, R. 2009. Invasion of Papaya Mealybug in Asia. IPM CRSP, OIRED, Virginia Tech.
- Nurindah. 2000. Teknik perbanyakkan massal parasitoid telur Trichogrammatidae. <http://www.pspublishing/PAGES/.../4HMan136.pdf>. [20 Oktober 2010].

- shop on Development and Utilization of Parasitoids. Pusat Kajian PHTIPB. hlm. 1–16.
- Nurindah, G. Gordh, and B.W. Cribb. 1997. Oviposition behavior and reproductive performance of *Trichogramma australicum* Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared in artificial diet. *Aust. J. Entomol.* 36: 87–93.
- Pabbage, M.S. dan J. Tandiabang. 2007. Parasitasi *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) pada berbagai tingkat populasi dan generasi biakan parasitoid terhadap telur penggerek batang jagung *Ostrinia furnacalis* Guenée. *Agritrop* 26(1): 41–50.
- Radcliffe, E.B. and K.L. Flanders. 1998. Biological control of alfalfa weevil in North America. *Integr. Pest Mgmt. Rev.* (3): 225–242.
- Rich, M. 2010. IPM CRSP Success Story: Invasive papaya pest discovered by IPM CRSP in Asia.
- Roltsch, W.J., C.H. Pickett, G.S. Simmons, and Kim A. Hoelmer. 2008. Habitat management for the establishment of bemisia natural enemies. In J. Gould (Ed), *Classical Biological Control of Bemisia tabaci in the United States*. 243©Springer Science + Business Media B.V.
- Sartiami, D., Dadang, R. Anwar, dan I.S. Harahap. 2009a. Persebaran hama baru *Paracoccus marginatus* di Provinsi Jawa Barat (Abstrak). *Dalam Buku Panduan Seminar Nasional Perlindungan Tanaman*, Bogor.
- Sartiami, D., Pudjianto, dan D. Buchori. 2009b. Penguatan musuh alami lokal hama pendatang baru kutu putih pepaya (*Paracoccus marginatus*). Laporan Akhir. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Steffey, K.L., E.J. Armbrust, and D.W. Onstad, 1994. Management of insects in alfalfa. pp. 469–506. In R.L. Metcalf and W.H. Luckmann (Eds.). *Introduction to Insect Pest Management*, 3rd Ed. Wiley, New York.
- Sutherst, R.W., G.F. Maywald, W. Bottomley, and A. Bourne. 2004. CLIMEX v2 – User's Guide. Hearne Scientific Software, Melbourne.
- Takasu, K., S.I. Takano, N. Mizutani, and T. Wada. 2004. Flight orientation behavior of *Ooencyrtus nezarae* (Hymenoptera: Encyrtidae), an egg parasitoid of phytophagous bugs in soybean. *Entomol. Sci.* 7(3): 201–206.
- Van Driesche, R., T. Center, and M. Hoddle. 2008. *Control of Pests and Weeds by Natural Enemies: An introduction to biological control*. Blackwell Publishing, UK.
- Van Lenteren, J.C. and M.G. Tommasini. 2003. Mass production, storage, shipment and release of natural enemies. In J.C. Van Lenteren (Ed). *Quality Control and Production of Biological Control Agents*. CABI Publ., Wellington.
- Vincent, C., M.S. Goettel, and G. Lazarovits. 2007. *Biological Control, a global perspective*. CAB International, Wallingford. 467 pp.
- Walker, A., M. Hoy, and D.E. Meyerdirk. 2003. Papaya mealybug *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink (Insecta: Hemiptera: Pseudococcidae). Featured creatures. Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.