

ULASAN

Dampak Tanaman Transgenik Bt terhadap Populasi Serangga Pengendali Hayati

Bahagiawati

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Jalan Tentara Pelajar 3A, Bogor 16111

ABSTRACT

Effect of Bt Transgenic Plant on Biological Agent Population. Bahagiawati. An alternative technique to improve plant resistance to insect pests is plant transformation using the genetic engineering technology. Several transgenic plants resistant to insect have been produced and commercially released to environment in some industrial and developing countries. Before release, transgenic plants need to be assessed for their potential risks to human health and environment. One of the environmental risk assessments is the potential risk to non-target insects, including the biocontrol insects. Laboratories, glasshouse, and field experiments have been conducting the study of the impact of transgenic plant resistance to insect, especially transgenic Bt plants to the population of predators and parasitoids. However the results were controversial. The objective of this review is to inform some of controversial results, and to suggest serial experiments need to be done to solve the problem. The impact of the transgenic plant resistance to insects depends on several factors, such as genes that are used to transform the plants, the kind of plant pests, and the kind and stages of the insect natural enemies. Results of the experiments were influenced by sites of the experiments (laboratory, glasshouse, or field) and contact of the natural enemies to the toxin. Some experiments showed that the transgenic Bt plants have no impact to the natural enemies population, and otherwise. Due to the controversial results, the experiment and assessment should be done in depth and carefully studied. A sequential experiments need to be adopted to avoid the misleading interpretation, and the assessment need to be based on a case by case study.

Key words: Transgenic Bt plants, potential risks, impact to biocontrol insects.

PENDAHULUAN

Perakitan tanaman transgenik yang dapat mengekspresikan gen penyandi protein yang bersifat insektisidal memberikan beberapa keuntungan dalam usaha peningkatan produksi pertanian. Walaupun demikian, seperti halnya dengan pestisida, tanaman hasil perakitan dengan teknologi baru ini secara teori berpotensi mengubah ekosistem tanaman-serangga hama dan serangga pengendali hayati. Di lapang, tanaman tidak

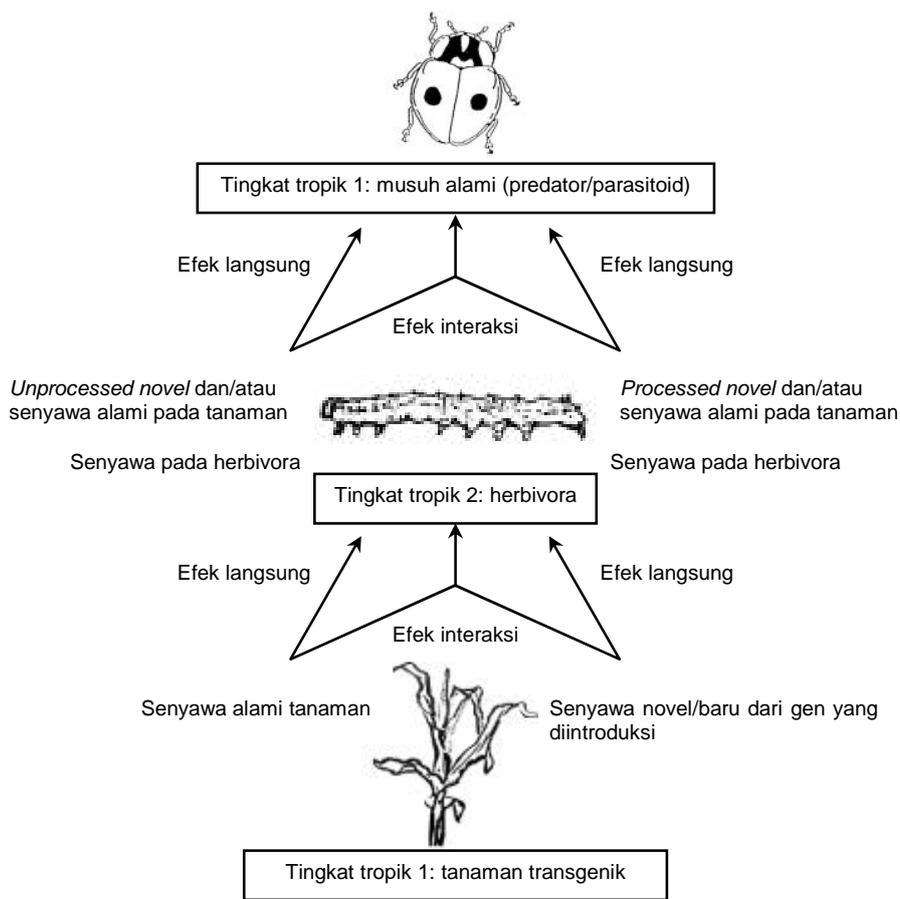
hanya mendukung populasi serangga hama, tetapi juga memberikan ruang bagi populasi serangga yang makan serangga hama tanaman tersebut. Interaksi antara tanaman, serangga hama, dan musuh alami berperan dalam mengontrol populasi hama itu sendiri yang dalam istilah ekologi dikenal dengan sistem tri-tropik. Dalam sistem ini, tanaman merupakan tingkat (level) pertama dari tropik, serangga hama merupakan tingkat kedua, dan musuh alami merupakan tingkat ketiga (Gambar 1). Pentingnya tanaman bagi perkembangan populasi predator dan parasit dan potensinya untuk mengatur keberhasilan pengendalian hayati telah lama diketahui (Schuler *et al.* 1999). Karena kekhawatiran bahwa tanaman transgenik akan merusak kestabilan populasi serangga pengendali hayati, maka produk rekayasa genetik perlu dikaji keamanannya terhadap lingkungan sebelum dilepas di alam. Di beberapa negara telah ditetapkan persyaratan untuk pengkajian pengaruh tanaman transgenik baik terhadap hama sasaran maupun serangga pengendali hayati yang hidup dan berkembang dari serangga hama sasaran.

Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk memaparkan hasil-hasil penelitian tentang dampak tanaman transgenik, khususnya tanaman yang mengandung gen *cry* dari *Bacillus thuringiensis* (Bt), terhadap beberapa serangga pengendali hayati.

TANAMAN TRANSGENIK BT

Seperti pada tanaman transgenik lainnya, maka perkembangan luas areal tanaman transgenik Bt juga mengalami peningkatan, misalnya luas areal tanaman kapas Bt di USA pada 1996 mencapai 0,73 juta ha. Jika dijumlahkan, maka luas pertanaman kapas Bt mulai tahun 1996 sampai 2003 mencapai 23,3 juta ha. Tanaman transgenik Bt ditanam di beberapa negara seperti di USA, Kanada, Argentina, Brasil, India, China, Filipina, dan beberapa negara lain termasuk Indonesia (James 2002; Saragih 2004).

Tanaman transgenik Bt merupakan tanaman transgenik pertama yang dilepas di alam untuk tujuan komersial dan menempati urutan pertama dalam daftar



Gambar 1. Kerangka efek jaringan makanan pada tanaman transgenik tahan hama.

Sumber: Hilbeck (2001).

tanaman transgenik tahan hama. Tanaman transgenik Bt merupakan hasil rekayasa genetik dengan mengintroduksi gen *cry1A* yang diisolasi dari bakteri gram positif *B. thuringiensis*. Bakteri *B. thuringiensis* adalah bakteri yang pada proses sporulasinya menghasilkan kristal protein yang bersifat toksik dan dapat membunuh serangga (insektisidal) (Hofte dan Whiteley 1989). Kristal protein Bt yang bersifat insektisidal sering disebut dengan -endotoksin. Kristal ini di alam merupakan protoksin yang jika larut dalam usus serangga karena proses proteolisis akan diubah menjadi polipeptida yang lebih pendek (27-149 kilo Dalton) serta mempunyai sifat insektisidal. Toksin aktif ini berinteraksi dengan sel-sel epitel dari usus (*midgut*) serangga. Toksin Bt mengakibatkan terbentuknya pori-pori pada membran sel saluran pencernaan, sehingga mengganggu keseimbangan osmotik sel tersebut. Sel yang terganggu tekanan osmosisnya menjadi bengkak dan pecah, sehingga serangga mati (Hofte dan Whiteley 1989).

Pengetahuan tentang mekanisme kerja endotoksin Bt penting untuk menentukan proses utama yang bertanggung jawab terhadap kespesifikan dari suatu kristal protein. Faktor utama yang menentukan kisaran inang dari kristal protein adalah perbedaan pH di *midgut* larva yang mempengaruhi proses kelarutan (*solubilization*) dan pengubahan kristal yang tidak aktif menjadi aktif, serta keberadaan lokasi penempelan (*binding-site*) yang spesifik dari protoksin di dalam perut (*gut*) serangga (Lereclus *et al.* 1993).

Bakteri *B. thuringiensis* mempunyai beberapa subspecies, yaitu subsp. *kurstaki*, *aizawai*, *sotto*, *entomocidus*, *berliner*, *san diego*, *tenebroid*, *morrisoni*, dan *israelensis*. Setiap subspecies Bt memiliki beberapa strain, seperti strain HD-1 dan HD-5. Suatu strain Bt pada umumnya memproduksi lebih dari satu jenis kristal protein. Gen yang menyandi pembentukan kristal protein Bt telah diisolasi dan dikarakterisasi. Gen ini disebut gen *cry* yang merupakan singkatan dari kata *crystal*. Kristal endotoksin Bt dikelompokkan menjadi

lima kelas utama berdasarkan homologi sekuen asam amino pada terminal N, bobot molekul, dan aktivitas insektisidalnya. Kelima kelas tersebut adalah (1) *cryI* yang menyerang serangga lepidoptera, (2) *cryII* yang dapat menyerang lepidoptera dan diptera, (3) *cryIII* yang dapat menyerang koleoptera, (4) *cryIV* yang dapat menyerang diptera, (5) *cryV* yang dapat menyerang lepidoptera dan koleoptera (Bahagiawati 2000).

SERANGGA PENGENDALI HAYATI

Penggunaan serangga pengendali hayati untuk mengendalikan serangga hama tanaman merupakan kegiatan yang sudah lama diketahui dalam sistem pertanian. Suatu contoh klasik adalah penggunaan semut untuk mengendalikan hama pada tanaman jeruk di China. Contoh lain adalah pengendalian hayati kutu jeruk *cottony cushion* di California pada tahun 1880-an dengan menggunakan parasitoid dan predator. Beberapa contoh pengendalian hayati yang dilakukan di Indonesia adalah pengendalian hama kutu loncat pada tahun 1980-an dengan menggunakan serangga predator *Curinus curilius* atau *Lady Bird Beetle* yang diimpor dari Hawaii (Oka dan Bahagiawati 1988) dan pengendalian hama kedelai dengan parasitoid *Trichogramma* spp. (Marwoto 2005).

Pada umumnya, serangga pengendali hayati berfungsi sebagai predator dan parasitoid (Pedigo 1989). Predator dalam hal ini adalah serangga yang memangsa atau makan serangga lain (*prey*). Predator dapat memangsa larva dan imago serangga dan biasanya memangsa beberapa mangsa dalam satu siklus hidupnya. Parasitoid adalah serangga yang hidup pada serangga lain yang lebih besar sebagai inangnya. Parasitoid berkembang dan mencapai fase imago pada ekor serangga inang, memarasit serangga inang pada saat parasitoid berada dalam periode pre-imago. Setelah menjadi imago, parasitoid hidup bebas di luar inangnya. Biasanya dalam suatu serangga inang dapat hidup lebih dari satu parasitoid. Parasitoid memiliki inang yang lebih spesifik daripada predator (Pedigo 1989).

Pengendalian hama dengan menggunakan serangga pengendali hayati (predator dan parasitoid) tidak mencemari lingkungan, tetapi cara ini tidak kompatibel dengan cara pengendalian lain, khususnya pestisida (Pedigo 1989). Beberapa kasus keberhasilan pengendalian hayati telah dilaporkan, misalnya: (1) pengendalian *cottony cushion scale* (*Icerya purchasi*) di California pada tahun 1868 dengan mengintroduksi *Lady bird beetle* (*Rodolia cardinalis*) dari Australia (Pedigo 1989); (2) pengendalian *coconut moth* (*Levuana iridescens*) pada perkebunan kelapa di Fiji

dengan lalat parasit *Bessa remota* pada tahun 1925 yang diimpor dari Malaysia (Hajek 2004); (3) pengendalian *walnut aphid* (*Chromaphis juglandicola*) di California dengan *Trioxys pallidus* yang diimpor dari Perancis pada tahun 1981 (Hajek 2004), dan (4) pengendalian hama penggerek batang jagung (*European stemborer*, *Ostrinia nubilalis*) dengan *Trichogramma ostriniae* di negara bagian New York, Amerika Serikat, pada tahun 2002 (Wright *et al.* 2002). Kemajuan penggunaan serangga pengendali hayati cukup mengembirakan di luar negeri, berdasarkan jumlah perusahaan yang mengkomersialkan predator dan parasitoid untuk pengendalian serangga hama tanaman. Pada tahun 1989, 25 perusahaan di Kanada dan Amerika Serikat telah memproduksi dan menjual parasitoid dan predator yang meliputi parasitoid kutu (*fly*, Diptera), dan lebah (*wasps*, Hymenoptera), serta predator *lacewing* (Neuroptera), dan *Lady bird* (Coleoptera) (Pedigo 1989). Pada tahun 2000, lebih dari 130 spesies predator dan parasitoid telah diproduksi untuk tujuan komersial di berbagai negara di dunia (van Lenteren 2000).

PENGARUH TANAMAN TRANSGENIK TAHAN HAMA TERHADAP SERANGGA PENGENDALIAN HAYATI

Anggapan bahwa tanaman transgenik mempunyai potensi mempengaruhi keseimbangan alam, sedangkan tanaman hasil pemuliaan konvensional tidak berdampak negatif tidak selalu benar. Secara keseluruhan, tanaman transgenik seperti halnya dengan tanaman konvensional mempunyai potensi mempengaruhi populasi musuh alami. Namun demikian, pengaruh ini tidak dapat diambil secara umum (digeneralisasikan). Pengaruh ini sangat spesifik, tergantung jenis gen tahan yang diintroduksi ke tanaman transgenik, jenis hama, dan jenis predator atau parasitoidnya.

Pengaruh negatif dari varietas tahan terhadap larva parasitoid juga ditemukan pada parasitoid yang memangsa hama yang hidup pada tanaman tahan hasil pemuliaan konvensional. Misalnya *-tomatine* dan *nicotine* menunjukkan pengaruh negatif terhadap daya bertahan hidup parasitoid pada hamanya (Schuler *et al.* 1999).

Seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, maka tanaman hasil rekayasa genetika ini juga mempunyai potensi mempengaruhi keberadaan dan fungsi musuh alami. Pengaruhnya dapat bersifat positif, negatif, atau netral, tergantung jenis toksin yang diekspresikan oleh gen yang terdapat pada tanaman transgenik tersebut, jenis hama, dan jenis predator serta parasitoid pada habitat tanaman tahan tersebut. Pada saat ini, beberapa gen tahan telah digunakan untuk merakit

tanaman tahan hama dengan teknik rekayasa genetik, antara lain gen *cry* dari *B. thuringiensis*. Selain gen *cry*, gen-gen lain juga telah digunakan untuk merakit tanaman transgenik tahan hama. Gen-gen ini umumnya diisolasi dari tanaman, misalnya gen *-amilase inhibitor*, gen *lectin*, dan gen *proteinase inhibitor* (Bahagiawati 2000). Setiap gen mempunyai sasaran hama yang berbeda. Promoter yang digunakan dalam proses perakitan juga bermacam-macam, antara lain *cauliflower mosaic virus 35S* yang dapat terekspresi di seluruh jaringan tanaman, *rice sucrose synthase* yang terekspresi di jaringan phloem saja, *maize ubiquitin* yang terekspresi di seluruh jaringan tanaman, dan *maize pollen specific promoter* yang hanya terekspresi di jaringan benangsari (Schuler *et al.* 1998). Di jaringan mana saja gen ini terekspresi tentu mempengaruhi jenis hama yang menyerangnya. Misalnya, tanaman transgenik yang dirakit dengan menggunakan *promoter rice sucrose synthase* hanya efektif terhadap hama sasaran yang menyerang phloem, seperti wereng coklat. Jika tanaman transgenik dirakit dengan menggunakan promoter yang dapat diekspresikan di seluruh jaringan tanaman, maka diharapkan tanaman ini efektif untuk mengendalikan hama yang menyerang daun, batang, dan akar. Demikian juga pada tanaman yang dirakit dengan promoter yang terekspresi di benangsari, maka hanya efektif untuk hama yang menyerang benangsari.

Setiap hama mempunyai kompleks musuh alami yang berbeda, misalnya musuh alami wereng coklat berbeda dengan musuh alami penggerek batang padi. Inseri gen yang diintroduksi berpengaruh terhadap tanaman yang dimodifikasi. Tanaman transgenik ini diharapkan mengekspresikan gen yang diintroduksi dan menunjukkan sifat proteksi terhadap serangga hama sasaran. Namun demikian, kadang-kadang tanaman transgenik memperlihatkan pengaruh yang tidak diharapkan atau terabaikan, misalnya mengalami peru-

bahan sifat fisik. Sebagai contoh tanaman transgenik menghasilkan senyawa volatil yang berbeda susunan molekulnya dengan yang dihasilkan tanaman non-transgenik dari spesies yang sama, walaupun hal ini sangat jarang terjadi. Perubahan senyawa volatil ini juga mempunyai potensi untuk mengubah tingkah laku musuh alami, terutama kemampuan musuh alami dapat mengenal dan menemukan mangsa atau inangnya. Rangkuman pengaruh tanaman transgenik tahan hama terhadap populasi musuh alaminya dapat dilihat pada Tabel 1.

Di samping itu, pengaruh tanaman transgenik tahan hama terhadap musuh alaminya dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung disebabkan oleh pengaruh toksin secara langsung terhadap musuh alami. Pengaruh tidak langsung terjadi karena reduksi dari jumlah dan kualitas inang atau mangsa dan secara tidak sengaja introgresi gen menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia tanaman, sehingga tanaman tidak menarik untuk dikunjungi musuh alami (Dutton *et al.* 2003).

PENGARUH TANAMAN TRANSGENIK BT TERHADAP JENIS DAN STADIA MUSUH ALAMI

Toksin yang terdapat pada biopestisida Bt berlainan dengan yang terdapat pada tanaman transgenik Bt. Pada biopestisida Bt, toksin hanya terdapat dalam bentuk protoksin. Biasanya protoksin ini mempunyai bobot molekul lebih besar daripada toksinnya. Protoksin Bt jika dimakan oleh serangga sasaran akan berubah di saluran pencernaan serangga menjadi toksin yang mempunyai bobot molekul lebih kecil. Perubahan protoksin menjadi toksin terjadi karena aktivitas enzim proteinase di dalam saluran pencernaan serangga. Lain halnya dengan biopestisida Bt pada tanaman transgenik, toksin Bt terdapat dalam bentuk toksin. Protoksin Bt yang digunakan sebagai biopestisida pada

Tabel 1. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pengaruh tanaman transgenik terhadap populasi serangga pengendali hayati.

Tingkat tropik	Atribut
Tanaman transgenik	Tingkat ketahanan tanaman Promoter yang mengatur ekspresi gen Perubahan senyawa volatil Keberadaan tanaman alternatif yang peka
Hama tanaman	Kepekaan terhadap toksin yang diintroduksi Keberadaan inang alternatif Perubahan tingkah laku serangga (geografi) karena tanaman transgenik Perubahan mobilitas serangga
Musuh alami	Tipe musuh alami (predator atau parasit) Kepekaan terhadap toksin yang diintroduksi Mobilitas musuh alami Ciri-ciri predator atau parasit, generalis atau spesialis

Sumber: Schuler *et al.* (1999).

umumnya tidak toksik terhadap parasitoid, meskipun terdapat perkecualian pada beberapa kasus hasil penelitian di laboratorium (Schuler *et al.* 1999).

Toksin yang ada di dalam tanaman transgenik Bt juga berpotensi mempengaruhi populasi musuh alami serangga sasaran. Namun demikian, pengaruh ini sangat bergantung pada jenis musuh alami dan stadiannya, misalnya pada serangga parasitoid mempunyai karakteristik yang berbeda antara imago dan larvanya. Tanaman transgenik berpengaruh secara tidak langsung terhadap larva parasitoid, karena parasitoid ini terpapar lebih banyak di jaringan tubuh larva yang dimakannya daripada langsung pada tanaman transgenik. Larva parasitoid akan terpapar ke berbagai protein yang ada di tubuh serangga yang diparasitisi secara langsung, ketika mereka makan jaringan tubuhnya. Dosis mematikan (*sublethal dosage*) dari toksin yang ada di tubuh inang kemungkinan akan meningkatkan daya parasitismenya, yaitu dengan melemahnya sistem imun dari inangnya.

Pengaruh tanaman transgenik Bt sangat dipengaruhi oleh jenis hama tanaman dan jenis serta stadia musuh alaminya. Penelitian tentang pengaruh tanaman transgenik tahan hama terhadap musuh alami telah dilakukan baik di laboratorium dengan metode makanan buatan, dengan menggunakan toksin Bt maupun dengan makanan alami dalam bentuk daun, batang atau tanaman transgenik Bt. Di samping itu, penelitian juga dilakukan dalam kondisi alami di lapang. Di bawah ini diuraikan beberapa hasil penelitian pengaruh tanaman transgenik pada jenis dan stadia musuh alami berbeda di laboratorium dan di lapang.

Pengaruh Tanaman Transgenik Bt terhadap Pre-Imago Parasitoid

Pengaruh toksin Bt pada dosis sublethal terhadap hama kubis *diamond backmoth* (*Plutella xylostella*) di laboratorium menunjukkan bahwa toksin Bt dapat memperpanjang masa berpupa parasit braconid *Cotesia plutellae*, namun tidak berpengaruh terhadap braconid lain, yaitu *Dinadegma insulare* yang juga memangsa *P. xylostella* (Schuler *et al.* 1999). Pengaruh negatif toksin Bt juga tidak dijumpai pada parasitoid hama kubis *Helicoverpa armigera* dengan parasit *Microplitis croceipes* (Blumberg *et al.* 1997).

Percobaan lapang dengan tanaman transgenik tembakau yang mengekspresikan toksin Bt dengan tingkat rendah menunjukkan adanya pengaruh sinergistik dengan parasitoid *Campoletis sonorensis* dalam mengendalikan *H. virescens*. Perpanjangan periode larva pada *H. virescens* yang makan tanaman tembakau Bt membuat waktu lebih panjang bagi *C. sonorensis* untuk memparasit *H. virescens* (Johnson 1997).

Pengaruh Tanaman Transgenik Bt terhadap Parasitoid Imago

Parasitoid yang berada pada stadia imago makan pada kelenjar nektar bunga. Peluang terjadinya kontak antara parasitoid dengan toksin yang ada pada tanaman transgenik kecil, karena promoter yang digunakan untuk transformasi tanaman umumnya tidak terekspresi pada benangsari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa toksin *cry1Ac* tidak berpengaruh terhadap parasitoid *Nasonia vitripennis*, jika terjadi kontak dan imagonya makan nektar yang bercampur toksin *cry1Ac* (Sims 1995). Mekanisme parasit dan predator untuk datang dan mendapatkan inangnya juga berdasarkan senyawa volatil yang dikeluarkan oleh tanaman tatkala dimakan oleh serangga hamanya. *Cotesia plutella* lebih menyukai tanaman yang telah dimakan larva *P. xylostella* yang sehat dan hidup pada larva yang makan atau hidup pada tanaman Bt (Schuler *et al.* 1999).

Perubahan tingkah laku hama yang makan pada tanaman transgenik juga mempengaruhi kesuksesan hidup parasitoid. Sebagai contoh, larva *L. Decemlineata* dan *P. xylostella* yang makan pada tanaman transgenik Bt membuatnya lemah dan tidak banyak bergerak. Hal ini memudahkan parasitoid *M. doryphorae* dan *C. plutellae* untuk meletakkan telurnya (Lopez dan Ferro 1995).

Pengaruh Tanaman Transgenik Bt terhadap Perkembangan Predator

Predator, baik pada stadia imago maupun larva, hidup bebas, tidak di dalam tubuh serangga, sehingga lebih bebas bergerak dan biasanya mempunyai mangsa yang lebih beragam. Predator biasanya tidak begitu dipengaruhi oleh penurunan populasi dari mangsanya. Beberapa predator seperti *Coccinella* spp., mencari mangsa secara acak, sedangkan predator lain seperti *lacewing* menggunakan senyawa volatil yang dikeluarkan oleh tanaman. Perubahan profil senyawa volatil yang dikeluarkan oleh tanaman transgenik mempengaruhi keberhasilan predator untuk mendapatkan habitatnya.

Pengaruh tanaman transgenik Bt terhadap predator jenis hama tertentu berbeda-beda, bergantung pada jenis predatornya. Hilbeck *et al.* (1998a) mengamati mortalitas larva chrysopid (*Chrysoperla carnea*) yang memangsa *Ostrinia nubilalis* dan *Spodoptera littoralis* yang dipelihara pada tanaman jagung Bt dan non-Bt. Mereka menemukan persentase kematian larva *C. carnea* yang memangsa *O. nubilalis* yang diperbanyak pada tanaman jagung Bt lebih tinggi (62%)

daripada kematian larva predator pada jagung non-Bt (37%). Hal serupa tidak terjadi pada *C. carnea* yang memangsa *S. littoralis*, baik pada tanaman jagung Bt maupun jagung non-Bt. Hilbeck *et al.* (1998b) meneliti pengaruh *cry1Ab* terhadap perkembangan larva *C. Carnea* dengan metode makanan buatan untuk mengkonfirmasi hasil penelitian sebelumnya. Hasilnya menunjukkan bahwa *cry1Ab* juga bersifat toksik terhadap *C. carnea*. Pada tahun 1999, Hilbeck (Hilbeck *et al.* 1999) mengadakan penelitian untuk mengkonfirmasi hasil penelitian sebelumnya menggunakan dosis yang lebih tinggi dari toksin *cry1Ab* melalui makanan buatan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *C. carnea* yang memangsa *S. littoralis*. Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa toksin *cry1Ab* toksik terhadap *C. carnea*. Dutton *et al.* (2002) mempelajari pengaruh toksin *cry1A* terhadap *C. carnea* dengan menggunakan mangsa yang berbeda, yaitu *spidermite* dan *aphid* yang dipelihara pada tanaman jagung Bt dan non-Bt, sedangkan Romeis *et al.* (2004, *in press*) meneliti pada makanan buatan. Hasilnya menunjukkan bahwa toksin *cry1Ab* tidak menimbulkan dampak negatif terhadap *C. carnea*. Hasil ini berlawanan dengan hasil penelitian Hilbeck (Hilbeck *et al.* 1998a; 1998b; 1999).

Percobaan lapang dengan tanaman transgenik yang mengandung Bt dan lektin (CpTI) memperlihatkan tidak ada perbedaan populasi predator dari famili Nabidae (Schuler *et al.* 1999). Pengaruh tanaman transgenik Bt terhadap populasi predator dari famili lain yang memangsa *O. nubilalis* juga telah diteliti di lapang selama dua tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman jagung transgenik Bt tidak mempengaruhi keberadaan predator dari famili *Coccinellidae*, *Anthocoridae*, dan *Chrysopidae* yang merupakan

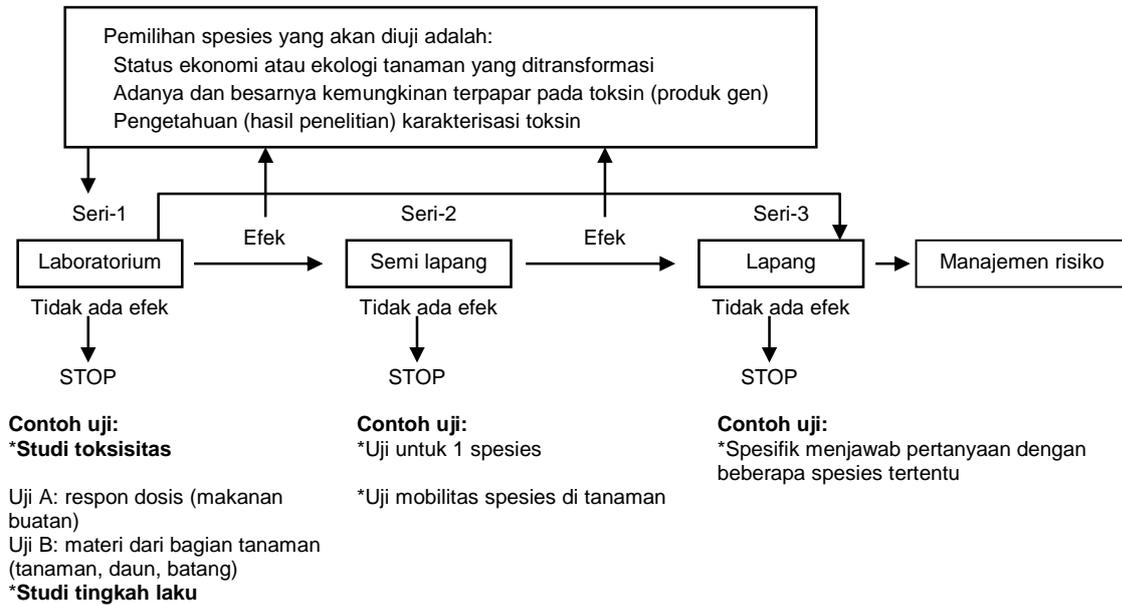
predator *O. nubilalis* (Pilcher *et al.* 1997). Namun Demikian, penelitian Pilcher *et al.* (1999) yang dilakukan di lapang menunjukkan hal yang sebaliknya, populasi *Macrocentris grandii* pada perangkap yang diletakkan di pertanaman jagung Bt berkurang 30-60%.

Rangkuman hasil penelitian yang tidak konsisten disajikan pada Tabel 2. Hasil yang tidak konsisten ini disebabkan antara lain oleh perbedaan metode yang digunakan oleh para peneliti, mulai dari percobaan di laboratorium menggunakan makanan buatan dan makanan alami, penelitian di rumah kaca, hingga penelitian di lapang; perbedaan jenis serangga pengendali hayati yang digunakan (parasitoid atau predator), dan perbedaan antara stadia serangga pengendali hayati yang digunakan. Oleh sebab itu, pada pertemuan antara pakar entomologi dan keamanan hayati (*bio-safety*) telah disarankan menggunakan teknik penelitian berseri (*serial*) atau sistematis untuk meneliti pengaruh toksin terhadap serangga pengendali hayati melalui pendekatan tritropik (Dutton *et al.* 2003; Schuler *et al.* 2003). Dutton *et al.* (2003) dan Schuler *et al.* (2003) telah mengajukan teknik serial yang patut dipertimbangkan. Gambar 2 memperlihatkan contoh urutan tahapan penelitian yang dianjurkan oleh Dutton *et al.* (2003). Jika diperoleh hasil penelitian yang berdampak negatif seperti kasus *C. carnea*, maka penelitian perlu dilanjutkan dengan tahapan seperti pada Gambar 3. Dari sini akan dapat diketahui bahwa sebenarnya *C. carnea* lebih menyukai *aphid* dan *spider mite*, sehingga jika mangsa atau inang alternatif ini berada bersamaan dengan mangsa atau inang larva Lepidoptera, maka kemungkinannya kecil larva Lepidoptera akan menjadi mangsa *C. carnea*, sehingga dampak negatif tidak akan terjadi di alam.

Tabel 2. Hasil penelitian sensitivitas predator terhadap toksin Bt yang diekspresikan di tanaman jagung Bt.

Jenis predator	Teknik pemberian toksin	Dampak negatif	Pustaka
Coleoptera: Coccinellidae <i>Coleomegilla maculata</i>	Benang sari jagung	Tidak	Pilcher <i>et al.</i> (1977)
Heteroptera: Anthocoridae <i>Orius insidiosus</i>	Benang sari jagung	Tidak	Pilcher <i>et al.</i> (1977)
<i>Orius majuculus</i>	Rambut jagung	Tidak	Al-Deeb <i>et al.</i> (2001)
Neuroptera: Chrysopidae <i>Chrysoperla carnea</i>	Thrip yang diperbanyak pada Jagung-Bt	Tidak	Zwahlen <i>et al.</i> (2000)
	Benang sari jagung dan telur Lepidoptera	Tidak	Pilcher <i>et al.</i> (1977)
	Makanan buatan mengandung Toksin <i>cry1Ab</i>	Ya	Hilbeck <i>et al.</i> (1998b)
	Larva Lepidoptera yang diperbanyak di jagung-Bt	Ya	Dutton <i>et al.</i> (2002)
	<i>Spider mite</i> yang diperbanyak di jagung-Bt	Tidak	Hilbeck <i>et al.</i> (1998a)
	<i>Aphid</i> diperbanyak di jagung-Bt	Tidak	Dutton <i>et al.</i> (2002)
	Toksin <i>cry1Ab</i> pada makanan buatan berupa cairan gula	Tidak	Lozzia <i>et al.</i> (1998)
			Romeis <i>et al.</i> (2004)

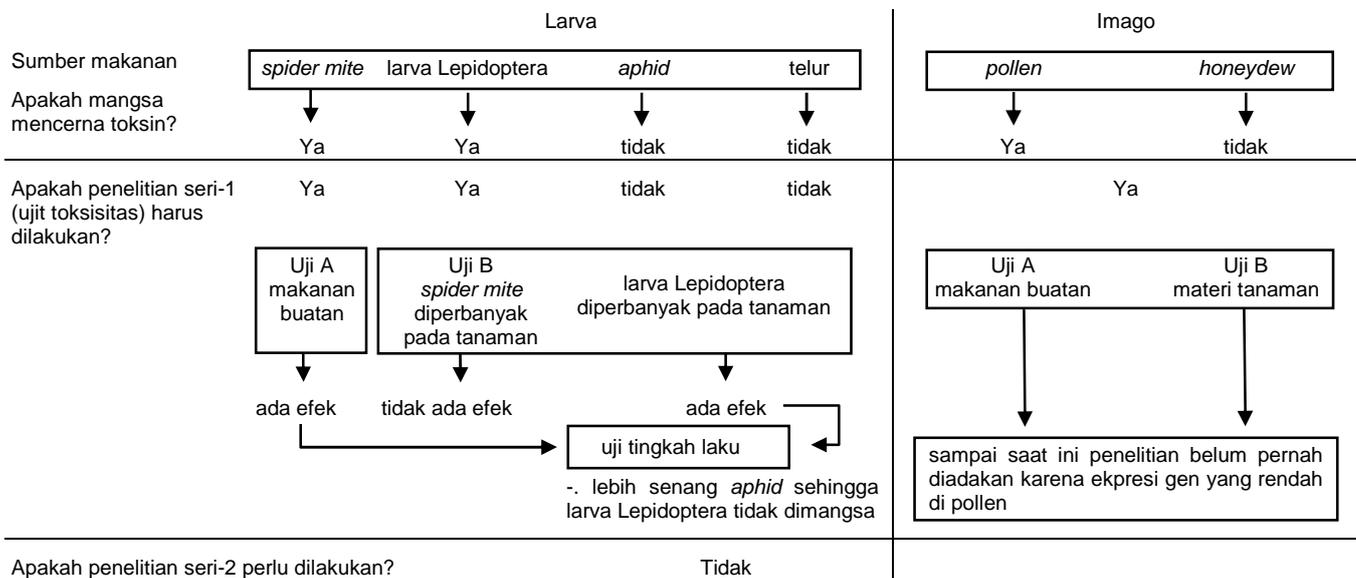
Sumber: Dutton *et al.* (2003).



Gambar 2. Diagram serial penelitian untuk mengetahui pengaruh suatu tanaman transgenik tahan hama terhadap populasi serangga pengendali hayati.

Sumber: Dutton *et al.* (2003).

Paparan *Chrysoperla carnea* terhadap toksin Bt.



Gambar 3. Kajian risiko jagung Bt terhadap predator *C. Carnea*

Sumber: Dutton *et al.* (2003).

KESIMPULAN

Tanaman transgenik tahan hama cenderung mempengaruhi fungsi serangga pengendali hayati. Pengaruh ini bergantung pada beberapa hal, antara lain metode penelitian yang digunakan, jenis gen pe-

nyandi toksin yang ditransfer ke tanaman transgenik, jenis hama/inang/mangsa, dan jenis predator/parasit yang berada di habitat tanaman transgenik. Penelitian untuk mengetahui pengaruh tanaman transgenik Bt khususnya dan transgenik tahan hama umumnya terhadap musuh alami perlu dilakukan dengan seksama.

Pengkajian data yang diperoleh juga perlu dilakukan seksama agar interpretasi yang dibuat lebih mendekati kondisi alami.

PUSTAKA

- Al-Deeb, M.A., G.E. Wilds, and R. Higgins. 2001.** No effect of *Bacillus thuringiensis* corn and *Bacillus thuringiensis* on predator *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.* 30:625-629.
- Bahagiawati. 2000.** Peranan dan potensi *dietary insecticidal protein* dalam rekayasa genetika tanaman tahan hama. *Bull. Agrobio* 3(2):74-79.
- Blumberg, D., A. Navon, S. Keren, S. Goldenberg, and S.M. Ferkovich. 1997.** Interaction among *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), its larval endoparasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae), and *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.* 90:1181-1186.
- Dutton, A., H. Klein, J. Romeis, and F. Bigler. 2002.** Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecol. Entomol.* 27:441-447.
- Dutton, A., J. Romeis, and F. Bigler. 2003.** Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing *Cry1Ab* as a case study. *BioControl* 48:611-636.
- Hajek, A. 2004.** Natural enemies: An introduction to biological control. Cambridge University Press.
- Hilbeck, A., M. Baumgartner, P.M. Fried, and F. Bigler. 1998a.** Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.* 27:480-487.
- Hilbeck, A., W.J. Moar, M. Putztai-Carey, A. Philippini, and F. Bigler. 1998b.** Toxicity of *Bacillus thuringiensis cry1Ab* toxin to predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.* 27:1225-1263.
- Hilbeck, A., W.J. Moar, M. Puztai-Carey, A. Filippini, and F. Bigler. 1999.** Prey-mediated effects of *cry1Ab* toxin and protoxin *cry2A* protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomol. Experimental Appl.* 91:305-316.
- Hofte, H. and H.R. Whiteley. 1989.** Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Review* 53:242-255.
- James, C. 2002.** Global review of commercialized transgenic crops: 2001. Feature: Bt cotton. ISAAA Brief No. 26. ISAAA, Ithaca, New York.
- Johnson, M.T. 1997.** Interaction of resistant plants and wasp parasitoid of tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.* 26:207-214.
- Lereclus, D., A. Delecluse, and M.M. Lecaded. 1993.** Diversity of *Bacillus thuringiensis* toxins and genes. *Bacillus thuringiensis*, an environmental biopesticides: Theory and practices. John Wiley and Sons.
- Lopez, R. and D.N. Ferro. 1995.** Larviposition response of *Myoparus doryphorae* (Diptera: Tachinidae) to Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) larvae treated with lethal and sublethal doses of *Bacillus thuringiensis* Berliner subsp. tenebrosus. *J. Econ. Entomol.* 88:870-874.
- Lozzia, GC, C. Furlanis, B. Manachini and IE Rigomonti. 1998.** Effects of Bt corn on *Rhopalosiphum padi* L (Rhynchota: Aphididae) and on its predator *Chrysoperla carnea* Stephen (Neuroptera: Chrysopidae). *Bull. Zool. Agr. Bachi.* 30:153-164.
- Oka, I.N. dan Bahagiawati. 1988.** Comprehensive program towards integrated control of *Leucaena psyllid*, a new pest of Leucaena trees in Indonesia. *AARD Journal* 10(1):23-30.
- Marwoto. 2005.** Prospek parasitoid *Trichogramma Bactrae-bactrae* Nagaraja (Hymenoptera) sebagai agens hayati pengendali hama penggerek polong kedelai *Etiella zinckenella* treait. Orasi pengukuhan Ahli Peneliti Utama, Bidang Hama Tanaman. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Pedigo, L.P. 1989.** Entomology and pest management. MacMillan, London-New York.
- Pilcher, C.D., J.J. Obrycki, M.E. Rice, and L.C. Lewis. 1997.** Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.* 26:446-454.
- Pilcher, C.D. 1999.** Phenological, physiological, and ecological influences of transgenic Bt corn on European cornborer management. PhD dissertation. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.
- Romeis, J., A. Dutton, and F. Bigler. 2004.** *Bacillus thuringiensis* toxin (*cry1Ab*) has no direct toxic effect on larvae of the green lacewing *Chrysoperla carnea*. *J. Insect Physiol.* *In press.*
- Saragih, E. 2004.** Existing national biotechnology regulatory system. Private sector perspective. Indonesian National Consultation Meeting. Bogor, September 6-7, 2004.
- Schuler, T.H., G.M. Poppy, B.R. Kerry, and I. Denholm. 1998.** Insect-resistant transgenic plants. *Tibtech* 16:168-175.
- Schuler, T.H., G.M. Poppy, B.R. Kerry, and I. Denholm. 1999.** Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *Tibtech* 17:210-216.
- Schuler, T. 2003.** Effects of GM plants on beneficial arthropods. Contribution to the UK GM Science Review, 28 May 2003.
- Sims, S.R. 1995.** *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* (*cry1A(C)*) protein expressed in transgenic cotton: Effects on beneficial and other non-target insects. *Southwest Entomol.* 20:493-500.
- Van Lenteren. 2000.** Success in biological control of arthropods by augmentation of natural enemies. *In Gurr,*

G. and S. Wratten (*Eds.*). Biological Control: Measures of Success. Kluwer Academic Publisher.

Wright, M.G., T.P. Kuhar, M.P. Hoffmann, and S.A. Chenus. 2002. Effect of inoculative releases of *Trichogramma ostrinae* on population of *Ostorinia nubilalis* and damage to sweet corn and field corn. Biological Control 23:149-155.

Zwahlen, C., W. Nentwig, F. Bigler, and A. Hulbeck. 2000. Tritrophic interactions of transgenic *Bacillus thuringiensis* cornfed *Anaphothrips obscurus* (Thysanoptera: Thripidae) with the predator *Orius majuculus* (Heteroptera: Anthocoridae). Environ. Entomol. 29:846-850.
