

Bioetika Pemanfaatan Patogen Serangga untuk Pengendalian Hama secara Hayati

I G.A.A. Indrayani dan Deciyanto Soetopo
Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat

ABSTRACT

Bioethics on Use of Insect Pathogens for Biological Control of Plant Pests.

The use of insect pathogens for insect control has been done for a long time. there are many constraints in the use of insect pathogens as replacement of chemical pesticides, such as slow killing ability and the narrow host range, thus it is expected that it enable to compete with other insect control techniques. The recent fast progress in biotechnology also affect development of biopesticide development that will play important roles in future insect management system. Some of the insect pathogens that have potential for biopesticides are bacteria, viruses, fungi, and nemathodes. Currently, serious attention are paid on bacterial and viral genetic engineering. This is because these pathogens are easily mass produced also to improve their effectiveness and pathogenicities. The development of insect pathogens through biotechnology is related to environmental issues that are currently debatable. Although the development of biotechnology is full of human interests, however, harminization with the enviroment cannot be neglected. Bioethics is urgently needed in the use of genetically engineered insect pathogens to reduce the negative effect of biotechnology to the environment. The application of transgenic products, particularly insect pathogens should be done wisely and considering the natural ecosystem sustainability. Insect resistance to *Bacillus thuringiensis* (Bt) in transgenic plants can be extended by mix-planting between the Bt transgenic plant with the non transgenic plants as refuges. To reduce the natural persistent baculovirus contamination in the soil, baculoviruses with low persistence in nature need to be engineered. Besides, the rate of resistance of the insect pests can also be inhibited/reduced through the use of biorational pesticides, such as insects sexpheromones or insect growth regulating substances in combination or in rotation with transgenic plants.

Key words: Bioethics, insect pathogens, transgenic plants, insect control.

ABSTRAK

Bioetika Pemanfaatan Patogen Serangga untuk Pengendalian Hama secara

Hayati. Pemanfaatan patogen serangga dalam pengendalian serangga hama sudah sejak lama dilakukan. Sebagai alternatif substitusi pestisida kimia patogen serangga masih memiliki banyak kelemahan-kelemahan, seperti: daya bunuh yang lambat dan sempitnya kisaran inang, sehingga dianggap kurang mampu bersaing dengan cara-cara pengendalian hama lainnya. Perkembangan bioteknologi yang kian pesat akhir-akhir ini juga berpengaruh terhadap perkembangan biopestisida yang akan memiliki peranan penting dalam sistem pengelolaan hama di masa mendatang. Patogen serangga yang berpotensi sebagai kandidat biopestisida adalah: bakteri, virus, jamur, dan nematoda. Saat ini bakteri dan virus mendapat perhatian serius untuk direayasa secara genetik, selain karena mudah diproduksi secara masal, juga untuk meningkatkan efektifitas dan patogenisitasnya. Pengembangan patogen serangga secara bioteknologi tidak dapat lepas dari isu-isu lingkungan yang gencar diperdebatkan saat ini. Meskipun pengembangan bioteknologi sarat dengan kepentingan manusia, namun har-

monisasi dengan lingkungan tidak dapat diabaikan. Bioetika dalam pemanfaatan patogen serangga hasil rekayasa genetik sangat diperlukan untuk mengurangi pengaruh negatif produk bioteknologi terhadap lingkungan. Mengaplikasikan produk-produk transgenik, khususnya patogen serangga hendaknya dilakukan secara bijak dan mempertimbangkan keberlanjutan ekosistem alam. Resistensi hama terhadap *Bacillus thuringiensis* (Bt) pada tanaman hasil transgenik dapat diperlambat dengan cara menanam bersama-sama tanaman Bt transgenik dan non transgenik sebagai *refuge*. Untuk mengurangi kontaminasi terhadap baculovirus alami yang persisten di dalam tanah, maka perlu direkayasa baculovirus yang persistensinya di alam rendah. Selain itu laju resistensi hama juga dapat diperlambat melalui penggunaan pestisida biorasional, seperti feromon seks serangga, atau zat pengatur pertumbuhan serangga yang dikombinasi atau dirotasi penggunaannya pada tanaman-tanaman transgenik.

Kata kunci: Bioetika, patogen serangga, tanaman transgenik, pengendalian hama.

PENDAHULUAN

Pada tiga dasa warsa yang lalu, penggunaan pestisida kimia merupakan teknik pengendalian serangga hama yang sangat efektif, hingga akhirnya ditemukan berbagai macam pencemaran lingkungan yang sangat fatal sebagai dampak negatif dari penggunaannya. Sejak saat itu peranan insektisida kimia untuk mengendalikan hama secara berangsur-angsur dikurangi, dan sebagai gantinya saat ini mulai digunakan teknik pengendalian hama alternatif, salah satunya adalah pengendalian secara hayati dengan memanfaatkan patogen serangga atau mikroorganisme penyebab penyakit pada serangga.

Penggunaan patogen serangga dalam pengendalian hama pertama kali dikenalkan oleh Agostino Bassi, Louis Pasteur, dan Elie Metchnikoff (Falcon 1985), terutama pemanfaatan jamur patogenik sebagai agensi hayati pengendalian serangga hama pada akhir abad ke-19. Sejak saat itu banyak penelitian-penelitian tentang patogen serangga dilakukan, dan yang paling intensif diteliti adalah bakteri *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt). Saat ini semakin banyak jenis patogen serangga yang dimanfaatkan, misalnya untuk pengendalian serangga hama di rumah kaca, kebun buah-buahan, tanaman hias, hama gudang, tanaman hutan, maupun untuk bidang medis (Tanada dan Kaya 1993, Lacey dan Kaya 2000).

Patogen serangga yang telah dimanfaatkan sebagai agensi pengendalian hama secara hayati meliputi bakteri, virus, jamur, protozoa, dan nematoda. Keunggulan patogen serangga cukup banyak, antara lain: keamanannya terhadap manusia dan organisme lain bukan sasaran, tidak meninggalkan residu beracun pada produk-produk pangan, meningkatnya peranan musuh alami yang lain, dan meningkatkan keanekaragaman hayati pada ekosistem terkelola. Selain itu, patogen serangga dapat diaplikasikan dengan menggunakan peralatan yang sama seperti untuk pestisida kimia, juga dapat diperbanyak dengan menggunakan media buatan maupun serangga inangnya, serta dapat disimpan selama kurun waktu tertentu sebelum digunakan. Sebaliknya, patogen serangga juga memiliki kelemahan, terutama berkaitan dengan persistensi, kemampuan membunuh, dan kisaran inang. Ternyata kelemahan tersebut merupakan faktor utama ketidakmampuan patogen serangga untuk berkompetisi dalam skala komersial, sehingga harus dicari solusi untuk meningkatkan daya saingnya. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan bioteknologi untuk melakukan perbaikan-perbaikan sifat.

Dalam tahun 1980-an bioteknologi sudah meluas ke bidang penelitian dan pengembangan pertanian. Bioteknologi yang prinsipnya adalah rekayasa genetik mulai digunakan dalam program pemuliaan tanaman untuk meningkatkan ketahanan terhadap hama, penyakit, kekeringan, salinitas, dan sebagainya, sama seperti upaya meningkatkan hasil dan kualitas hasil. Baik tanaman transgenik maupun mikroba (patogen) hasil rekayasa genetik sudah mulai digunakan untuk memberi pengaruh pada ketahanan terhadap hama. Hal ini menunjukkan bahwa bioteknologi dapat dimanfaatkan dalam program pengelolaan hama tanaman.

Di pihak lain, pro-kontra dalam menyikapi munculnya organisme transgenik telah terjadi sejak tanaman transgenik mulai dikembangkan, terutama dikaitkan dengan etika dalam pemanfaatan sumber daya biologi (Crawley 1999, Butler *et al.* 1999). Bioteknologi modern memungkinkan manusia melakukan perubahan-perubahan atau memanipulasi perilaku suatu makhluk hidup. Produk transgenik diawali dari tanaman, dan saat ini tampaknya sudah semakin berkembang pada organisme lain, yaitu patogen serangga (McCutchen *et al.* 1991). Maramorosch (1991) menyatakan bahwa entomopatogenik virus dan bakteri memiliki potensi untuk diproduksi secara masal dan dimanipulasi secara genetik. Baculovirus, termasuk nuclear polyhedrosis virus dan granulosis virus merupakan sasaran utama penerapan bioteknologi pada patogen serangga, terutama untuk meningkatkan patogenisitas dan efektivitas. Namun, dengan merebaknya isu lingkungan berkaitan dengan pelepasan produk-produk transgenik, maka perlu memahami etika-etika dalam memanfaatkan sumber daya biologi tersebut sehingga dampak negatif yang mungkin akan ditimbulkan dapat dikurangi.

Tulisan ini bertujuan untuk menginformasikan tentang peranan patogen serangga dan bioetika pemanfaatannya dalam pengendalian hama.

BIOTEKNOLOGI PADA PATOGEN SERANGGA

Kian pesatnya perkembangan teknologi baru dibidang pertanian, khususnya bioteknologi, merupakan salah satu alternatif cara mereduksi penggunaan pestisida kimia yang secara nyata telah mengakibatkan gangguan kesehatan akut pada sejumlah petani dan pekerja pertanian setiap tahun, khususnya di negara-negara sedang berkembang (Crissman *et al.* 1994). Di Cina, selama periode 1992-1996 telah terjadi kasus keracunan pestisida kimia pada sekitar 54.000 petani per tahun, dan sekitar 490 petani di antaranya meninggal akibat keracunan (Huang *et al.* 1999). Di samping itu, kontaminasi pestisida juga sering terjadi pada produk buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian, serta tidak jarang mengkontaminasi sumber-sumber air.

Patogen serangga sebagai alternatif pengendalian hama dalam upaya mengurangi penggunaan insektisida kimia tampaknya masih memiliki banyak kelemahan, terutama persistensi di lapang dan kemampuan membunuh inang. Dalam hal ini peranan bioteknologi untuk mengurangi kendala-kendala tersebut sangat diharapkan. Keberhasilan menggunakan beberapa spesies patogen serangga dalam pengelolaan serangga hama merupakan upaya untuk meningkatkan epizootik di lapang yang bermanfaat untuk strategi pengelolaan hama jangka panjang. Melalui bioteknologi dapat dilakukan manipulasi genetik terhadap patogen serangga, terutama untuk meningkatkan daya bunuh dan persistensinya di lapang, atau mengubahnya menjadi patogenik terhadap berbagai spesies serangga hama.

Agensi-agensi pengendalian hayati hasil rekayasa genetika dapat memberi pengaruh positif atau negatif terhadap lingkungan, tergantung bagaimana agensi tersebut direkayasa

dan digunakan, serta di lingkungan bagaimana agensi tersebut akan dimanfaatkan. Menurut Tiedje *et al.* (1989), rekayasa genetik terhadap patogen serangga, termasuk virus, bakteri, dan jamur merupakan proses modifikasi genetik dengan teknik molekuler yang dapat digunakan untuk mengendalikan serangga hama. Huffaker (1983) menyatakan bahwa pengendalian hayati secara konvensional sudah terbukti dapat mengendalikan sekitar 140 spesies serangga hama, sehingga dengan adanya agensi biopestisida hasil rekayasa genetik diharapkan lebih banyak lagi spesies serangga hama yang dapat dikendalikan.

***Bacillus thuringiensis* Berliner**

Rekayasa genetik yang menggunakan patogen serangga pertama kali dilakukan adalah terhadap bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt). Kristal protein (*cry*) yang berasal dari Bt dipindahkan ke tanaman dengan teknik molekuler sehingga tanaman penerima gen *cry* memiliki ketahanan terhadap serangan hama (Perlak *et al.* 1991). Sejak tahun 1995 bermunculan produk-produk hasil bioteknologi yang antara lain diproduksi oleh Monsanto, Syngenta, Dow dan Dupont-Pioneer berupa varietas jagung, kapas, dan kentang yang mengandung protein Bt. Menurut James (2004), khusus produk jagung dan kapas Bt penanamannya di seluruh dunia mencapai 20 juta hektar. Tanaman kapas yang mengandung protein *cry1Ac*, *cry1F*, dan *cry2Ab* memiliki kemampuan tinggi untuk mengendalikan serangga hama Lepidoptera, sehingga sangat efektif mengurangi penggunaan pestisida kimia. Kapas Bt, khususnya yang mengandung protein *cry1Ac* yang dikenal dengan nama Bollgard dan Ingard sudah dikembangkan secara besar-besaran di Argentina, Australia, Cina, Colombia, India, Meksiko, dan Afrika Selatan. Di samping itu, rekayasa genetik terhadap jagung Bt semakin dikembangkan dengan tujuan untuk mengendalikan lebih banyak spesies serangga hama, seperti protein *cry1Ab* atau *cry1F* yang sudah ada pada tanaman jagung akan ditambahkan lagi dengan protein *cry3Bb1* yang menyebabkan tanaman jagung memiliki ketahanan terhadap serangan hama *Diabrotica* spp.

Nuclear Polyhedrosis Virus

Patogen serangga lain yang juga dapat direkayasa secara genetik adalah *nuclear polyhedrosis virus* (NPV). Secara konvensional, patogen ini diketahui efektif terhadap serangga hama Lepidoptera dan juga aman bagi lingkungan, sehingga sangat potensial untuk dikembangkan sebagai biopestisida (Laird *et al.* 1990). Karena dianggap kurang mampu memberikan keuntungan secara ekonomi, maka produk-produk komersial baculovirus belum banyak ditemukan (Cunningham 1988). Hal tersebut ada kaitannya dengan biaya produksi secara konvensional (*in vivo*) yang masih sangat tinggi. Selain itu, kelambatan membunuh hama (5-15 hari) juga merupakan faktor penyebab kurang kompetitif sebagai agensi pengendalian hama. Kelambatan tersebut kemungkinan akibat pengaruh temperatur, dosis, dan umur hama sasaran yang kurang tepat. Fuxa (1991) menyatakan bahwa kelambatan membunuh tersebut merupakan kendala utama dalam upaya pengembangannya sebagai biopestisida. Spesifikasi inang yang tinggi juga menjadi kendala karena semakin sempit spektrum inangnya, maka nilai komersialnya semakin rendah, karena lebih dicari patogen serangga yang dapat membunuh lebih banyak spesies hama. Bonning dan Hammock (1996) mengatakan bahwa melalui rekayasa genetik kemampuan membunuh dan luasnya kisaran inang dapat ditingkatkan.

Pada rekayasa genetik terhadap baculovirus untuk meningkatkan patogenisitas dan kecepatan membunuh, ada dua pendekatan yang dilakukan, yaitu (1) memindahkan toksin yang berasal dari kalajengking Algeria, *Androctonus australis* Hektor (McCutchen *et al.* 1991, Stewart *et al.* 1991) ke dalam NPV *Autographa californica* (AcNPV), (2) mengekspresikan gen (*AcJHE.SG*) hormone esterase (*JHE*), yaitu hormon juvenil yang telah mengalami mutasi. Hasil rekayasa genetik yang menghasilkan NPV rekombinan (*AcNPV.AaIT*) terbukti dapat menurunkan *Lethal time* (*LT*) hingga 30% dibandingkan dengan NPV alami dan menghentikan aktivitas makan serangga hama 8-10 hari sebelum kematiannya (McCutchen *et al.* 1991, Kunimi *et al.* 1996). Hasil penelitian lain menyebutkan bahwa pengaruh gen *AcJHE.SG* pada NPV rekombinan efektif mengurangi kerusakan tanaman hingga 66% dan dapat membunuh hama 20-30% lebih cepat dibandingkan dengan NPV alami (Bonning *et al.* 1995).

Nematoda Entomopatogenik

Hingga saat ini belum banyak dilakukan rekayasa genetik terhadap nematoda patogen serangga, meskipun sudah diketahui baru ada dua famili nematoda yang kemungkinan dapat dimodifikasi secara genetik, yaitu Steinernematidae dan Heterorhabditidae. Patogenisitas nematoda pada serangga hama sangat dipengaruhi oleh aktivitas bakteri simbiosis *Xenorhabdus* spp. yang dibawa di dalam intestinum juvenil infektifnya (larva instar 3) (Thomas dan Poinar 1979). Asosiasi antara nematoda dan bakteri simbiosisnya merupakan hubungan simbiose mutualistik, dan bakteri ini tidak memiliki kemampuan menginfeksi sehingga tidak patogenik terhadap serangga hama (Poinar 1983). Tetapi, tanpa keberadaan bakteri simbiosis *Xenorhabdus* spp. di dalam hemokul serangga inang menyebabkan nematoda tidak memiliki cukup makanan untuk hidup dan berkembang di dalam tubuh serangga.

Seperti patogen serangga yang lain, nematoda juga memiliki beberapa kelemahan sebagai kandidat biopestisida masa depan, sehingga memerlukan beberapa perbaikan sifat yang dapat dilakukan dengan teknik rekayasa genetik, antara lain: kemampuan membawa bakteri simbiosis, persistensi di alam, stabilitas dalam penyimpanan dan transportasi, sensitivitasnya terhadap senyawa atraktan yang dilepaskan oleh inang, peningkatan efisiensi produksi, meningkatkan toleransi juvenil terhadap sinar ultraviolet, kemampuan mencari inang baru, meningkatkan patogenisitas, memperluas kisaran inang, dan adaptasi terhadap suhu tinggi (Gaugler 1987, Otsuka 1986). Upaya pemanfaatan bakteri simbiosis *Xenorhabdus* spp. tanpa menyertakan nematodanya juga pernah dilakukan oleh beberapa pabrikan pestisida. Tetapi hasilnya kurang memuaskan karena bakteri simbiosis tidak memiliki kemampuan untuk menginfeksi serangga inang, dan cenderung sulit beradaptasi dengan lingkungan di luar tubuh serangga.

BIOTEKNOLOGI PATOGEN SERANGGA DAN ISU LINGKUNGAN

Apabila dikaitkan dengan ilmu-ilmu lingkungan, Pullin (1996) menyatakan bahwa pembentukan organisme transgenik hasil rekayasa genetik tidak hanya sekedar penerapan teori ekonomi, tetapi lebih banyak menyangkut komitmen hubungan antara manusia dengan lingkungan. Bagaimana seharusnya manusia berdampingan secara harmonis dengan lingkungan tanpa banyak menimbulkan perubahan-perubahan pada lingkungan? Sebaliknya Dobson (1996) mempertanyakan bahwa perlukah lingkungan dilindungi hanya atas dasar pertim-

bangun nilai-nilai etika semata, atau karena lingkungan merupakan sumber daya kehidupan bagi manusia? Jameton (1996) mengamati bahwa telah terjadi konflik antara kepentingan manusia dan respek terhadap lingkungan yang akhir-akhir ini menjadi isu utama dalam pengembangan dan penyebaran organisme transgenik. Oleh karena itu, menyikapi perkembangan bioteknologi perlu dilakukan secara cermat serta tetap mempertimbangkan sisi positif dan negatifnya secara adil.

Sebagaimana diketahui bahwa sebagian besar pertanian modern memberikan pengaruh negatif terhadap lingkungan disebabkan banyak menggunakan input-input berbahan kimia dalam mengoptimalkan sumber daya alam, seperti: meningkatkan kesuburan tanah dengan pupuk-pupuk kimia, mengkondisikan benih atau varietas dengan perlakuan kimia agar sesuai dengan kondisi tertentu, dan penggunaan pestisida untuk pengendalian serangga hama, patogen penyakit, maupun gulma (Carson 1963, Mellanby 1967, Harvey 1998). Mengaplikasikan sejumlah besar bahan-bahan kimia ke alam secara terus-menerus juga dapat disebut sebagai suatu upaya menguras habis potensi alam. Sebab, bahan-bahan kimia sangat potensial mengubah tatanan ekosistem alami, terutama keanekaragaman hayati dan menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Bioteknologi tampaknya memiliki peluang untuk meminimalkan dampak tersebut, terutama yang berkaitan dengan pengaruh langsung bahan kimia terhadap kesehatan para pelaku pertanian.

Ketahanan terhadap hama dan penyakit yang merupakan sasaran berikutnya teknologi transgenik telah memperoleh banyak protes sehubungan dengan kemungkinan dampak negatif yang akan terjadi pada lingkungan. Borja *et al.* (1999) dan Rubio *et al.* (1999) menyatakan bahwa virus hasil rekayasa genetik kemungkinan akan mengalami evolusi dan menjadi lebih berbahaya bagi lingkungan, sedangkan tanaman transgenik penghasil toksin (misalnya Bt) berpotensi membahayakan serangga-serangga bukan sasaran (Concar 1999). Kurang lebih ada tiga pertanyaan sehubungan dengan komersialisasi organisme transgenik Bt, yaitu (1) amankah produk-produk transgenik dikonsumsi, (2) mungkinkah terjadi perkawinan silang antara tanaman transgenik dengan tanaman non transgenik atau tanaman liar lainnya, seperti gulma, sehingga menjadikannya "super gulma"?, dan (3) adakah solusi untuk menghindari resistensi hama terhadap tanaman transgenik dalam kasus tanaman transgenik Bt. Berkaitan dengan masalah-masalah tersebut, maka bioetika dalam penerapan bioteknologi, khususnya dibidang pertanian sangatlah penting. Meskipun hingga saat ini belum banyak bukti yang menunjukkan bahwa penggunaan produk bioteknologi mulai memperlihatkan dampak negatifnya, tetapi antisipasi sangat diperlukan terutama dengan cara memahami dan menerapkani etika-etika dalam pemanfaatan sumber daya biologi. Apabila hal tersebut dilakukan, kemungkinan dampak negatif penggunaan produk hasil rekayasa dapat diminimalisir.

BIOETIKA PEMANFAATAN PATOGEN SERANGGA DALAM PENGENDALIAN HAMA

Memanfaatkan produk-produk hasil rekayasa genetik seharusnya tetap mempertimbangkan kelestarian lingkungan. Dengan kata lain etika dalam penerapan bioteknologi harus tetap dijaga untuk kelangsungan pertumbuhan dan perkembangan sumber daya alam. Dengan mempertimbangkan kesehatan dan lingkungan, baculovirus hasil rekayasa genetik (rekombinan) hendaknya memiliki kisaran inang serangga hama tertentu, dan baculovirus rekombinan yang terbukti mengganggu kehidupan serangga berguna meskipun nilai komer-

sialnya tinggi, sebaiknya tidak diaplikasikan ke lapang. Sejauh mana suatu baculovirus rekombinan bermanfaat sebagai biokontrol dan tidak membahayakan serangga lain bukan sasaran juga harus didasarkan atas hasil-hasil evaluasi yang dilakukan secara akurat dan berkala.

Isu sensitif lainnya dari penggunaan baculovirus rekombinan adalah bahwa baculovirus hasil rekayasa genetik diduga berpotensi mengganggu perkembangan epizootik baculovirus alami (non rekombinan). Oleh karena itu, sebaiknya baculovirus rekombinan tidak persisten di alam, sehingga kecil kemungkinan akan mengkontaminasi baculovirus alami. Melalui teknik transgenik dapat dihasilkan baculovirus rekombinan yang kemampuan hidupnya di dalam tanah lebih singkat dibandingkan dengan baculovirus alami. Salah satu contoh hasil penelitian yang dilakukan NERC *Institute of Virology* di Amerika Serikat terhadap baculovirus. Dalam penelitian tersebut, marka genetik yang dimasukkan ke dalam baculovirus ternyata menyebabkan baculovirus rekombinan sangat persisten di alam, tetapi karena persistensi tersebut tidak diinginkan, kemudian dilakukan perubahan untuk mengurangi persistensi tanpa menurunkan patogenisitas (Bishop 1988).

Etika dalam pemanfaatan organisme transgenik sangat penting, termasuk setiap upaya yang dilakukan untuk mencegah timbulnya dampak-dampak negatif dalam pemanfaatan organisme transgenik. Isu kemungkinan akan terjadi resistensi hama pada penggunaan tanaman transgenik Bt, khususnya tanaman kapas, sudah sering diperdebatkan sejak tanaman transgenik ini mulai direkomendasikan.

Seiring dengan makin gencarnya pro-kontra tentang kapas Bt, para ahli di sejumlah negara juga mulai melakukan upaya antisipasi terhadap kemungkinan terjadinya resistensi hama. Beberapa upaya antisipasi tersebut antara lain: pertama, menggunakan bahan-bahan kimia atau insektisida biorasional, seperti: feromon seks dari serangga atau bahan kimia pengatur pertumbuhan serangga yang dikombinasikan atau dirotasikan dengan tanaman transgenik yang toleran terhadap serangga hama. Strategi ini dapat mengurangi ekspos hama bukan sasaran terhadap tanaman transgenik sehingga menghambat terjadinya resistensi (Smith 1989). Strategi kedua, mengurangi terjadinya resistensi hama dapat dilakukan dengan mencampur benih tanaman Bt dengan tanaman non Bt (Gould 1986, 1998, Smith 1989), di mana tanaman non Bt berperan sebagai tanaman inang pelindung (*refuge*) bagi serangga-serangga peka sehingga memperlambat terjadinya resistensi hama terhadap Bt. Vacher *et al.* (2005) menyatakan bahwa penanaman jagung non Bt sebagai pendamping jagung Bt sangat efektif dan efisien untuk memantau perkembangan resistensi hama penggerek batang jagung, *Ostrinia nubilalis*, terhadap Bt. Hasil penelitian yang sama sebelumnya juga menunjukkan bahwa tanaman pendamping non Bt sangat diperlukan untuk memperlambat perkembangan resistensi hama terhadap Bt (Gould 2000, Gould 2003, Shelton *et al.* 2000, Tang *et al.* 2001).

PENUTUP

Bakteri, virus, jamur, dan nematoda termasuk patogen serangga yang berpotensi sebagai kandidat biopestisida masa depan. Melalui bioteknologi, kendala-kendala yang dihadapi dalam pemanfaatan patogen serangga dapat diatasi, misalnya daya bunuh menjadi lebih cepat dan lebih patogenik terhadap hama sasaran. Pengembangan patogen serangga secara

bioteknologi tidak lepas dari isu-isu lingkungan yang harus diperhatikan, karena berkaitan dengan bioetika dalam memanfaatkan produk-produk transgenik. Penggunaan patogen serangga hasil rekayasa genetik harus dilakukan secara bijak dan mempertimbangkan keberlanjutan ekosistem alam. Resistensi hama terhadap *B. thuringiensis* (Bt) pada tanaman transgenik dapat diperlambat dengan cara menanam bersama-sama tanaman Bt transgenik dan non transgenik sebagai *refuge*. Untuk mengurangi kontaminasi terhadap baculovirus alami yang persisten di alam, maka harus direkayasa baculovirus yang kurang persisten, namun tetap patogenik. Selain itu, memperlambat laju resistensi hama dapat dilakukan dengan menggunakan pestisida biorasional, seperti feromon seks serangga, atau zat pengatur pertumbuhan serangga yang dikombinasi atau dirotasi pada tanaman-tanaman transgenik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, D.H.L. 1988.** The release into the environment of genetically engineered viruses, vaccines, and viral pesticides. *TIBTECH* 6:S12.
- Borja, M., T. Rubio, H.B. Scholthof, and A.O. Jackson. 1999.** Restoration of wild-type virus by double recombination of tombusvirus mutants with a host transgene. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 12:53-162.
- Bonning, B.C., K. Hoover, T.F. Booth, S. Duffey, and B.D. Hammock. 1995.** Development of a recombinant baculovirus expressing a modified juvenile hormone esterase with potential for insect control. *Arch. Biochem. Physiol.* 30:177-194.
- Bonning, B.C. and B.D. Hammock. 1996.** Development of recombinant baculoviruses for insect control. *Annu. Rev. Entomol.* 41:191-210.
- Butler, D., T. Reichhardt, A. Abbot, D. Dickinson, and A. Saegusa. 1999.** Long-term effect of Gm crops serves up food for thought. *Nature (Lond.)* 398:651-653.
- Carson, R. 1963.** *Silent Spring*. Hamish Hamilton, London. p. 304.
- Concar, D. 1999.** Dispathches from the killing fields. *New Scientist*. p. 5.
- Crawley, M.J. 1999.** Bollworms, genes, and ecologist. *Nature (Lond.)* 400:501-502.
- Crissman, C.C., D.C. Cole, and E. Carpio. 1994.** Pesticide use and farm worker health in Ecuadorian potato production. *Am. J. Agr. Econ.* 76:593-597.
- Cunningham, J.C. 1988.** Baculoviruses: Their status compared to *Bacillus thuringiensis* as microbial insecticides. *Outlook Agric.* 17(1):10-15.
- Dobson, A. 1996.** Environmental ethics. *In* Thomasma, D.C. and T. Kushner (*Eds.*). *Birth to Death, Science, and Bioethics*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 348-356.
- Falcon, L.A. 1985.** Development and use of microbial insecticides. *In* Hoy, M.A. and D.C. Hezog (*Eds.*). *Biological Control in Agricultural IPM Systems*. Academic Press, New York. 229 p.
- Fuxa, J.R. 1991.** Insect control with baculoviruses. *Biotech. Adv.* 9:425-442.
- Gaugler, R. 1987.** Entomogenous nematodes and their prospects for genetic improvement. *In* Maramorosch, K. (*Ed.*). *Biotechnology in Invertebrate Pathology and Cell Culture*. Academic Press, New York., p. 457-487.
- Gould, F. 1986.** Simulation models for predicting durability of insect resistance germplasm: A deterministic diploid, two-locus model. *Environ. Entomol.* 15:1-6.
- Gould, F. 1998.** Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology* 43:701-726.

- Gould, F. 2000.** Testing Bt refuge strategies in the field. *Nat. Biotechnol.* 18:266-267.
- Gould, F. 2003.** Bt-resistance management-theory meets data. *Nat. Biotechnol.* 21:1451-1451.
- Harvey, G. 1998.** *The Killing of the Countryside*. Vinage, London. p. 218.
- Huang, J., F. Qiao, L. Zhang, and S. Rozelle. 1999.** Farm pesticides, rice production and the environment: A final Project Report Submitted to EEPSEA. Center for Chinese Agricultural Policy. Beijing, China.
- Huffaker, C.B. 1983.** Where we are and what we need to do in biological control: The entomologist's view. *In* Battenfield, S.L. (Ed). *Proceedings of the National Interdisciplinary Biological Control Conference*, Cooperative State Research Service, US. Department of Agriculture. 9 p.
- James, C. 2004.** Preview: Global status of commercialized biotech/gm crops. *ISAAA Briefs Vol. 32*. Ithaca, NY: ISAAA. 3 p.
- Jameton, A. 1996.** Human activity and environmental ethics. *In* Thomasma, D.C. and T. Kushner (Eds.). *Birth to Death, Science, and Bioethics*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 357-367.
- Kunimi, Y., J.R. Fuxa, and B.D. Hammock. 1996.** Comparison of wild type and genetically engineered nuclear polyhedrosis viruses of *Autographa californica* for mortality, virus replication, and polyhedra production in *Trichoplusia ni* larvae. *Entomol. Exp. Appl.* 81:251-257.
- Lacey, L.A. and H.K. Kaya. 2000.** *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and Evaluation of Pathogens for Control of Insects and other Invertebrate Pests*. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Laird, M., L.A. Lacey, and E.W. Davidson. 1990.** *Safety of microbial insecticides*. CRC, Boca Raton, FL.
- Maramorosch, K. 1991.** *Biotechnology for Biological Control of Pests and Vectors*. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor, Boston London. 278 p.
- McCutchen, B.F., P.V. Choudary, R. Crenshaw, D. Maddox, S.G. Kamita, N. Palekar, S. Volrath, E. Fowler, B.D. Hammock, and S. Maeda. 1991.** Development of a recombinant baculovirus expressing an insect-selective neurotoxin: Potential for pest control. *Biol Technol.* 9:848-852.
- Mellanby, K. 1967.** *Pesticides and Pollution*. William Collins Sons and Co., Glasgow. p. 219.
- Otsuka, A.J. 1986.** Possible directions for genetic analysis and modification of nematode species. *In* Samson, R.A., J.M. Vlask, and D. Peters. (Eds.). *Fundamental and Applied Aspects of Invertebrate Pathology*. Foundation Fourth Int. Colloq. Invert. Pathol., Wageningen. p. 296-302.
- Perlak, F.J., R.L. Fuchs, D.A. Dean, S.L. McPherson, and D.A. Fischhoff. 1991.** Modification of the coding sequence enhances plant expression of insect cotton protein genes. *PNAS* 88:3324-3328.
- Poinar, G.O., Jr. 1983.** *The Natural History of Nematodes*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. p. 323.
- Pullin, A. 1996.** The science of the environment. *In* Thomasma, D.C. and T. Kushner (Eds.). *Birth to Death, Science, and Bioethics*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 339-347
- Rubio, T., M. Borja, H.B. Scholthof, and A.O. Jackson. 1999.** Recombination with host transgenes and effects on virus evolution: an overview and opinion. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 12:87-92.
- Shelton, A.M., J.D. Thang, R.T. Roush, T.D. Metz, and E.D. Earle. 2000.** Field tests on managing resistance to Bt-engineered plants. *Nat. Biotechnol.* 18:339-342.
- Smith, C.M. 1989.** Use of plant resistance in insect pest management systems. *In* Smith, C.M. (Ed.). *Plant Resistance to Insects*. Wiley Interscience, New York, Chap. 10 p.

- Stewart, L.M.D., M. Hirst, M.L. Ferber, A.T. Merryweather, P.J. Cayley, and R.D. Possee. 1991.** Construction of an improved baculovirus insecticides containing an insect-specific toxin gene. *Nature (Lond.)* 352:85-88.
- Tanada, Y. and H.K. Kaya. 1993.** *Insect Pathology*. Academic Press, New York.
- Tang, J.D., H.L. Collins, T.D. Metz, E.D. Earle, J.Z. Zhao, R.T. Roush, and A.M. Shelton. 2001.** Greenhouse tests on resistance management of Bt transgenic plants using refuge strategies. *J. Econ. Entomol.* 94:240-247.
- Thomas, G.M. and G.O. Poinar. 1979.** *Xanorhabdus* gen. nov., a genus of entomopathogenic nematophilic bacteria of the family Enterobacteriaceae. *Int. J. System. Bact.* 29:352-359.
- Tiedje, J.M., R.K. Colwell, Y.L. Grossman, R.E. Hodson, R.E. Lenski, R.N. Mack, and P.J. Regal. 1989.** The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. *Ecology* 70:298-302.
- Vacher, C., D. Bourguet, M. Desquilbet, S. Lemarie, S. Ambec, and M.E. Hochberg. 2005.** Fees or refuges: Which is better for the sustainable management of insect resistance to transgenic Bt corn? *Biol. Lett.* 5 p.