

Manajemen Resistensi Serangga Hama pada Pertanaman Tanaman Transgenik Bt

Bahagiawati

Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan, Bogor

ABSTRAK

Management of Insect Pest Resistance of Transgenic Plant. Bahagiawati. Genetic engineering with Bt genes is a powerful technology for protecting crops against insect pests. Crop cultivars carrying Bt genes, however, have some weaknesses, as many other insect control technologies, i.e. insect can evolve resistance to the genes, thereby eliminating their effectiveness. Insect pests have evolved resistance to all classes of widely used insecticides, including Bt products that were applied as sprays and to numerous crop varieties produced through conventional breeding program. The insect adaptation to resistant cultivars results in substantial costs to society, such as crop failures, environmental damages, and loss of useful products. For these reasons, there is a need to develop technologies that can manage problems on the insect pest resistances. This paper presents some cases where insect pests adapted to pesticides, resistant cultivars, and Bt-sprays. In addition, the mechanism of resistance and the inheritance of resistant genes in the insects are discussed. Some research strategies and implementation programs are also proposed and discussed in this paper.

Key words: Transgenic plant, resistant management, *Bacillus thuringiensis*

Salah satu faktor pembatas dalam usaha menaikkan produksi tanaman adalah adanya serangan hama. Kerugian yang disebabkan oleh serangan hama di dunia diperkirakan 13% dari produksi total. Di Amerika Serikat diperkirakan lebih dari 10 ribu juta dolar digunakan untuk mengatasi persoalan hama (Gatehouse *et al.*, 1994). Di Indonesia, pada tahun 1976-1977 lebih dari 450.000 ha sawah yang ditanami padi diserang oleh hama wereng coklat dan kerugian yang disebabkan oleh hama tersebut mencapai 100 juta dolar (Oka dan Bahagiawati, 1982).

Hama yang menyerang suatu jenis tanaman adalah suatu kompleks hama. Misalnya tanaman padi sering didatangi oleh hama, tidak hanya wereng coklat tetapi hama lain seperti penggerek batang, ulat pemakan daun, wereng punggung putih dan hijau, aphid, dan lain sebagainya. Tanaman kapas juga mempunyai kompleks hama yang berbeda

dengan tanaman padi. Hama-hama kapas adalah pengge-rek daun, penggerek batang, peng-gerek buah, dan lain sebagainya. Demikian pula dengan jagung, kedelai, dan tanaman lain yang juga mempunyai beberapa hama utama dan hama minornya.

Teknologi yang sampai saat ini sering dipakai untuk pengendalian hama adalah pemakaian insektisida. Teknologi ini merupakan teknologi yang populer karena efeknya dapat dilihat dalam waktu tidak lama setelah aplikasi dan mudah diperoleh bila diperlukan. Namun teknologi ini relatif mahal terutama bagi petani di negara yang sedang berkembang. Di samping itu, teknologi insektisida berbahaya bagi manusia, hewan, dan spesies bukan sasaran serta lingkungan jika di-lakukan tidak sesuai dengan prosedur. Penggunaan pestisida secara tidak bijaksana dapat menimbulkan persoalan (1) hama resisten, (2) petani keracunan pestisida, (3) residu pestisida pada hasil pertanian, (4) pengrusakan pada agen pengendali hayati dan

serangga polinator, (5) polusi pada air tanah, dan (6) me-nurunkan biodiversitas serta mem-punyai pengaruh negatif pada he-wan bukan target termasuk mama-lia, burung, dan ikan (Agne *et al.*, 1995).

Teknologi lain yang dapat dipakai untuk pengendalian hama adalah pemakaian varietas tahan. Di Indonesia, varietas tahan yang telah digunakan untuk pengendalian hama wereng coklat adalah varietas unggul tahan wereng (VUTW). Namun demikian, tidak semua hama mempunyai varietas tahan dan jika ada sumber plasma nutfah yang mengandung gen tahan terhadap hama tertentu jumlahnya sangat terbatas. Misalnya pada tanaman padi, hanya gen tahan wereng coklat dan wereng hijau yang telah di-identifikasi dan dapat digunakan dalam proses perbaikan tanaman untuk tahan hama, sedangkan hama lainnya seperti penggerek batang dan hama pemakan daun, sampai saat ini belum ditemukan gen tahan yang dapat dipakai dalam proses pemuliaan. Demikian juga dengan tanaman lain seperti jagung, kapas, dan kedelai.

Dengan berkembangnya teknologi rekombinan DNA telah membuka pintu untuk merakit tanaman tahan hama dengan rekayasa genetik. Teknologi ini mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan teknologi konvensional, yaitu (1) memperluas pengadaan sumber gen resistensi karena dengan teknologi ini kita dapat menggunakan gen resisten dari berbagai sumber, tidak hanya dari tanaman dalam satu spesies tetapi juga dari tanaman yang berbeda spesies, genus atau famili, dari bakteri, fungi, dan mikroorganisme lain, (2) dapat memindahkan gen spesifik ke lokasi yang spesifik pula di tanaman, (3) dapat menelusuri stabilitas gen yang dipindahkan atau yang

diintro-duksi ke tanaman dalam setiap generasi tanaman, (4) dapat meng-introduksi beberapa gen tertentu dalam satu *event* transformasi se-hingga dapat memperpendek wak-tu perakitan tanaman *multiple resis-tant*, dan (5) perilaku dari gen yang diintro-duksi di dalam lingkungan tertentu dapat diikuti dan dipelajari, seperti kemampuan gen tersebut di dalam tanaman tertentu untuk pindah ke tanaman lain yang berbeda spesiesnya (*outcrossing*), dan dampak negatif dari gen tersebut di dalam tanaman tertentu terhadap lingkungan dan organisme bukan target (Bahagiawati, 2000a).

Tanaman transgenik Bt mengalami kemajuan komersial yang sangat nyata. Pertama dilepas secara komersial pada tahun 1996 hanya meliputi luas areal 1,1 ha. Pada tahun 1999 luas pertanamannya sudah mencapai 11,7 juta ha yang ditanam di USA, Kanada, Australia, Cina, Afrika Selatan, Spanyol, Perancis, Argentina, dan Meksiko (James, 1999).

Dari pengalaman selama lima tahun, ternyata tanaman transgenik tahan hama dapat menurunkan ketergantungan petani pada pestisida. Dengan demikian, menurunkan polusi lingkungan dan keracunan pada hewan dan manusia, misalnya petani kapas Bt di Arizona, USA. Penanaman kapas Bt pada tahun 1997 menurunkan 5,4 kali semprot untuk hama target pink bollworm dan penghematan tersebut jika diuangkan mencapai US\$ 80 per *acre* (Carriere *et al.*, 2001). Secara umum, penanaman kapas Bt secara global menurunkan pemakaian pestisida sebesar 10-15% (Roush, 1994).

Pengendalian dengan pestisida maupun varietas tahan (tradisional maupun transgenik) mengalami permasalahan, yaitu resistensi serangga hama terhadap bahan aktif baik di pestisida maupun dalam ta-

naman (Bahagiawati, 2000b; 2001a; 2001b). Resistensi adalah suatu pro-ses di mana populasi hama terse-leksi dan setelah beradaptasi, dapat hidup dan berkembang biak jika di-hadapkan pada suatu jenis pestisi-da atau tanaman tahan di mana ter-jadinya proses seleksi dan adaptasi tersebut. Untuk mengendalikan po-pulasi hama tanaman yang telah resisten terhadap pestisida maupun varietas tahan, selain sulit, juga memerlukan biaya yang besar. Resistensi hama mempunyai basis genetik, lingkungan, dan faktor ekologi yang mempengaruhi perkembangan resistensi tersebut. Resistensi ini seyogyanya dapat dikendalikan dengan manajemen resistensi yang sesuai.

Pada saat ini, lebih dari 40 tanaman transgenik telah dilepas secara komersial di dunia. Jumlah ini akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang (Whalon dan Norris, 1999). Pengalaman membuktikan bahwa hama serangga dapat beradaptasi dengan faktor resisten, sehingga perhatian akan perkembangan serangga menjadi resisten dan cara untuk mengontrol resistensi tersebut harus diperhatikan secara serius. Masalah yang disebabkan oleh daya adaptasi serangga terhadap pestisida dan varietas tahan, baik yang dibuat secara konvensional maupun dengan rekayasa genetika dapat menyebabkan biaya yang tinggi. Biaya ini dapat berupa hilangnya kepercayaan masyarakat petani pada pemerintah/perusahaan penghasil benih dan lembaga terkait lainnya dan dapat menyebabkan masa pakai/jual yang pendek terhadap produk yang dihasilkan.

MASALAH RESISTENSI

Resistensi terhadap Pestisida

Introduksi pestisida sintetik pada sistem pertanaman dapat mene-

kan perkembangan hama sekaligus menyeleksi hama resisten terhadap pestisida tersebut. Kasus pertama yang melaporkan adanya resistensi terhadap herbisida adalah pada tahun 1960. Pada tahun 1990 telah dilaporkan 84 kasus resistensi gulma terhadap herbisida pada gulma-gulma di pertanaman gandum di Australia (Green *et al.*, 1990). Di samping resistensi terhadap herbisi-da, pada tahun 1960-an juga telah dilaporkan resistensi penyakit ta-naman (cendawan atau fungi) terhadap fungsida. Setelah 20 tahun digunakan, lebih dari 100 spesies fungi berkembang menjadi resisten terhadap sedikitnya satu jenis fungi-sida. Pada serangga hama, setelah 40-50 tahun pemakaian pestisida, 530 spesies serangga berkembang menjadi resisten (Georghiou dan Laguna-Tejeda, 1991).

Kasus hama berkembang menjadi resisten juga telah terjadi di Indonesia. Sebagai contoh adalah hama wereng hijau yang menyerang tanaman padi telah resisten 10-20 kali terhadap insektisida yang banyak beredar di Indonesia. Untuk mengatasi hal ini, pemerintah Indonesia mengeluarkan keputusan pada tahun 1986, yaitu Keputusan Presiden No. 3 tahun 1986, yang melarang pemakaian 87 jenis pestisida untuk hama tanaman padi (Oka, 1989) dan menerapkan program pengendalian hama terpadu (PHT) tanaman padi secara luas di Indonesia.

Resistensi terhadap Varietas Tahan (Biotipe)

Tanaman yang semula tahan terhadap suatu jenis serangga dapat menjadi peka terhadap serangga jenis yang sama. Painter (1951) melaporkan bahwa kasus resistensi hama terhadap varietas tahan telah terjadi pada hama anggur *Phylloxera*, hama penggerek jagung, Hessian fly, pea

aphid, greenbug, dan aphid pengisap daun jagung. Pada tahun 1970-an, biotipe serangga telah dilaporkan pada delapan spesies tanaman pertanian (Panda dan Khush, 1995) (Tabel 1).

Di Indonesia, kasus hama menjadi resisten terhadap varietas tahan pertama dilaporkan terjadi pada tanaman padi. Serangan hama wereng coklat pada padi mulai meluas pada awal tahun 1970-an. Untuk mengendalikan hama wereng ini, diintroduksi varietas padi tahan wereng (VUTW-1), misalnya varietas padi IR26. Namun setelah 4-5 musim tanam (12-15 generasi wereng) IR26 tidak tahan lagi terhadap wereng coklat karena populasi wereng coklat telah beradaptasi yang kemudian dikenal dengan populasi wereng coklat biotipe 2. Untuk mengatasi wereng coklat biotipe 2, dilepas VUTW2 di antaranya IR36 dan IR42 pada tahun 1978/79. Pada tahun 1981/82 terjadi lagi ledakan serangan wereng coklat di mana IR42 menjadi peka terhadap populasi wereng coklat yang disebut dengan biotipe SU (sejenis biotipe 3) (Oka dan Bahagiawati, 1984).

Resistensi terhadap Bt-endotoksin

Keuntungan pemakaian Bt jika dibandingkan dengan pestisida adalah Bt bersifat toksin terhadap hama dari spesies tertentu sehingga kecil kemungkinannya membunuh serangga dan hewan bukan sasaran. Namun demikian, setelah pemakaian pestisida mikrobial ini se-lama bertahun-tahun telah ada indikasi bahwa hama menjadi resisten terhadap Bt baik di laboratorium maupun di lapang (Bahagiawati 2001a; 2000b).

Kasus resistensi hama terhadap Bt-toxin dilaporkan pertama kali pada tahun 1985. Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan di laboratorium. McGaughey (1985) melaporkan kasus resistensi hama

Indian mealmoth (*Plodia interpunctella*) yang resisten terhadap Dipel (Abbot Laboratory), Bt komersial yang mengandung *Bacillus thuringiensis* subspecies (subsp) kurstaki HD-1. Koloni dari *P. interpunctella* ini diperbanyak pada makanan buatan yang mengandung Dipel pada dosis yang menghasilkan mortalitas larva sebesar 70-90%. Dalam waktu dua generasi, resistensi meningkat menjadi 30 kali dan setelah 15 generasi, resistensi mencapai plateau di mana terjadi 100 kali peningkatan resistensi dibandingkan dengan kontrol. Resistensi hama lain terhadap Bt juga telah dilaporkan misalnya pada almond moth (*Cadra cautella*) (McGaughey dan Beeman, 1988) dan *Heliothis virescens*

(Stone *et al.*, 1989). Kasus hama resisten terhadap Bt *microbial spray* tidak hanya dilaporkan terjadi di laboratorium, tetapi juga di lapang. Tabashnik (1994) melaporkan bahwa hama *Plutella xylostella* telah resisten terhadap cry 1A di lapang di Philipina, Hawaii, Florida, dan negara Asia lain. Secara umum, Tabel 2 menunjukkan kasus resistensi hama tanaman terhadap Bt *microbial spray*. Di Indonesia, telah diketahui bahwa di beberapa daerah sentra kubis terdapat hama *P. xylostella* yang resisten terhadap Bt *spray* (Sudarwohadi 2001, komunikasi pribadi).

Analisis genetik dari gen yang mengatur resistensi serangga hama terhadap Bt-toxin juga telah dipela-

Tabel 1. Biotipe hama yang telah dilaporkan terjadi di laboratorium dan lapang

Tanaman	Serangga Hama	Biotipe
Gandum	Hessian fly	9 (lapang) 2 (laboratorium)
	Greenbug	7
Raspberry	Aphid	4
	Pea aphid	4
Alfalfa	Spotted alfalfa aphid	6
	Greenbug	5
Sorgum	Greenbug	5
Jagung	Corn leaf aphid	5
Padi	Brown planthopper	4
	Green leafhopper	3
Apel	Rice gallmidge	4
	Woolly aphid	3

Sumber: Panda dan Khush (1995)

Tabel 2. Spesies serangga resisten terhadap *Bacillus thuringiensis* (Bt) δ -endotoksin dalam bentuk *microbial spray*

Serangga	lapang	laboratorium
Coleoptera		
Colorado potato beetle (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	Tidak	Ya
Cottonwood beetle (<i>Chrysomela scripta</i>)	Tidak	Ya
Lepidoptera		
Indianmeal moth (<i>Plodia interpunctella</i>)	Ya	Ya
Diamond back moth (<i>Plutella xylostella</i>)	Ya	Ya
Tobacco budworm (<i>Heliothis virescens</i>)	Tidak	Ya
Beet armyworm (<i>Spodoptera exigua</i>)	Tidak	Ya
Cabbage looper (<i>Trichoplusia littoralis</i>)	Tidak	Ya
European cornborer (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	Tidak	Ya
Diptera		
Egyptian mosquito (<i>Aedes aegypti</i>)	Tidak	Ya
Domestic mosquito (<i>Culex quinquefasciatus</i>)	Tidak	Ya
Drosophila	Tidak	Ya

Sumber: Whalon dan Norris (1999)

jari. *Inheritance* dari resistensi *P. interpunctella* adalah autosomal dan bersifat resesif atau *partially resesif*, sedangkan pada *H. virescens* yang resisten terhadap subsp kurstaki HD-1 adalah autosomal dan *incompletely dominant* dan dikontrol oleh beberapa faktor (Huang *et al.*, 1999).

Resistensi hama terhadap Bt-toksin dapat terjadi pada dua fase, yaitu proses aktivasi protoksin menjadi toksin dan proses melekatnya (*binding*) Bt-toksin yang aktif di sel reseptor di epitelial pada dinding usus serangga. Hasil penelitian Johnson *et al.* (1990) pada hama *P. interpunctella* menunjukkan bahwa mekanisme kedua berperan di sini. Mereka menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara aktivitas di usus serangga pada proses aktivitas proteolisis yang mengubah protoksin menjadi toksin di usus serangga antara serangga peka dan tahan Bt. Hal ini juga dikemukakan oleh Van Rie *et al.* (1990) yang memperlihatkan bahwa resistensi *P. interpunctella* terhadap cry IAb berkorelasi dengan 50 kali reduksi dari afinitas toksin di reseptor pada sel-sel di epitelial dinding usus serangga ini.

Berkurangnya afinitas Bt-toksin pada reseptor di epitelial sel juga dilaporkan menjadi penyebab resistensi *P. xylostella*, *H. virescens*, dan *Spodoptera exigua*. Tetapi tidak semua kasus di mana terjadi reduksi afinitas Bt-toksin dan reseptor mengakibatkan terjadinya resistensi hama terhadap Bt-toksin (Oppert *et al.*, 1997).

Forcada *et al.* (1996) menunjukkan bahwa mekanisme resistensi serangga *H. virescens* terhadap Bt-toksin bukan karena perubahan afinitas Bt-toksin dan reseptor di epitelial sel di usus tengah serangga. Resistensi terjadi karena pada strain *H. virescens* yang resisten dijumpai enzim

proteinase yang memproses protoxin lebih lama untuk menjadi toksin dan setelah toksin terbentuk terjadi proses degradasi toksin lebih cepat daripada proses yang terjadi di usus tengah serangga yang masih peka Bt-toksin yang bersangkutan.

Oppert *et al.* (1997) menemukan bahwa resistensi *P. interpunctella* terhadap Bt-toksin disebabkan karena kurangnya aktivitas proteinase yang dapat mengaktifkan Bt-protoksin menjadi Bt-toksin. Di samping itu, Pang dan Gringorten (1998) menunjukkan bahwa degradasi Bt-toksin menyebabkan hama *Choristoneura fumiferana* resisten terhadap Bt ini.

STRATEGI MANAJEMEN RESISTENSI UNTUK TANAMAN TRANSGENIK TAHAN HAMA

Untuk menghindari terjadinya hama resisten terhadap Bt-toksin, beberapa strategi telah disarankan oleh beberapa peneliti untuk menghindari adaptasi serangga terhadap Bt-toksin (Roush, 1994; Whalon dan Norris, 1999). Secara garis besar, strategi tersebut terbagi atas:

Strategi Dosis Tinggi (Refugia)

Salah satu strategi adalah menanam tanaman transgenik yang mengekspresikan δ -endotoksin yang tinggi dan menyediakan plot refugia, yaitu plot tanaman nonBt yang peka pada area pertanaman tanaman transgenik Bt. Konsep ini dimulai dengan diketahuinya gen resistensi hama terhadap Bt-toksin bersifat resesif (*resistant* homozigot = aa). Dengan adanya tanaman transgenik Bt maka serangga heterozigot (Aa dan aA) serta yang *dominant susceptible* homozigot (AA) dapat dibunuh/dihambat pertumbuhannya (Gould *et al.*, 1995). Plot refugia digunakan agar tidak semua serangga dengan heterozigot

dan *susceptible* homozigot mati. Serangga-serangga ini diperlukan agar dapat kawin dengan serangga aa sehingga serangga heterozigot tetap dominan di lapang dengan kata lain memperlambat terjadinya dominansi aa yang nantinya akan membentuk strain serangga baru yang tahan Bt. Model simulasi yang menduga sampai berapa lama suatu tanaman transgenik Bt dapat bertahan di lapang juga telah dilaporkan (Roush, 1997). Strategi refugia ini merupakan strategi utama yang dipakai di USA di mana petani diharuskan menanam plot tanaman nonBt pada areal pertanaman tanaman Bt baik pada kapas ataupun jagung. Plot tanaman nonBt ini harus dekat dengan pertanaman Bt, yaitu berjarak maksimal 800 m (Carriere *et al.*, 2001; Cohen *et al.*, 2000). Jarak tanam antara plot Bt dan nonBt berdasarkan hasil penelitian kemampuan dispersal serangga target.

Strategi ini juga mengharuskan menanam tanaman transgenik Bt yang mengekspresikan protein Bt dalam jumlah yang tinggi. Menurut McLean dan MacKenzie (2001), tanaman transgenik Bt harus mengekspresikan protein Bt 25 kali lebih tinggi daripada dosis yang menyebabkan kematian 99,9% populasi hama target pada uji bioasai di laboratorium. Menurut Cohen *et al.* (2000) jumlah ini harus mencapai 2 $\mu\text{g/g}$ daun basah atau 0,2% dari total *soluble protein* (Cohen *et al.*, 2000). Jumlah tersebut sangat sulit dicapai sehingga perlu dipertimbangkan strategi lain terutama untuk manajemen resistensi dalam jangka panjang.

Penanaman Varietas Tahan yang Mempunyai Multipel Gen Resisten

Keefektifan dan kelanggengan dari tanaman transgenik sangat le-

lebih baik jika tanaman tersebut dirakit dengan multigen dan/atau multi-mekanisme resistennya. Tidak hanya itu, tetapi dengan mengkombinasikan beberapa gen tahan (*pyramiding*) dalam satu tanaman maka total daya bunuh atau toksisitas dapat ditingkatkan karena ada efek *additive* dan/atau sinergistik (Bahagiawati *et al.*, 1999; 2000). Tanaman transgenik Bt dapat dilakukan dengan merakit tanaman transgenik Bt yang mempunyai gen *cry* yang berbeda target reseptor (Hofte dan Whiteley, 1989). Hal lain yang dapat dilakukan adalah merakit tanaman transgenik yang mempunyai gen Bt dan gen yang memproduksi insekti-sidal lain yang mempunyai mekanisme kerja berbeda dengan Bt. McIntosh *et al.* (1990) memperlihatkan terjadinya sinergistik antara Bt-toxin dan serine proteinase inhibitor dalam menghambat pertumbuhan serangga. Penelitian tentang pengaruh *multiple-Bt* terhadap perkembangan hama juga telah dilakukan, dan dari penelitian tersebut diketahui bahwa penyatuan *cry* 1Ab dan *cry* 1Ac atau *cry* 2A sangat baik bagi pengendalian hama penggerek batang padi. Kombinasi antara *cry* 1Ab dan *cry* 1Ac tidak baik bila disatukan untuk hama penggerek tersebut (Cohen *et al.*, 2000).

Penanaman Tanaman Transgenik yang Mengekspresikan Insektisidal Protein dalam Tingkatan Sedang/Moderat sehingga Tidak Semua Serangga yang Peka Mati

Secara teori, strategi ini dapat memperlambat proses adaptasi serangga terhadap tanaman resisten (Roush, 1997). Khusus untuk strategi ini sangat perlu dilakukan komponen PHT lain seperti pemantauan, pemanfaatan musuh alami, dan pemakaian pestisida bilamana diperlukan.

Penanaman Beberapa Tanaman Transgenik yang Berbeda Gen Tahannya Baik secara Sekuensial (Beruntun) maupun Campuran (Mixture)

Hal seperti ini telah umum dilakukan di Indonesia untuk pengendalian penyakit tungro dan hama wereng coklat yang memakai varietas tahan yang dirakit dengan cara konvensional. Cara ini dikenal dengan rotasi tanaman.

Contoh program manajemen resistensi tanaman transgenik tahan hama adalah program komprehensif manajemen resistensi tanaman kentang *newleaf* yang diproduksi oleh Monsanto dan NatureMark. Tanaman ini adalah tanaman kentang transgenik pertama dilepas yang mengandung gen *cry* 3A yang tahan terhadap Colorado potato beetle. Pada umumnya, program ini merupakan program PHT yang salah satu komponennya adalah tanaman transgenik tahan hama. Komponen yang disarankan adalah penanaman plot refugia, pemantauan keberadaan hama, pengendalian kultural dan fisikal, pengendalian hayati, dan penggunaan pestisida yang selektif (Fieldman dan Stone, 1997). Manajemen resistensi lain yang dapat digunakan sebagai contoh adalah manajemen resistensi pada kapas-Bt di Arizona, USA (Carriere *et al.*, 2001).

PROGRAM IMPLEMENTASI MANAJEMEN RESISTENSI

Strategi untuk program dosis tinggi/refugia telah diimplementasikan pada tanaman transgenik seperti kapas, jagung, dan kentang di USA, jagung di Kanada, dan kapas di Australia.

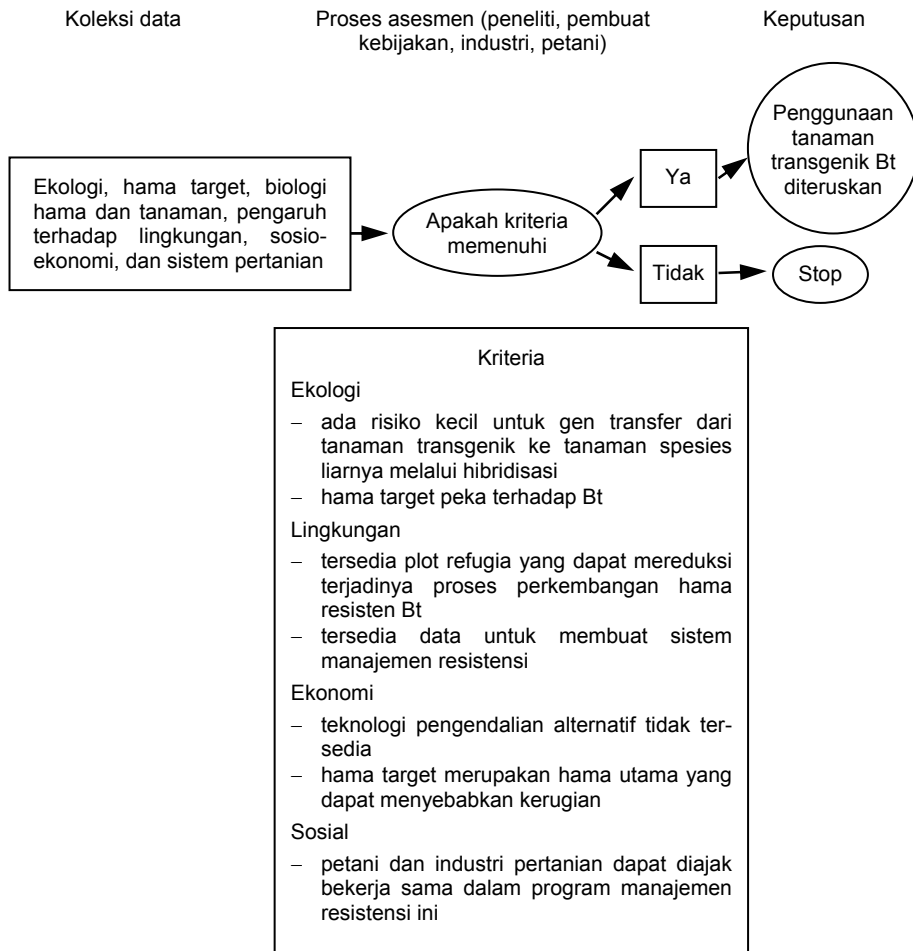
Khusus untuk program dosis tinggi/refugia, untuk mengimplementasikan strategi ini

memerlukan perangkat peraturan yang jelas. Strategi ini tidak dapat digeneralisasikan, melainkan spesifik untuk kasus per kasus, daerah per daerah, dan negara per negara. Untuk menentukan strategi dosis tinggi/refugia ini memerlukan data baik ekologi lokal, lingkungan, kondisi pertanian, biologi hama target, dan interaksi hama inang (Gambar 1).

Petani yang menanam tanaman transgenik Bt di USA harus menanam 4-20% dari luas total areal pertanamannya dengan tanaman nonBt dan plot tanaman nonBt ini harus berjarak lebih kurang 800 m dari plot Bt. Untuk ini, ada peraturan yang jelas, dikeluarkan oleh USDA melalui EPA. Pengaturan manajemen resistensi di USA dan negara maju lain dapat diatur melalui sistem lisensi dan pelabelan (Whalon dan Norris, 1999; McLean dan MacKenzie, 2001).

Secara umum, prinsip manajemen resistensi adalah sebagai berikut:

1. Program yang spesifik untuk manajemen resistensi harus ditetapkan untuk jangka panjang: dosis tinggi, struktur refugia, biologi dan ekologi hama target, dampak pada hama sekunder, mekanisme resistensi, pemantauan, dan tindakan remedial.
2. Strategi dosis tinggi/refugia penting untuk memperpanjang masa pakai tanaman transgenik (tanaman transgenik mengekspresikan δ -endotoksin 25 kali lebih besar daripada dosis yang diperlukan untuk membunuh 99,9% hama target pada uji bioasai di laboratorium atau 2 $\mu\text{g/g}$ daun basah atau 0,2% dari total protein yang terlarut).
3. Petani perlu dididik dan dilatih agar mengerti manfaat program ini dan tahu cara melakukannya.



Gambar 1. Proses asesmen untuk memutuskan apakah suatu tanaman transgenik Bt dapat digunakan oleh publik

4. Tanaman transgenik harus merupakan salah satu komponen dalam PHT.
5. Program pemantauan dan tindakan remedi (penanggulangan) perlu diadakan dan dilaksanakan. Siapa yang bertanggung jawab melaksanakan pemantauan dan kegiatan remedi perlu ditetapkan.
6. Penelitian tentang manajemen resistensi perlu terus dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan dari program tersebut.

Di USA, dalam peraturan EPA ditetapkan bahwa perusahaan yang meminta izin pelepasan tanaman transgenik harus menyertakan strategi manajemen resistensi dari benih yang akan dilepas. Kemudian ji-

ka izin telah diperoleh, maka dalam pendistribusian benih (penjualan benih) juga disertakan peraturan bagi penjual benih dan petani melalui sistem lisensi. Di sini, penjual benih atau petani akan berjanji untuk menyertakan label pada benih tersebut, di mana pada label ini dituliskan peraturan strategi manajemen resistensi yang dianjurkan. Penalti (denda) juga dikenakan bagi petani atau distributor benih yang tidak mengindahkan peraturan ini.

Biaya yang harus dikeluarkan untuk mengimplementasikan strategi ini sangat besar karena tidak hanya memerlukan rencana rinci mengenai program manajemen resistensi, tetapi juga program pe-

mantauan dan penanggulangan. Oleh karena itu, harus terdapat sistem organisasi terkait yang sangat kuat. Petani juga perlu dididik agar mengerti manfaat program ini dan cara mengimplementasikannya. Pelaporan tentang distribusi benih juga harus dilaksanakan (dan jika mungkin dipetakan) sehingga pola penyebaran tanaman transgenik di lapang dapat dipantau dan diatur. Program pemantauan juga perlu diadakan, siapa yang bertanggung jawab memantau perkembangan resistensi hama? Di sini diperlukan program pemantauan yang sederhana atau perusahaan perbenihan dapat melakukan pekerjaan ini. Kemudian timbul pertanyaan siapakah yang bertanggung jawab dalam program penanggulangannya?

Di Arizona terdapat asosiasi kapas Bt (*Bt cotton working group*) yang terdiri dari ilmuwan-ilmuwan USDA (*US Department of Agriculture*), *Arizona Department of Agriculture*, *Arizona Cotton Research and Protection Council (ACRPC)*, dan perwakilan petani kapas serta Perusahaan Monsanto. Kelompok kerja ini sangat menentukan dalam menetapkan peraturan mengenai manajemen resistensi kapas Bt di Arizona. ACRPC secara periodik mengingatkan petani kapas melalui surat kabarnya untuk memantau resistensi hama target terhadap kapas Bt. Petani dapat memberitahukan ACRPC jika ada indikasi hama berkembang menjadi resisten. ACRPC akan datang untuk mengambil sampel. Contoh program kapas Bt di Arizona (Carriere *et al.*, 2001), yaitu

1. Pemantauan resistensi hama target. Cara menentukan apakah suatu hama telah menjadi resisten, yaitu lebih dari 3% dari 2000 buah kapas terserang hama target. Terserang di sini dapat ditentukan apabila ada larva atau serangga dewasa pada buah ka-

pas atau ditemukan lubang keluar serangga dewasa pada buah kapas tersebut. Hal ini harus diikuti dengan uji ELISA di mana pada buah kapas ditemukan serangga. ELISA harus menunjukkan respon positif pada 25 buah kapas pada tanaman di mana ditemukan serangga target tersebut. Dalam hal ini petani dapat memberitahu ACRPC dan ACRPC ini yang melakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui apakah hama target yang dikirim itu telah menjadi resisten Bt.

2. Tindakan penanggulangan biasanya segera dilakukan, yaitu dengan menyemprot pestisida atau eradikasi tanaman yang ter-serang, atau panen yang dipercepat.
3. Penanaman kapas nonBt untuk musim tanam berikutnya akan ditingkatkan.
4. Areal pertanaman di sekitar juga harus dipantau.

Implementasi seperti ini untuk petani di Asia amat sulit mengingat luas pemilikan tanah di Asia umumnya kecil tidak seperti di negara maju. Sepertinya di negara yang berkembang tidak semua areal per-tanaman akan ditanami tanaman Bt. Dalam hal ini faktor pemerintah sangat berperan, yaitu harus tetap menyediakan varietas populer nonBt dan mengatur pendistribusi-an tanaman transgenik Bt. Karena sangat penting untuk mengadakan plot tanaman nonBt maka implementasi ini dapat diatur melalui usaha agribisnis yang biasanya mempunyai areal tanam yang luas, atau melalui kelompok tani. Peranan penyuluh pertanian juga tidak dapat dikesampingkan untuk menolong petani mengetahui manfaat program manajemen resistensi ini dan memantau program manajemen resistensi yang diadakan oleh

pemerintah atau instansi yang berwenang.

KESIMPULAN

1. Tanaman transgenik Bt merupakan teknologi alternatif pengendalian hama tanaman yang mendapat perhatian besar pada saat ini.
2. Teknologi pengendalian hama lainnya seperti pengendalian dengan insektisida termasuk dengan biopestisida Bt dan menggunakan varietas resisten hama mempunyai keterbatasan, yaitu hama dapat menjadi resisten.
3. Teknologi varietas tahan yang di-buat dengan rekayasa genetika mempunyai kelemahan, yaitu diperkirakan adanya potensi hama untuk menjadi resisten sehingga keberadaan tanaman transgenik Bt tidak dapat bertahan lama.
4. Mekanisme resistensi telah dipe-lajari, demikian juga pewarisan gen resistennya.
5. Berdasarkan pengetahuan yang diperoleh maka telah diajukan suatu sistem yang merupakan beberapa strategi untuk mengurangi perkembangan hama menjadi resisten tanaman transgenik Bt.
6. Untuk mengimplementasikan strategi ini diperlukan suatu program dan jaringan kerja yang erat antardisiplin ilmu dan antar-instansi. Di samping itu, diperlukan suatu perangkat peraturan dengan sistem pengawasannya dan suatu jaminan bahwa akan dilakukan *law inforcement*. Program ini tentu akan berbeda antara program di negara yang telah maju dan negara berkembang termasuk Indonesia.

PUSTAKA

Agne, S., H. Waibel, and F. Fleischer. 1995. Guidelines for pesticide policy

studies: A framework for analyzing economic and political factors of pesticide use in developing countries. Publication Series 1. Hannover: Pesticide Policy Project.

Bahagiawati. 2000a. Peranan dan potensi dietary insecticidal protein dalam rekayasa genetika tanaman tahan hama. Buletin Agrobio 3(2): 74-79.

Bahagiawati. 2000b. Adaptasi serangga hama terhadap *Bacillus thuringiensis* toksin dan proteinase inhibitor. Makalah disajikan pada Kongres Nasional dan Seminar II Bioteknologi Pertanian. Yogyakarta, 7 November 2000.

Bahagiawati. 2001a. Application of molecular tools to detect the development of insect population resistance to resistant plants and pesticides. A paper presented at Workshop on Molecular Marker Techniques for Study of Insect Population. Bogor, January 17-19th, 2001. Organized by Center for Integrated Pest Management, Department of Plant Pests and Diseases, Faculty of Agriculture Bogor, Agricultural University and Scottish Agriculture College, University of Edinburgh-United Kingdom.

Bahagiawati. 2001b. Penggunaan *Bacillus thuringiensis* sebagai bioinsektisida. Makalah disajikan pada Simposium Pengendalian Hayati Serangga. Sukamandi, 14-15 Maret 2001.

Bahagiawati, R.E. Shade, H. Koiwa, K. Zhu-Salzman, P.M. Hasegawa, R.A. Bressan, and L.L. Murdock. 1999. Soyacystatin inhibits proteolysis of α -amylase inhibitor and potentiates toxicity against cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus*. A poster presented at the 1999 Rockefeller Meeting on the International Program on Rice Biotechnology. Phuket, Thailand, September 20-24, 1999.

Bahagiawati, R.E. Shade, H. Koiwa, P.M. Hasegawa, R.A. Bressan, and L.L. Murdock. 2000. Soyacystatin and pepstatin synergize the antimetabolic effect of Kunitz inhibitor on growth of cowpea bruchid, *Callosobruchus maculatus*. A poster presented at International Plant

- Resistance to Insect-14th Biennial Workshop. Fort Collins, Colorado, February 28-March 2, 2000.
- Carriere, Y., T.J. Dennehy, B. Pedersen, S. Haller, C. Ellers-Kirk, L. Antilla, Y. Liu, E. Willots, and B.E. Tabashnik. 2001.** Large scale management of insect resistance to transgenic cotton in Arizona: Can transgenic insecticidal crops be sustained? *Journal Econ. Entomol.* 94(20):315-325.
- Cohen, M.B., F. Gould, and J.S. Bentur. 2000.** Bt rice: Practical steps to sustainable use. *IRRN* 25(2):1-10.
- Fieldman, J. and T. Stone. 1997.** The development of a comprehensive resistance management plan for potatoes expressing the *cry* 3A endotoxin. In Carozzi, N. and M. Koziel (Eds.). *Advance in Insect Control: The Role of Transgenic Plants.* Taylor and Francis. p. 49-61.
- Forcada, C.E. Alcacer, M.D. Garcera, and R. Martinez. 1996.** Differences in the midgut proteolytic activity of two *Heliothis virescens* strains, one is susceptible and one resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 3:257-272.
- Gatehouse, A.M.R., W.D.O. Hamilton, C.A. Newell, A. Merryweather, D. Boulter, and J.A. Gatehouse. 1994.** Approaches in insect resistance using transgenic plants. In Beaven, M.W., B.D. Harrison, and C.J. Leaver (Eds.). *The Production and Uses of Genetically Transformed Plants.* p. 91-98.
- Georghiou, G.P. and A. Laguna-Tejada. 1991.** The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. Rome, FAO.
- Gould, F.A., A. Anderson, D. Jones, D. Sumerford, G. Heckel, J. Lopez, S. Micinski, R. Learnard, and M. Laster. 1995.** Initial frequency of alleles for resistance to *B. thuringiensis* toxins in field population of *H. virescens*. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 94:3519-3523.
- Green, N.G., H.M. LeBaron, and W.K. Moberg. 1990.** Managing resistance to agrochemicals: From fundamental research to practical strategies. Washington DC American Chemical Society.
- Hofte, H. and H.R. Whiteley. 1989.** Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53: 242-255.
- Huang, F., L.L. Buschman, R.A. Higgins, and W.H. McGaughey. 1999.** Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin (Dipel ES) in the European corn borer. *Science* 284: 965-967.
- James, C. 1999.** Global review of commercialized transgenic crops. ISAAA Brief No. 12.
- Johnson, D.E., G.L. Brookhart, K.J. Kramer, B.D. Barnett, and W.H. McGaughey. 1990.** Resistance to *Bacillus thuringiensis* by the Indian-meal moth, *Plodia interpunctella*: Comparison of midgut proteinases from susceptible and resistant larvae. *J. Invertebr. Pathol.* 55:235-244.
- McGaughey, W.H. 1985.** Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 229:193-195.
- McGaughey, W.H. and R.W. Beeman. 1988.** Resistance to *Bacillus thuringiensis* in colonies of the Indian-meal moth and the almond moth (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* 81:28-33.
- McIntosh, S.C., G.M. Kishore, F.J. Perlak, P.G. Marrons, T.B. Stone, S.R. Sims, and R.L. Fusch. 1990.** Potentiation of *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity by serine proteinase inhibitors. *J. Agric. Food. Chem.* 38:1145-1152.
- McLean, M.A. and D.J. MacKenzie. 2001.** Principle and practice of environmental safety assesment of transgenic plants. Workshop on Food Safety Environmental Risk Assesment. Bogor, 10-12 April 2001.
- Oka, I.N. 1989.** The Indonesian national integrated pest management program: Success and challenge. *Indonesian Agric. Res. and Dev. Journal* 11(3):36-41.
- Oka, I.N. dan Bahagiawati. 1982.** Perkembangan biotipe baru wereng coklat *N. lugens* di Sumatera Utara. *Seri Makalah Penelitian No. 1.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. 5 hlm.
- Oka, I.N. and Bahagiawati. 1984.** Development and management of a new brown planthopper biotype in North Sumatera, Indonesia. Contribution 71. Central Research Institute for Food Crops.
- Oppert, B., K.J. Kramer, R.W. Beeman, and W.H. McGaughey. 1997.** Proteinase-mediated insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *J. Biol. Chem.* 272:23473-23476.
- Painter, R.H. 1951.** Insect resistance of crop plants. MacMillan, New York.
- Panda, N. and G.S. Khush. 1995.** Host plant resistance to insect. IRR-CAB.
- Pang, A.S.D. and J.L. Gringorten. 1998.** Degradation of *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin in host insect gut juice. *FEMS Microbiol. Lett.* 167: 281-285.
- Roush, R.T. 1994.** Managing pests and their resistance to *Bacillus thuringiensis*: Can transgenic crops be better than sprays? *Biocontrol Science and Technology* 4:501-516.
- Roush, R.T. 1997.** Bt-transgenic crops: Just another pretty insecticide or a chance for a new start in resistance management? *Pest. Sci.* 51:328-334.
- Stone, T.B., S.R. Sims, and P.G. Marrone. 1989.** Selection of tobacco budworm for resistance to a genetically engineered *Pseudomonas fluorescens* containing the δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* subsp kurstaki. *J. Invertebr. Pathol.* 53:228-234.
- Tabashnik, B.E. 1994.** Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomol.* 39:47-79.
- Van Rie, J., W.H. McGaughey, D.E. Johnson, B. Barnett, and H.V. Mellaert. 1990.** Mechanism of insect resistance to microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 247:72-74.
- Whalon, M.E. and D.L. Norris. 1999.** Managing target pest adaptation: The case of Bt transgenic plant deployment. In Cohen, J.I. (Ed.).

Managing Agricultural Biotechnology Addressing Research Needs and Policy Implication.
