

Perakitan Tanaman Tahan Serangga Hama melalui Teknik Rekayasa Genetik

Muhammad Herman

Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Bogor

ABSTRACT

A Crop Resistant to Insect Pest Derived from Genetic Engineering. Muhammad Herman.

Biotechnology through genetic engineering offers the opportunity for quickly modifying an organism such as plant for desired trait. A resistant crop to a certain insect pest can be developed through a genetic engineering technology by inserting a foreign gene derived from various organisms such as a Bt gene from a soil bacteria. Global area of transgenic crops resistant to insect pest and combined trait with tolerant to herbicide for 2002 is 14.5 millions hectares or about 25% of the total area of transgenic crops. Genetic engineering technology and its products that are transgenic crops have been utilized by farmers and research scientists. Currently research on genetic engineering for crop improvement is widely conducted at different research institute and universities in Indonesia. Most research activities on genetic engineering only focus on developing transgenic plants resistant to insect pest. In Indonesia, genetic engineering has been applied as an alternative approach for crop improvement when conventional breeding encounter a constraint for example lack of resistant gene in the germplasm collection, such as resistant gene for rice stem borer and soybean pod borer. The utilization of transgenic crops in Indonesia are regulated by the Joint Decree of Minister of Agriculture, Minister of Forestry and Estate Crops, Minister of Health, and the State Minister of Food and Horticulture 1999 concerning Biosafety and Food Safety of Genetically Engineered Agricultural Products, and the Decree of Minister of Agriculture 1998 concerning Testing, Evaluation, and Variety Release. Transgenic crops resistant to insect pest provides significant multiple benefits such as economic advantages to the farmers, reduce use of broad spectrum insecticides, reduce of farmers toxicity due to exposure of insecticides.

Key words: Biotechnology, genetic engineering technology, transgenic crops

Salah satu kendala dalam produksi suatu komoditas tanaman di negara yang beriklim tropis dan lembab adalah serangan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) seperti serangga hama dan patogen tumbuhan. Bahkan pada tanaman tertentu seperti padi, serangga hama masih merupakan kendala utama dan menjadi masalah serius, misalnya wereng coklat dan penggerek batang. Di negara tertentu seperti Amerika Serikat (AS), kerugian akibat kerusakan yang ditimbulkan serangga hama seperti penggerek jagung dan penggerek buah kapas bisa mencapai jutaan dolar AS. Usaha pengendalian yang biasa dilakukan petani adalah menggunakan cara bercocok tanam yang tepat yang meliputi penanaman

varietas tahan dan pergiliran tanaman, serta penyemprotan insektisida.

Di negara maju, seperti AS, untuk menanggulangi OPT dari jenis serangga hama, petani sudah menggunakan insektisida hayati yang berasal dari bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt) selama lebih dari 30 tahun. Namun secara komersial produksi insektisida hayati terbatas dan pengaruh perlindungannya hanya berumur pendek. Selain pengendalian dengan insektisida, petani juga menggunakan varietas tahan. Penggunaan varietas tahan merupakan cara pengendalian serangga hama yang murah dan ramah lingkungan.

Perbaikan sifat tanaman dapat dilakukan melalui modifikasi genetik baik dengan pemuliaan tanaman secara konvensional maupun dengan bioteknologi khususnya

teknologi rekayasa genetik. Kadang-kadang dalam perakitan varietas tanaman tahan serangga hama, pemulia konvensional menghadapi suatu kendala yang sulit dipecahkan, yaitu langkanya atau tidak adanya sumber gen ketahanan di dalam koleksi plasma nutfah. Contoh sumber gen ketahanan yang langka adalah gen ketahanan terhadap serangga hama, misalnya penggerek batang padi, penggerek polong ke-delai, hama bolong ubi jalar, penggerek buah kapas (*cotton bollworm*), dan penggerek jagung (Herman, 1997). Akhir-akhir ini, ke-sulitan pemulia konvensional tersebut dapat diatasi dengan teknologi rekayasa genetik melalui tanaman transgenik (Herman, 1996). Pemulia dan perekayasa genetik mempunyai tujuan yang sama. Pemulia tanaman secara konvensional melakukan persilangan dan atau seleksi, sedangkan perekayasa genetik mengembangkan secara terus menerus dan memanfaatkan teknik isolasi dan transfer gen dari sifat yang diinginkan.

Melalui rekayasa genetik sudah dihasilkan tanaman transgenik yang memiliki sifat baru seperti ketahanan terhadap serangga hama atau herbisida atau peningkatan kualitas hasil. Tanaman transgenik tahan serangga hama tersebut sudah banyak ditanam dan dipasarkan di berbagai negara (James, 2002a). Sedangkan di Indonesia, tanaman transgenik tahan serangga hama baru pada taraf penelitian perakitannya. Dalam makalah ini akan dijelaskan tentang tanaman transgenik tahan serangga hama, perkembangan tanaman transgenik secara global, dan status tanaman transgenik di Indonesia.

TANAMAN TRANSGENIK TAHAN SERANGGA HAMA

Kehadiran teknologi rekayasa genetik memberikan wahana baru bagi pemulia tanaman untuk memperoleh kelompok gen baru yang lebih luas. Gen yang ditransfer ke dalam genom suatu tanaman untuk membentuk tanaman transgenik bisa berasal dari spesies lain seperti bakteri, virus atau tanaman (Bennet, 1993). Gen yang diperoleh dengan jalan sintesis secara kimia juga berhasil ditransformasikan ke tanaman. Pada dasarnya gen yang ditransfer tersebut haruslah gen yang bermanfaat yang belum ada atau belum dimiliki oleh tanaman. Hal ini menggambarkan kekuatan dari rekayasa genetik dalam memperlebar lingkup atau kisaran transfer gen di luar jangkauan pemuliaan konvensional. Teknik rekayasa genetik dapat digunakan sebagai mitra dan pelengkap teknik pemulia tanaman yang sudah mapan dan telah digunakan selama bertahun-tahun (Herman, 1996).

Dalam memproduksi tanaman transgenik melibatkan beberapa tahap dalam teknik biologi molekuler dan seluler (Herman, 1996). Suatu sifat yang diinginkan harus dipilih dan gen yang mengatur sifat tersebut harus diidentifikasi. Apabila gen yang diinginkan belum tersedia, maka harus diisolasi dari organisme donor. Organisme donor bisa berasal dari virus, bakteri, jamur, serangga atau hewan. Supaya gen tersebut dapat berfungsi maka harus dimodifikasi secara molekuler, yaitu harus mengandung daerah pengaturan (*regulatory region*), sehingga dapat diekspresikan di tanaman dengan tepat dan benar (Bennet, 1993; Watson *et al.*, 1992). Gen yang sudah diisolasi harus dikonstruksi dalam suatu vektor plasmid untuk ditransfer ke tanaman melalui suatu teknik transfer gen. Plasmid yang digunakan untuk transformasi tanaman tidak hanya mengandung gen dari sifat yang diinginkan tetapi juga gen markah untuk

seleksi, seperti gen ketahanan terhadap herbisida atau antibiotik. Gen markah tersebut akan memudahkan seleksi sel atau jaringan yang tertransformasi. Untuk keberhasilan suatu transformasi, rangkaian gen yang diintroduksi ke tanaman harus dapat diinsersikan ke genom tanaman, diekspresikan, dan tetap terpelihara dalam seluruh proses divisi sel berikutnya. Pada tahap terakhir, sel atau jaringan tanaman yang ditransformasi harus dapat diregenerasi menjadi suatu tanaman. Regenerasi tanaman dapat dilakukan baik secara organogenesis atau embriogenesis (Sticklen, 1991; Zhong *et al.*, 1991; 1992).

Tanaman transgenik perlu dikarakterisasi secara molekuler untuk mengkonfirmasi integritas gen yang diintroduksi dan menentukan jumlah kopinya di dalam genom tanaman. Tanaman tersebut juga perlu dikarakterisasi secara biokimia untuk menentukan apakah gen tersebut berfungsi dengan benar. Setelah tahapan biologi seluler dan molekuler dilalui, tanaman transgenik perlu dikarakterisasi sifat yang diinginkan di laboratorium dan rumah kaca (Herman, 1999). Untuk mengkonfirmasi apakah sifat baru yang diinginkan tersebut dapat diturunkan maka perlu dilakukan persilangan genetik.

Teknik Transfer Gen

Teknologi transfer gen dibedakan menjadi dua, yaitu langsung dan tidak langsung (Herman, 1996). Contoh transfer gen secara langsung adalah penembakan eksplan gen dengan *gene gun* atau *divortex* dengan *silicon carbide* (karbid silikon) dan perlakuan pada protoplas tanaman dengan elektroporasi atau dengan *polyethylene glycol* (PEG). Sedangkan transfer gen secara tidak langsung adalah melalui vektor *Agrobacterium*.

Transfer gen secara langsung

- **Penembakan partikel (*particle bombardment*)**

Teknik paling modern dalam transformasi tanaman adalah penggunaan metode penembakan partikel atau *gene gun*. Metode transfer gen ini dioperasikan secara fisik dengan menembakkan partikel *DNA-coated* langsung ke sel atau jaringan tanaman (Klein *et al.*, 1988). Dengan cara demikian, partikel dan DNA yang ditambahkan menembus dinding sel dan membran, kemudian DNA melarut dan tersebar dalam sel secara independen. Telah didemonstrasikan bahwa teknik ini efektif untuk mentransfer gen pada bermacam-macam eksplan. Penggunaan penembakan partikel membuka peluang dan kemungkinan lebih mudah dalam memproduksi tanaman transgenik dari berbagai spesies yang sebelumnya sukar ditransformasi dengan *Agrobacterium*, khususnya tanaman monokotil seperti padi, jagung, dan *turfgrass*.

- **Karbid silikon**

Metode transfer gen lain yang kurang umum digunakan dalam transformasi tanaman tetapi telah dilaporkan berhasil mentransformasi jagung dan *turfgras* adalah penggunaan karbid silikon. Suspensi sel tanaman yang akan ditransformasi dicampur dengan serat karbid silikon dan DNA plasmid dari gen yang diinginkan dimasukkan ke dalam tabung *Eppendorf* kemudian dilakukan pencampuran dan pemutaran dengan *vortex* (Kaeppeler *et al.*, 1990). Serat *silicon carbide* berfungsi sebagai jarum injeksi mikro (*microinjection*) untuk memu-

dahkan transfer DNA ke dalam sel tanaman.

- **Elektroporasi**

Metode transfer DNA yang umum digunakan pada tanaman monokotil adalah elektroporasi dari protoplas, perlakuan *poly-ethylene glycol* (PEG) pada protoplas dan kombinasi antara dua perlakuan tersebut (Joersbo dan Brunstedt, 1991). PEG memudahkan presipitasi DNA dan membuat kontak lebih baik dengan protoplas, juga melindungi DNA plasmid mengalami degradasi dari enzim *nuclease* (Mass dan Werr, 1989). Sedangkan elektroporasi dengan perlakuan listrik voltase tinggi menyebabkan permeabilitas tinggi untuk sementara pada membran sel dengan membentuk pori-pori sehingga DNA mudah penetrasi ke dalam protoplas. Integritas membran kembali membaik seperti semula dalam beberapa detik sampai semenit setelah perlakuan listrik. Jagung dan padi telah berhasil ditransformasi melalui elektroporasi dengan efisiensi antara 0,1-1%. Kelemahan penggunaan protoplas sebagai *explant* untuk transformasi adalah sulitnya regenerasi dari protoplas, dan ekstra komplikasi, serta variasi somaklonal akibat panjangnya periode kultur.

- **Transfer gen secara tidak langsung**

Dari banyak teknik transfer gen yang berkembang, teknik melalui media vektor *Agrobacterium tumefaciens* paling sering digunakan untuk mentransformasi tanaman dikotil. *A. tumefaciens* mampu mentransfer gen ke dalam genom tanaman melalui eksplan baik yang berupa potongan daun (*leaf discs*) atau bagian lain dari jaringan tanaman yang mempunyai potensi be-

regenerasi tinggi (Hinchee *et al.*, 1988; Mullins *et al.*, 1990).

Gen yang ditransfer terletak pada plasmid Ti (*tumor inducing*). Segmen spesifik DNA plasmid Ti disebut DNA T (transfer DNA) yang berpindah dari bakteri ke inti sel tanaman dan berintegrasi ke dalam genom tanaman. Karena *A. tumefaciens* merupakan patogen tanaman maka *Agrobacterium* sebagai vektor yang digunakan untuk transformasi tanaman adalah bakteri dari jenis plasmid Ti yang dilucuti virulensinya (*disarmed*), sehingga sel tanaman yang ditransformasi oleh *Agrobacterium* dan yang mampu beregenerasi akan membentuk suatu tanaman sehat hasil rekayasa genetik. Tanaman tersebut akan menurunkan DNA T yang *disarmed* dan gen asing (dari sifat yang diinginkan) ke keturunannya. Teknik transformasi melalui media vektor *Agrobacterium* pada tanaman dikotil telah berhasil tetapi sebaliknya tidak umum digunakan pada tanaman monokotil. Meskipun demikian, beberapa peneliti melaporkan bahwa beberapa strain *Agrobacterium* berhasil mentransformasi tanaman monokotil seperti jagung dan padi.

Gen Ketahanan terhadap Serangga Hama

Gen ketahanan terhadap serangga hama dan sumbernya disajikan pada Tabel 1. Sebagian dari gen tersebut akan diuraikan dalam makalah ini dengan fokus uraian

ke gen Bt. Sebagian besar penelitian transformasi untuk memproduksi tanaman tahan serangga difokuskan pada protein yang mengandung kode gen tunggal, seperti *Bt endotoxins* (Cheng *et al.*, 1992), *proteinase inhibitor* (Hilder *et al.*, 1993; Johnson *et al.*, 1989; Ryan, 1990), *cowpea trypsin inhibitor* (Hoffman *et al.*, 1993), *pea seed lectin* (Gatehouse *et al.*, 1991), *snow drop lectin* (Rao *et al.*, 1999), *amylose inhibitor* (Ishimoto *et al.*, 1996; Schroeder *et al.*, 1995; Shade *et al.*, 1994). Protein dengan kode gen tunggal lebih mudah diintro-duksi ke dalam tanaman.

Gen Bt

Gen Bt adalah hasil isolasi bakteri tanah *B. thuringiensis* dan telah digunakan oleh petani di negara maju sebagai pestisida hayati yang aman sejak puluhan tahun yang lalu (Shaddock, 1983; McClintock *et al.*, 1995). Istilah populer *cry* (Held *et al.*, 1982) merupakan singkatan dari *crystal* sebagai representasi gen dari strain Bt yang memproduksi protein kristal yang bekerja seperti insektisida (*insecticidal crystal protein*) yang dapat memati-kan serangga hama (MacIntosh *et al.*, 1990). Sampai saat ini, telah di-isolasi gen Bt yang dimasukkan ke dalam 8 kelompok atau kelas *Cry* (Rajamohan dan Dean, 1995; Krattiger, 1997; Crickmore *et al.*, 1998). Kelas *cry* tersebut dikelompokkan berdasarkan virulensinya yang spesifik terhadap kelompok

Tabel 1. Gen ketahanan terhadap serangga hama

Serangga Hama	Gen	Sumber Gen
Coleoptera	<i>α-amylase inhibitor</i>	Tanaman
	<i>cryIII, cryV, cryVII</i>	Bakteri
Diptera	<i>proteinase inhibitor</i>	Tanaman
	<i>CryIV</i>	Bakteri
Homoptera	GNA	Tanaman
Lepidoptera	<i>cryI, cryII, cryV, cryIX, cryX</i>	Bakteri
	<i>cowpea trypsin inhibitor, proteinase inhibitor</i>	Tanaman

Cry = protein kristal yang diisolasi dari *B. thuringiensis*, GNA = *snow drop lectin* dari *Galanthus nivalis* agglutinin

serangga sasaran. Sebagai contoh *cryI*, *cryIX*, dan *cryX* mematikan serangga golongan Lepidoptera, *cryV* bisa mematikan golongan Lepidoptera dan Coleoptera.

Semua gen yang menyandi 130-140 kDa *protoxin* dan aktif terhadap larva Lepidoptera digolongkan ke dalam klas *cryI* yang selanjutnya dibagi dalam beberapa subklas A sampai G. Berdasarkan pada identitas asam aminonya (>80%), sub-klas gen *cryIA* dibagi menjadi IA(a), IA(b), dan IA(c). Tipe gen subklas *cryII* yang memproduksi 66 kDa *protoxin* aktif pada Lepidoptera (*cryIIB*) saja atau pada larva Lepidoptera dan Diptera (*cryIIA*). Gen *cryIII* menghasilkan 73 kDa protein aktif terhadap larva Coleoptera. Gen tipe *cryIV* telah diisolasi dari subspecies *israelensis* dan menghasilkan 135, 128, 74, dan 72 kDa protein aktif terhadap larva Diptera. Gen baru telah diisolasi dari *B. thuringiensis* subsp. *thompsoni* dan diberi nama *cryV*. Gen tersebut menghasilkan toxin 80 kDa dan aktif terhadap Lepidoptera dan Coleoptera. Gen yang aktif terhadap nematoda dimasukkan ke dalam klas *cryVI*.

Dari penelitian yang ada, umumnya tanaman tahan serangga yang berhasil ditransformasi berasal dari gen *cryBt* yang bersifat me-racuni hama serangga dari kelompok Coleoptera atau Lepidoptera (Barton *et al.*, 1987; Cheng *et al.*, 1992; Delannay *et al.*, 1989; Perlak *et al.*, 1990; Warren *et al.*, 1992; Wilson *et al.*, 1992). Racun Bt akan melekat pada *epithelial glycoprotein* dalam usus serangga, khususnya pada usus tengah. Keadaan tersebut akan menyebabkan bocornya usus sehingga cairan yang ada akan merembes ke luar ke daerah antara usus dan *hemocoel* dan mengakibatkan matinya serangga (Hilder *et al.*, 1993). Ada beberapa gen *cry* yang ditransformasikan ke

kapas transgenik, yaitu *cryIA(a)*, *cryIA(b)*, *cryIA(c)*, *cryIF*, dan *cryIIA(b)* (Benedict dan Altman, 2001; James, 2002).

Akhir-akhir ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa gen *cryBt* tipe liar (*wild type*) yang ditransformasi ke tanaman ternyata berekspresi ketahanan yang rendah terhadap serangga (Cheng *et al.*, 1992). Hal tersebut dihipotesiskan bahwa penggunaan *codon* dari gen *cryBt* (yang diisolasi dari bakteri) dikela-bui oleh keharusan untuk mengekspresi dalam sel bakteri sehingga tidak optimum untuk diekspresikan dalam sel tanaman (Cheng *et al.*, 1992). Cara yang dilakukan dalam pemecahan kendala tersebut adalah dengan mensintesis urutan (*sequence*) gen secara kimiawi untuk menghilangkan banyaknya motif urutan *adenin thymine* (AT)-rich. Banyaknya urutan (AT) inilah yang menyebabkan tidak stabilnya mRNA dari tanaman transgenik. Hasil percobaan tanaman transgenik dengan gen Bt sintesis menunjukkan peningkatan ekspresi ke-efektifan ketahanan terhadap serangga antara 10-100 kali (Perlak *et al.*, 1991).

Gen dari Kelompok *Inhibitor*

Kelompok yang lain dari gen tahan serangga adalah *proteinase inhibitor*. Protein penghambat akan mengganggu sistem pencernaan makanan serangga, dengan menghasilkan senyawa antinutrisi yang menghambat kerja enzim *proteinase*. Supaya fungsi dari gen penghambat (*inhibitor*) tersebut efektif, harus diekspresikan di jaringan tanaman pada bagian yang diserang. Gen *proteinase inhibitor* II (dari kentang) yang diintroduksi ke tembakau telah meningkatkan ketahanan tanaman transgenik terhadap serangga *Manduca sexta* (Johnson *et al.*, 1989). Gen lain yang ditransformasikan pada tembakau untuk memperoleh ketahan-

an terhadap *Helicoverpa zea* adalah *cowpea trypsin inhibitor* (Hoffman *et al.*, 1993).

Azuki bean transgenik yang dimasuki gen *α -amylase inhibitor* yang diperoleh dari *common bean*, telah menunjukkan ketahanan terhadap hama kumbang *Bruchus* (Ishimoto *et al.*, 1996). Penelitian lain oleh Schroeder *et al.* (1995) dan Shade *et al.* (1994) gen *α -amylase inhibitor* dari *common bean* berhasil ditransformasikan ke kacang *pea* (*Pisum sativum* L.) dan menunjukkan ketahanan terhadap kumbang *Bruchus* (*Bruchus pisorum*).

Hasil penelitian Powel *et al.* (1993) tentang bioasai dengan menggunakan makanan buatan dari *lectin*, tanaman menunjukkan bahwa *lectin* beracun terhadap wereng coklat dan wereng hijau. Dibandingkan dengan *lectin* tanaman yang lain, *snowdrop lectin* dari *Galanthus nivalis* agglutinin (GNA) menunjukkan hasil paling beracun terhadap serangga hama, dengan menurunkan tingkat hidup wereng coklat sampai 50% pada konsentrasi 6 μ m (Gatehouse, 1998). Padi transgenik yang mengandung gen GNA telah dihasilkan melalui sistem transformasi *particle bombardment* dari embrio muda dan elektroporasi dari protoplas (Rao *et al.*, 1999). Dalam uji bioasai, padi transgenik tersebut dapat menurunkan tingkat hidup, keperidian, dan memper-lambat pertumbuhan wereng coklat (Rao *et al.*, 1999).

PERKEMBANGAN TANAMAN TRANSGENIK SECARA GLOBAL

Tahun 2001 merupakan tahun yang pertama di mana luas area pertanaman transgenik di dunia melebihi 50 juta ha, yaitu 52,6 juta ha (James, 2001b). Luasan ini adalah kenaikan 8,4 juta atau 19% dari luasan tahun 2000 dan merupakan kenaikan hampir dua kali

lipat peningkatan luas dari tahun 1999 ke tahun 2000 seluas 4,3 juta ha (Tabel 2). Selama periode tujuh tahun dari 1996 sampai 2002, telah terjadi peningkatan luas area per-tanaman yang begitu tajam, yaitu luas yang hanya 1,7 juta ha pada tahun 1996 menjadi 58,7 juta ha pada tahun 2002. Peningkatan luas tersebut melebihi dari 30 kali lipat (Tabel 2).

Pada tahun 2001, distribusi luas pertanaman tanaman transgenik

26% atau 13,5 juta ha berada di negara berkembang (Tabel 3). Luasan tersebut meningkat 2,8% dari tahun 2000 yang 10,7 juta ha (Tabel 3). Di negara berkembang, telah terjadi peningkatan luas area tanaman transgenik yang konsisten sejak tahun 1997, yaitu 14%, 16% pada 1998, 18% pada 1999, 23% pada 2000, dan 26% pada 2001 (James, 2001b). Dibandingkan dengan negara berkembang (2,8 juta ha), pertumbuhan tanaman trans-

genik di negara industri (5,6 juta ha) dua kali lipat lebih tinggi dari tahun 2000 ke tahun 2001 (James, 2001b). Meskipun demikian, persentase peningkatan luas pertanaman lebih tinggi di negara berkembang (26%) dibandingkan negara industri (17%) (Tabel 3).

Dari 16 negara yang menanam tanaman transgenik, sejak tahun 1997 hanya 3 negara yang mendominasi luasan area penanaman, yaitu AS, Argentina, dan Kanada,

Tabel 2. Luas tanaman transgenik secara global dari 1996-2002

Tahun	Luas (juta ha)
1996	1,7
1997	11,0
1998	27,8
1999	39,9
2000	44,2
2001	52,5
2002	58,7

Modifikasi James (2000; 2001b; 2002b)

Tabel 3. Distribusi luas tanaman transgenik secara global di negara industri dan berkembang dari 1997-2002

Negara	Luas tahun 1997		Luas tahun 1998		Luas tahun 1999		Luas tahun 2000		Luas tahun 2001		Luas tahun 2002	
	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase
Industri	9,5	86	23,4	84	32,8	82	33,5	76	39,1	74	42,7	73
Sedang berkembang	1,5	14	4,4	16	7,1	18	10,7	24	13,5	26	16,0	27
Total	11	100	27,8	100	39,9	100	44,2	100	52,6	100	58,7	100

Modifikasi James (1997; 1998; 1999; 2000; 2001b; 2002b)

Tabel 4. Luas tanaman transgenik secara global di 17 negara dari 1997-2002

Negara	Luas tahun 1997		Luas tahun 1998		Luas tahun 1999		Luas tahun 2000		Luas tahun 2001		Luas tahun 2002	
	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase
Amerika Serikat	8,1	74	20,5	74	28,7	72	30,3	68	35,7	%	39,0	66
Argentina	1,4	13	4,3	15	6,7	17	10,0	23	11,8	68	13,5	23
Kanada	1,3	12	2,8	10	4,0	10	3,0	7	3,2	33	3,5	6
Cina	-	-	-	-	0,3	1	0,5	1	1,5	6	2,1	4
Afrika Selatan	-	-	<0,1	<1	0,1	<1	0,2	<1	0,2	3	0,3	1
Australia	0,1	1	0,1	1	0,1	<1	0,2	<1	0,2	<1	0,1	<1
Meksiko	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Perancis	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	-	-	-	-
Portugal	-	-	-	-	<0,1	<1	-	-	-	-	-	-
Spanyol	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Ukrania	-	-	-	-	<0,1	<1	-	-	-	-	-	-
Rumania	-	-	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Bulgaria	-	-	-	-	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Jerman	-	-	-	-	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Uruguay	-	-	-	-	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
India	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indonesia	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,1	<1	<0,1	<1
Total	11,0	100	27,8	100	39,9	100	44,2	100	52,6	100	58,7	100

Modifikasi James (1997; 1998; 1999; 2000; 2001b)

kemudian Cina bergabung sejak 1999 (Tabel 4). Pada tahun 2001, AS memegang rangking 1 dengan luas 35,7 juta ha (68%), disusul Argentina seluas 11,8 juta ha (33%), Kanada 3,2 juta ha (6%), kemudian Cina 1,5 juta ha (3%) (Tabel 4). Sejak tahun 1999, 3 komoditas, yaitu kedelai, jagung, dan kapas mendominasi tanaman transgenik dari 7 komoditas (Tabel 5). Pada tahun 2001 kedelai transgenik menduduki rangking 1 dengan luasan 33,3 juta ha (63%), kemudian jagung seluas 9,8 juta ha (19%), dan kapas 6,8 juta ha (13%) (Tabel 5). Komoditas lainnya adalah kanola, kentang, papaya, dan *squash*.

Tahun 1997 luas area tanaman transgenik yang mempunyai ketahanan terhadap serangga hama adalah 4 juta ha, kemudian meningkat menjadi 7,7 juta ha pada tahun 1998 dan 8,9 juta ha pada tahun 1999 (Tabel 6). Tetapi mulai menurun dan menjadi 8,3 juta ha pada tahun 2000 dan 7,7 juta ha pada tahun 2001. Sedangkan tanaman transgenik yang

mempunyai sifat ganda, yaitu tahan serangga hama dan toleran herbisida, luas areanya meningkat terus, dari tahun 1997 yang hanya <0,1 juta ha menjadi 4,2 juta ha pada tahun 2001 (Tabel 6). Dibandingkan dengan tahun 2000, secara global luas pertanaman transgenik dengan sifat ganda tahan serangga hama dan toleran herbisida meningkat 0,6 juta ha pada tahun 2001 (Tabel 6). Pada tahun 2001, luas tanaman transgenik dengan sifat ganda, tahan serangga hama dan toleran herbisida adalah 12 juta ha atau 23% dari total luas area tanaman transgenik.

Di antara tanaman transgenik dengan gen-gen ketahanan terhadap serangga hama seperti yang telah diuraikan, hanya tanaman transgenik dengan gen Bt yang laku di-komersialkan secara global. Tanaman transgenik tahan serangga hama tersebut adalah jagung Bt, jagung Bt/toleran herbisida (TH), kapas Bt, dan kapas Bt/TH. Penggabungan sifat tahan serangga hama dengan sifat toleran

herbisida dalam satu tanaman transgenik diilhami oleh sukses dan lakunya tanaman transgenik toleran herbisida di pasaran. Selain jagung Bt yang luas area penanamannya menurun dari tahun 2000 ke 2001, luas area ketiga komoditas yang lain meningkat, masing-masing 1,7 juta ha menjadi 2,4 juta ha untuk kapas Bt/TH; 1,5 juta ha menjadi 1,9 juta ha untuk kapas Bt; dan 1,4 juta ha menjadi 1,8 juta ha untuk jagung Bt/TH (James, 2002a).

Pada tahun 2000, 92% pertanaman jagung Bt di dunia berada di AS (James, 2001a). Menurut Teng (2001) melalui nara sumber Traxler dan Falck Zepada dari *Ag-Bioforum* 2(2) 1999, pada tahun 1996 dengan menanam jagung Bt petani mendapat keuntungan 141 juta dolar AS (59%) dari total keuntungan sebesar 240 juta dolar AS. Pengurangan aplikasi insektisida sampai 600.000 kg telah terjadi di negara bagian Iowa, AS yang menanam 80% area dengan

Tabel 5. Luas tanaman transgenik secara global dari 1999-2002 berdasarkan jenis tanaman

Negara	1999		2000		2001		2002	
	Luas (juta ha)	Persentase	Luas (juta ha)	Persentase	Luas (juta ha)	Persentase	Luas (juta ha)	Persentase
Kedelai	21,6	54	25,8	58	33,3	63	36,5	62
Jagung	11,1	28	19,3	23	9,8	19	12,4	21
Kapas	3,7	9	5,3	12	6,8	13	6,8	12
Kanola	3,4	9	2,8	7	2,7	5	3,0	5
Kentang	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Squash	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Papaya	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Total	39,9	100	44,2	100	52,6	100	58,7	100

Modifikasi James (2000; 2001b; 2002b)

Tabel 6. Luas tanaman transgenik secara global dari 1997-2002 berdasarkan sifat tahan serangga hama

Negara	Luas 1997		Luas 1998		Luas 1999		Luas 2000		Luas 2001		Luas 2002	
	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase	Juta ha	Persentase
Tahan serangga hama (Bt)	4,0	36	7,7	28	8,9	22	8,3	19	7,8	15	10,1	17
Tahan serangga hama (Bt)/toleran herbisida	<0,1	<1	0,3	1	2,9	7	3,1	7	4,2	8	4,4	8

Modifikasi James (1997; 1998; 1999; 2000; 2001b; 2002b)

jagung Bt (Teng, 2001). Pengurangan aplikasi insektisida menimbulkan dampak positif baik ke lingkungan maupun kesehatan manusia. Sedangkan dampak ke lingkungan berupa pengurangan kemungkinan pengaruh berbahaya dari insektisida, pengaruh yang mengakibatkan serangga hama menjadi resisten terhadap insektisida dan terjadinya resurgensi, pengaruh mematikan terhadap serangga berguna seperti predator dan para-sit sehingga populasi musuh alami tersebut tetap terpelihara yang nan-tinya akan meningkatkan pengendalian hayati secara alami. Dilaporkan bahwa telah terjadi peningkatan populasi burung-burung langka di daerah peladangan tanaman transgenik tahan serangga hama. Hal ini diduga diakibatkan oleh pengurangan aplikasi insektisida yang cukup besar.

Jagung transgenik yang mengandung gen Bt bisa menghasilkan pengaruh lain yang positif. Hasil penelitian lapang di Iowa State University, Amerika Serikat pada jagung Bt menunjukkan bahwa jagung nontransgenik terserang parah oleh penyakit busuk tongkol yang disebabkan oleh jamur *Fusarium* dibandingkan jagung Bt. (Fuller, 1999). Dari pengujian tingkat kontaminasi *mycotoxin* menunjukkan bahwa jagung nontransgenik mengandung *fumonisin* 14,5 ppm dibandingkan hanya 1,5 ppm pada jagung Bt (Fuller, 1999).

Selain manfaat dan keuntungan dari jagung Bt, dikhawatirkan bahwa jagung tersebut akan berdampak negatif terhadap organisme bukan sasaran seperti predator, parasit, lebah madu, dan hewan ternak. Selain penelitian laboratorium, selama tiga musim tanam 1993-1995 telah dilakukan pada studi lapang tentang pengaruh penanaman jagung Bt terhadap serangga berguna

di Nebraska dan Iowa, AS. Studi lapang yang sama juga dilakukan di Perancis pada tahun 1995. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa jagung Bt tidak berpengaruh terhadap serangga berguna seperti laba-laba, *coccinellid*, *chrysopid*, dan *nabid* McLean dan MacKenzie (2001).

Di Indonesia juga telah dilakukan pengamatan populasi serangga berguna pada tanaman transgenik dan nontransgenik baik di Fasilitas Uji Terbatas (FUT) maupun Lapangan Uji Terbatas (LUT) (TTKH, 1999; TTKHKP, 2000). Hasil pengamatan di Fasilitas Uji Terbatas menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh jagung Bt terhadap lebah madu tanaman transgenik (TTKHKP, 2000). Demikian pula pengamatan di Lapangan Uji Terbatas (TTKH, 1999), menunjukkan bahwa jagung Bt yang diuji tidak berpengaruh terhadap predator (kumbang *Coccinella*, larva dan imagonya; kepik, *green lacewing*, laba-laba, belalang, semut merah), dan parasitoid (*Trichogramma*). Mengenai pengujian di Fasilitas Uji Terbatas dan Lapangan Uji Terbatas akan dijelaskan di penjelasan tentang pengaturan pemanfaatan tanaman transgenik.

Feeding study dilakukan untuk melihat kesepadanan (*equivalence*) dalam hal *feed performance*, kenaikan berat badan, produksi susu, dan komposisi susu antara hewan ternak dan ikan yang diberi makanan dari tanaman transgenik dibandingkan dengan nontransgenik. Folmer *et al.* (2000b) meneliti pengaruh pemberian makanan dari jagung Bt dan nonBt pada sapi perah dengan hasil tidak adanya perbedaan dalam hal *feed performance*, kenaikan berat badan, produksi susu, dan komposisi susu. *Feeding study* lain dilakukan oleh Folmer *et al.* (2000a) dan Russell *et al.* (2000), terhadap sapi potong.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan dalam hal *feed performance* dan kenaikan berat badan sapi potong yang diberi makan jagung Bt dan nonBt (Folmer *et al.*, 2000a; Russell *et al.*, 2000). Sanders *et al.* (1998) dan McLean dan MacKenzie (2001) melaporkan bahwa gen *cryIAb* yang dikandung dalam jagung Bt aman terhadap burung puyuh *Northern Bobwhite*.

Gen-gen Bt atau *cry* yang digunakan dalam perakitan tanaman transgenik tahan serangga hama telah mendapatkan izin dari Environmental Protection Agency (EPA), AS. Sebagai contoh, *cryIA(b)* (EPA, 1997; 1998a) dan *cryIA(c)* (EPA, 1998b) yang digunakan dalam jagung Bt, *cryIA(c)* dalam kapas Bt (EPA, 1995a), dan *cryIIIA* dalam kentang (EPA, 1995b) telah diteliti dan dizinkan oleh EPA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di dalam tanaman, ketiga *cry* tersebut terkandung dalam konsentrasi rendah. Selain itu, ketiga *cry* tersebut labil dan tidak tahan didegradasi dengan pemanasan (suhu >65°C), perlakuan asam (pH <5), dan protease. Data mengenai ketiga *cry* tersebut berbeda dengan *cry9C* di dalam jagung Starlink. Ternyata *cry9C* di dalam cairan lambung tidak terdegradasi dengan cepat dan relatif lebih tahan dalam pemanasan (EPA, 1998c). Hasil tersebut menimbulkan kekhawatiran terjadinya alergi kalau jagung transgenik yang mengandung *cry9C* tersebut dimakan oleh manusia, oleh karena itu EPA hanya mengizinkan untuk bahan pakan tidak untuk pangan. Produsen jagung *Starlink* mengajukan hasil penelitian terakhir tentang *cry9C* ke EPA sebagai informasi tambahan untuk pengkajian risiko alergisitas yang berpotensi pada produk pangan olahan yang berasal dari jagung *Starlink* (GKCCB, 2001). Hasilnya

menunjukkan bahwa tingkat kandungan protein *cry9C* di dalam produk cair seperti minyak goreng, sirup, alkohol, dan tajin jagung berada di bawah batas ambang untuk bisa dideteksi melalui metode analitik (GKCCB, 2001). Sedangkan di dalam produk kering seperti tepung jagung halus dan kasar, protein *cry9C* mengalami *denature* tetapi tidak sampai tereliminasi dengan komplit (GKCCB, 2001).

STATUS TANAMAN TRANSGENIK DI INDONESIA

Penelitian Tanaman Transgenik Tahan Serangga Hama

Kegiatan penelitian rekayasa genetik tanaman untuk merakit tanaman transgenik tahan serangga hama telah dilakukan di berbagai lembaga penelitian seperti Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI dan Balai Penelitian di dalam lingkup Badan Penelitian dan

Pengembangan Pertanian seperti Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian (Balitbiogen) (Tabel 7). Teknologi rekayasa genetika dilakukan apabila persilangan konvensional sudah tidak mampu dilaksanakan atau mengalami kendala seperti tidak adanya sumber gen ketahanan terhadap serangga hama atau patogen tumbuhan, misalnya penggerek batang padi, penggerek polong kedelai, hama boleng pada ubi jalar, dan penggerek jagung. Serangga hama merupakan cekaman biotik yang utama pada komoditas tertentu dan bisa menurunkan hasil 20-90%. Kegiatan penelitian telah menghasilkan tanaman transgenik seperti jagung dan padi tahan hama penggerek batang dan wereng (Tabel 8). Selain itu, melalui kerja sama dengan lembaga penelitian di luar negeri juga sudah menghasilkan tanaman transgenik seperti kentang tahan Potato Tuber Moth

(PTM).

Kendala

Penelitian rekayasa genetik untuk merakit tanaman transgenik tidak semudah yang dibayangkan oleh sementara orang, karena disamping memerlukan biaya besar, peralatan laboratorium yang modern, juga sumber daya manusia yang tangguh dan handal. Di samping itu, ada keterbatasan lain, yaitu jumlah gen yang diisolasi dan yang sifat agronominya menarik masih sangat terbatas dan pengetahuan kita tentang regulasi dari ekspresi gen masih terbatas, serta metode kultur jaringan untuk regenerasi tanaman masih belum mencukupi.

Masalah lain yang kita hadapi adalah Hak Kekayaan Intelektual. Sebagai contoh adalah gen interes seperti gen Bt dan metode transformasi seperti *Agrobacterium tumefaciens* dan *particle bombardment* masih dimiliki dan dipatenkan oleh penemunya yang rata-rata dari negara maju. Keterbatasan ini sementara bisa ditanggulangi dengan memanfaatkan pihak fasilitator seperti *Agricultural Biotechnology for Support Project* (ABSP) atau *International Service of the Acquisition for Agribiotech Application* (ISAAA) untuk bisa memanfaatkan gen-gen interes. Contoh program kerja sama yang sudah berjalan baik dan sukses adalah program rekayasa genetik tanaman transgenik tahan OPT seperti kentang Bt tahan PTM (*potato tuber moth*) oleh ABSP dan papaya transgenik tahan penyakit virus *ring-spot* oleh ISAAA. Di samping itu, ada kendala lain, yaitu peneliti kita masih belum memiliki kemampuan dalam mengisolasi gen dan mensintesisnya secara kimia. Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan sumber daya manusia, khususnya pembinaan tenaga usia muda dalam bidang kultur jaringan dengan penekanan pada

Tabel 7. Kegiatan penelitian perakitan tanaman transgenik tahan serangga hama di Indonesia

Tanaman	Sifat	Gen	Instansi
Jagung	Tahan penggerek batang	<i>PinII</i>	Balitbiogen
Kacang hijau	Tahan hama kumbang	Al	Balitbiogen
Kakao	Tahan penggerek buah	Bt	UPBP
Kedelai	Tahan penggerek polong	<i>PinII</i>	Balitbiogen
		Bt	
Kentang	Tahan penggerek daun dan umbi	Bt	Balitsa/MSU-AS
Padi	Tahan penggerek batang	Bt	Balitbiogen
	Tahan penggerek batang	Bt	P2B LIPI
	Tahan wereng coklat	GNA	P2B LIPI
Ubi jalar	Tahan hama boleng	<i>PinII</i>	Balitbiogen

Al = *amylase inhibitor*, Balitbiogen = Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian, Balitsa = Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Bt = *Bacillus thuringiensis*, GNA = *Galanthus nivalis agglutinin (snowdrop lectin)*, P2B LIPI = Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, MSU-AS = *Michigan State University-AS*, *PinII* = *proteinase inhibitor II*, UPBP = Unit Penelitian Bioteknologi Perkebunan

Tabel 8. Status pengkajian keamanan hayati tanaman transgenik

Tanaman	Sifat	FUT	LUT	Status	Uji multilokasi	Pelepasan varietas
Jagung Bt	TACB	+	+	AH	+	-
Jagung Bt	TACB	SD	-	-	-	-
Kapas Bt	TCBW	+	+	AH	+	+
Kapas Bt/RR	TCBW/TH	+	+	-	-	-

AH = aman hayati, SD = sedang dilaksanakan, FUT = fasilitas uji terbatas, LUT = lapangan uji terbatas, TACB = tahan serangga hama *Asian Corn Borer*, TCBW = tahan serangga hama *Cotton Boll Worm*, + = telah dilaksanakan, - = belum dilaksanakan

efisiensi regenerasi tanaman dan biologi molekuler khususnya teknik isolasi, kloning, dan karakterisasi gen.

Pengaturan Pemanfaatan Tanaman Transgenik

Selain manfaat dan keuntungan yang dapat diharapkan dari tanaman transgenik, akhir-akhir ini telah beredar isu kekhawatiran bahwa tanaman tersebut akan mengganggu, merugikan, dan membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan memperhatikan kekhawatiran tersebut, maka penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan tanaman transgenik di Indonesia perlu dianalisis risikonya, diatur dengan cermat dan harus memperhatikan pendekatan kehati-hatian (*precautionary approach*) sebelum dikomersialisasikan. Sehubungan dengan itu, diperlukan adanya suatu sistem yang terstruktur dalam melakukan pengkajian dan sekaligus pengelolaan risiko. Dalam mengimplementasikan kebutuhan tersebut dirasakan perlu adanya suatu peraturan, kelembagaan, dan suatu fasilitas seperti *Biosafety Containment* (Fasilitas Uji Terbatas).

Pengaturan keamanan hayati dan keamanan pangan

Ketentuan peraturan perundang-undangan yang telah ada belum cukup mengatur keamanan hayati suatu produk pertanian hasil rekayasa genetik. Sehubungan dengan hal tersebut, dipandang perlu menetapkan ketentuan keamanan hayati produk pertanian hasil rekayasa genetik dalam Keputusan Menteri Pertanian No. 856/Kpts/HK.330/9/1997 tentang Ketentuan Keamanan Hayati Produk Bioteknologi Pertanian Hasil Rekayasa Genetik (PBPHRG). Karena di dalam Keputusan Menteri

Pertanian tersebut belum mencakup aspek keamanan pangan maka telah ditetapkan Keputusan Bersama Menteri Pertanian, Menteri Kehutanan dan Perkebunan, Menteri Kesehatan, dan Menteri Negara Pangan dan Hortikultura No. 998.1/Kpts/OT.210/9/99; 790.a/Kpts-IX/1999; 1145A/MENKES/SKB/IX/199; 015A/Nmeneg PHOR/09/1999 tentang Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan Produk Pertanian Hasil Rekayasa Genetik (PPHRG). Keputusan ini dimaksudkan untuk mengatur dan mengawasi keamanan hayati dan keamanan pangan pemanfaatan PPHRG, agar PPHRG tidak mengganggu, merugikan, dan membahayakan kesehatan manusia, keanekaragaman hayati (termasuk hewan, ikan, tumbuhan), dan lingkungan. Sedangkan ruang lingkungannya mencakup pengaturan, jenis-jenis, syarat-syarat, tata cara, hak dan kewajiban, pemantauan, pengawasan dan pelaporan keamanan hayati dan keamanan pangan pemanfaatan PPHRG.

Cartagena Biosafety Protocol (CBP) telah diadopsi oleh lebih dari 100 negara di Montreal, Kanada pada 28 Januari 2000. Lima puluh negara, pada 13 Juni 2003 telah menandatangani untuk meratifikasinya. Pada 11 September 2003 CBP akan berlaku (*entry into force*). Indonesia telah menyiapkan Rancangan Undang-Undang untuk meratifikasi Protokol tersebut. Dalam rangka meningkatkan kekuatan Hukum dari Keputusan Bersama Empat Menteri telah disusun Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Keamanan Produk Rekayasa Genetik.

Komisi Keamanan Hayati (KKH) dibentuk, dengan Keputusan Menteri Pertanian No. 856/Kpts/HK.330/9/1997. Dengan dikeluarkannya Keputusan Bersama Empat Menteri, KKH

diganti menjadi Komisi Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan (KKHKP) pada tahun 1999. KKHKP dibentuk guna membantu Menteri terkait melalui Direktur Jenderal terkait dalam memberikan rekomendasi teknis keamanan hayati dan keamanan pangan. Agar independen, KKHKP disusun dari penentu kebijakan yang berasal dari berbagai institusi yang terkait dengan tanaman transgenik. Anggota KKHKP terdiri atas wakil dari berbagai Institusi seperti Badan Litbang Kesehatan, Badan Litbang Kehutanan, Badan Litbang Pertanian, Badan Litbang DKP, Badan POM, Kementerian Lingkungan Hidup, LIPI, BPPT, Perhimpunan Profesi, Asosiasi, dan LSM. Sedangkan dalam melaksanakan tugasnya KKHKP dibantu Tim Teknis Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan (TTKHKP) yang dibentuk melalui Keputusan Bersama Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan dan Perkebunan, dan Direktur Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan No. LB.010.59.1.2000; 77/Kpts/9/200; KS.01.01.03380. TTKHKP terdiri dari pakar-pakar lintas disiplin ilmu (misalnya pemuliaan, biologi molekuler, mikrobiologi, entomologi, fitopatologi, fisiologi, genetika, rekayasa genetika, gizi, pangan, dan lintas institusi (seperti Universitas Indonesia, IPB, LIPI, BPPT, Badan POM, Bulog, Badan Litbang Kesehatan, Badan Litbang Kehutanan, Badan Litbang Pertanian, Badan Litbang DKP). Tim Teknis terbagi lima kelompok: Tanaman, Hewan, Ikan, Jasad Renik, dan Pangan.

Seperti yang telah disyaratkan bahwa keamanan hayati tanaman transgenik perlu diuji secara bertahap di ruang terisolir mulai dari tingkat laboratorium, rumah kaca hingga lapangan terbatas, untuk mengkaji kemungkinan adanya

dampak negatif dari tanaman tersebut. Untuk mengantisipasi semua itu, Badan Litbang Pertanian dengan dana Proyek ARM II membangun *Biosafety Containment* atau Fasilitas Uji Terbatas di Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. FUT terdiri dari gedung utama (*head-house*) dan rumah kaca. Enam rumah kaca dilengkapi dengan *shelldeck*, *exhaust fan*, dan *chiller* untuk memperoleh temperatur dalam ruangan mendekati temperatur udara luar dan tidak mengganggu fungsi sebagai *containment* yang memiliki kesamaan lingkungan dengan tempat tumbuh terbuka, serta untuk mengakomodasi tanaman dataran tinggi.

Evaluasi, pengkajian, dan pengkajian tanaman transgenik dilakukan secara bertahap baik melalui studi literatur, evaluasi, dan pengkajian dokumen keamanan hayati dan keamanan pangan, maupun pengujian di Fasilitas Uji Terbatas dan Lapangan Uji Terbatas.

Pengaturan pelepasan varietas

Di Indonesia, pelepasan varietas tanaman diatur melalui KepMentan. No. 902/Kpts/TP.240/12/96 tentang Pengujian, Penilaian, dan Pelepasan Varietas yang kemudian pada tahun 1998 direvisi menjadi KepMentan No. 737/Kpts/TP.240/9/98. Varietas yang dimaksud dalam KepMentan tersebut dapat berupa galur, komposit, kultivar, klon, mutan, hibrida, dan transgenik.

Tanaman transgenik yang sudah mendapatkan ketetapan aman hayati dan/atau keamanan pangan melalui rekomendasi dari KKHKP bisa diajukan untuk pelepasan varietas ke Badan Benih Nasional (BBN). BBN dalam melaksanakan tugasnya sehari-hari di bidang penilaian dan pelepasan varietas dibantu oleh Tim Penilai dan Pelepas Varietas. Anggota Tim Penilai dan Pelepas Varietas (TPPV) terdiri dari

para ahli dan ditetapkan oleh Menteri Pertanian. Apabila dianggap perlu dalam rangka pengawasan dan pembinaan, anggota TPPV dapat melakukan peninjauan ke lokasi pengujian. TPPV menilai dan mengevaluasi hasil uji adaptasi atau observasi. Apabila dipandang perlu dalam mengevaluasi tersebut TPPV dapat mengundang pakar dalam bidang keahlian tertentu sesuai dengan kebutuhan.

Suatu varietas baru hasil pemuliaan dan atau introduksi dinyatakan sebagai suatu varietas unggul setelah melalui uji adaptasi bagi tanaman semusim atau uji observasi bagi tanaman tahunan, serta lulus penilaian para ahli. Uji adaptasi dan uji observasi dilakukan di beberapa musim dan lokasi serta jumlah unit pengujian disesuaikan dengan jenis tanamannya. Ketentuan mengenai musim, lokasi, dan jumlah unit pengujian diatur lebih lanjut oleh Direktur Jenderal yang bersangkutan. Tanaman transgenik yang sudah diajukan ke TPPV dapat dilakukan uji adaptasi di berbagai lokasi. Sebelum dilepas sebagai varietas unggul baru suatu varietas unggul lebih dahulu harus melalui uji adaptasi bagi tanaman semusim atau uji observasi bagi tanaman tahunan, serta lulus penilaian para ahli. Uji adaptasi dan uji observasi dilakukan di beberapa musim dan lokasi serta jumlah unit pengujian disesuaikan dengan jenis tanamannya. TPPV akan menilai keunggulan dan kesesuaian varietas yang akan di-lepas.

Pengkajian Keamanan Hayati Tanaman Transgenik Tahan Serangga Hama

Pengkajian keamanan hayati beberapa jenis tanaman transgenik tahan serangga hama, yang berasal dari perusahaan swasta seperti PT. Monagro Kimia dan PT. Dupont (Tabel 8) telah dilakukan di

Lapangan Uji Terbatas dan/atau Fasilitas Uji Terbatas. Tanaman transgenik tersebut adalah jagung Bt tahan *Asian Corn Borer* (ACB), kapas Bt tahan *Cotton Bollworm* (CBW), dan kapas Bt/RR yang tahan *Cotton Bollworm* (CBW) dan toleran herbisida *Roundup*. Hasil evaluasi dan pengkajian terhadap dokumen dan pustaka ilmiah yang terkait (yang menyatakan bahwa produk tersebut aman hayati), serta hasil pengujian di Fasilitas Uji Terbatas dan Lapangan Uji Terbatas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Tidak menunjukkan kelainan atau abnormalitas sifat-sifat fenotipik.
2. Tidak memperlihatkan sifat *weediness* yang berpotensi sebagai gulma dan atau bersifat merusak habitat alam.
3. Tidak menimbulkan pengaruh iritasi terhadap kulit yang melebihi sifat tanaman normal (nontransgenik).
4. Tanaman transgenik yang mengandung gen Bt, baik jagung Bt maupun kapas Bt tidak mengakibatkan dampak negatif terhadap serangga berguna seperti predator, parasit, dan lebah madu.
5. Tanaman jagung dan kapas transgenik menunjukkan sifat ketahanan sesuai dengan sifat yang diunggulkan seperti tahan hama ACB dan CBW, serta tahan herbisida *glyphosate* sangat nyata dibandingkan dengan tanaman nontransgenik, membuktikan bahwa gen *cryI(ab)* dan CP4EPSPS yang ditransformasikan dapat terekspressi dengan baik.

Berdasarkan rekomendasi TTKHKP untuk KKHKP, jagung Bt dan kapas Bt telah dinyatakan aman hayati (Tabel 8), bahkan kapas Bt telah dilepas oleh Menteri Pertanian melalui surat No. 107/Kpts/KB.430/2/2001.

KESIMPULAN

1. Tanaman tahan serangga hama dapat dirakit melalui teknologi rekayasa genetik dengan menggunakan gen yang berasal dari berbagai jenis organisme.
2. Pada tahun 2002, secara global luas tanaman transgenik tahan serangga hama dan sifat gabungan dengan toleran herbisida adalah 14,5 juta ha atau 25% dari total luas area tanaman transgenik.
3. Teknologi rekayasa genetik dan produknya yang berupa tanaman transgenik tahan serangga hama telah dimanfaatkan oleh petani dan para peneliti.
4. Di Indonesia, penelitian perakitan tanaman transgenik tahan serangga hama sudah dilakukan oleh berbagai lembaga penelitian baik perguruan tinggi, departemen teknis, maupun non departemen.
5. Pemanfaatan tanaman transgenik di Indonesia diatur melalui Keputusan Bersama Menteri Pertanian, Menteri Kehutanan dan Perkebunan, Menteri Kesehatan, dan Menteri Negara Pangan dan Hortikultura No. 998.1/Kpts/OT.210/9/99; 790.a/Kpts.IX/1999; 1145A/MENKES/SKB/IX/1999; 015A/Nmeneg PHOR/09/1999 tentang Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan Produk Pertanian Hasil Rekayasa Genetik, dan Pedoman Pengujian Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan, serta KepMentan No. 737/Kpts/TP.240/9/98 tentang Pengujian, Penilaian, dan Pelepasan Varietas.
6. Manfaat tanaman transgenik tahan serangga hama berupa terjadinya pengurangan aplikasi insektisida dan kasus keracunan insektisida, serta keuntungan ekonomi bagi petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Barton, K.A., H.R. Whiteley, and N.S. Yang. 1987.** *Bacillus thuringiensis* delta endotoxin expressed in transgenic *Nicotiana tabacum* provides resistance to Lepidopteran insects. *Plant Physiol.* 85:1103-1109.
- Benedict, J. and D.W. Altman. 2001.** Commercialization of transgenic cotton expressing insecticidal crystal protein. In Jenkins, J. and S. Saha (Eds.). *Genetic Improvement of cotton: Emerging Technologies.* Science Publications, Enfield. New Hampshire, USA. 8:137-201.
- Bennet, J. 1993.** Genes for crop improvements. *Genetic Engineering* 16:93-113.
- Cheng, J., M.G. Bolyard, R.C. Saxena, and M.B. Sticklen. 1992.** Production of insect resistant potato by genetic transformation with a 3-endotoxingene from *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. *Plant Sci.* 1:83-91.
- Crickmore, N., D.R. Zeigler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. van Rie, D. Lereclus, J. Baum, and D. Dean. 1998.** Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Micrbiol. And Mol. Biol. Rev.* 62:807-813.
- Delannay, X.B., J. Laveille, R.K. Proksch, R.L. Fuschs, S.R. Sims, J.T. Greenplat, P.G. Marrone, R.B. Dobson, J.J. Augustine, J.G. Layton, and D.A. Fischhoff. 1989.** Field performance of transgenic tomato plant expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. *Plant Sci.* 1:83-91.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1995a.** Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* sub-species *kurstaki* delta endotoxin and its controlling sequences as expressed in cotton. Issued October 31, 1995.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1995b.** Pesticide Fact Sheet: Plant pesticide *Bacillus thuringiensis* cryIIIA delta endotoxin and the genetic material necessary for its production; tolerance exemption. 60 Fed. Reg. 21725.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1997.** EPA and USDA position paper on insect resistance management in Bt crops. Washington D.C. (http://www.epa.gov/opppbd/biopesticides/otherdocs/Bt_position_paper618.htm).
- Environmental Protection Agency (EPA). 1998a.** Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* cryIA (b) delta endotoxin and the genetic material necessary for its production in corn. Update to include popcorn use. Issued April 1998.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1998b.** Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* sub-species *kurstaki* cryIA(c) delta endotoxin and the genetic material necessary for its production in corn. Issued August 1998.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1998c.** Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* sub-species *tolworthi* cry9c protein and the genetic material necessary for its production in corn. Issued May 1998.
- Folmer, J.D., G.E. Erickson, C.T. Milton, T.J. Klopfenstein, and J.F. Beck. 2000a.** Utilization of Bt corn residue and corn silage for growing beef steers. Abstract 271 presented at the Midwestern Section ASAS and Midwest Branch ADSA 2000 Meeting, Des Moines, IA.
- Folmer, J.D., R.J. Grant, C.T. Milton, and J.F. Beck. 2000b.** Effect of Bt corn silage on shortterm lactational performance and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83 (5):1182 Abstract 272.
- Fuller, G. 1999.** Safety assessment of genetically modified corn: a case study. Regional symposium on genetically modified foods: benefits and awareness. Bangkok, March 17-18, 1999.
- Gatehouse, J.A., V.A. Hilder, A.M.R. Gatehouse. 1991.** Genetic engineering of plants for insect resistance. In Gierson, D. (Ed.), *Plant Genetic Engineering.* Chapman and Hall, New York. p. 105-135.
- Gatehouse, A. 1998.** Expression of snowdrop lectin (GNA) in transgenic rice plants confers resistance to rice brown planthopper. *The Plant Journal* 15(4):469-477.
- Global Knowledge Center on Crop Biotechnology (GKCCB). 2001.**

- New Starlink corn data submitted by Aventis Cropssciences. Crop Biotech Update: May 2001. ISAAA SEAsia Center and CAB International.
- Harlann, J.R. 1991.** Centres of diversity of food crops. National. April Edition.
- Held, G.A., L.A. Bulla, E. Jr. Ferrari, J. Hoch, and A.I. Aronson. 1982.** Cloning and localization of the lepidopteran protoxin gene of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*. Proc. Natl. Acad. Sci. 79:6065.
- Herman, M. 1996.** Rekayasa genetik untuk perbaikan tanaman. Buletin AgroBio 1(1):24-34.
- Herman, M. 1997.** Insect resistant via genetic engineering. In Darussamin, Kompang, I.P., and Moeljopawiro, S. (Eds.). Proceedings Second Conference on Agricultural Biotechnology. Jakarta, 13-15 June 1995: Current status of agricultural biotechnology in Indonesia, Research Development and Priorities, Agency for Agricultural Reserach and Development, Ministry of Agriculture. p. 217-226.
- Herman, M. 1999.** Tanaman hasil rekayasa genetik dan pengaturan keamanannya di Indonesia. Buletin AgroBio 3(1):8-26.
- Hilder, V.A., A.M.R. Gatehouse, and D. Boulter. 1993.** Transgenic plants conferring insect tolerance: proteinase inhibitor approach. Transgenic Plants 1:317-338.
- Hinchee, M.A.W., D.V. Connor-Ward, C.A. Newell, R.E. MC. Donell, S.J. Sato, C.S. Gasser, D.A. Fischhoff, D.B. Re, R.T. Fraley, and R.B. Horsch. 1988.** Production of transgenic soybean plants using *Agrobacterium* mediated DNA transfer. Bio/Tech. 6:915-922.
- Hoffman, M.P., F.G. Zalom, L.T. Wilson, J.M. Smilananick, L.D. Malyj, J. Kiser, V.A. Hider, and W.M. Barnes. 1993.** Field evaluation of transgenic tobacco.
- Ishimoto, M., Sato, J. Chrispeels, M.J. and K. Kitamura. 1996.** Bruchids resistance of transgenic azuki bean expressing seed α -amylase inhibitor in the common bean. Entomol. Exper. Appl. 79:309-315.
- James, C. 1997.** Global status of transgenic crops: 1997. ISAAA Brief No. 3. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 1998.** Global review of commercialized transgenic crops: 1998. ISAAA Brief No. 8. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 1999.** Global review of commercialized transgenic crops: 1999. ISAAA Brief No. 12. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2000.** Global review of commercialized transgenic crops: 2000. ISAAA Brief No. 16. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2001a.** Global review of commercialized transgenic crops: 2000. ISAAA Brief No. 23. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2001b.** Global review of commercialized transgenic crops: 2001. ISAAA Brief No. 24. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2002a.** Global review of commercialized transgenic crops: 2001 Feature Bt Cotton. ISAAA Brief No. 26. ISAAA, Ithaca, New York.
- James, C. 2002b.** Global review of commercialized transgenic crops: 2002. ISAAA Brief No. 27. ISAAA, Ithaca, New York.
- Joersbo, M. and J. Brunstedt. 1991.** Electroporation mechanism and transient expression, stable transformation and biological effects in protoplast. Physiologia Plantarum 81:256-264.
- Johnson, R., J. Narvaez, G. An, and C. Ryan. 1989.** Expression of *proteinase inhibitors* I and II in transgenic tobacco plants: effects on natural defense against *Man-duga sexta* larvae. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 86:9871-9875.
- Kaeppler, H.F., W. Gu, D.A. Sommers, H.W. Rines, and A.F. Cockburn. 1990.** Silicon carbide fiber mediated DNA delivery into plant cells. Plant Cell Rept. 9:415-418.
- Klein, T.M., M. Fromm, A. Weissinger, D. Tomes, S. Scahaa, M. Sletten, and J. Sanford. 1988.** Transformation of maize cells using high velocity microprojectile. Proc. Natl. Aca. Sci. USA. 85:4305-4309.
- Krattiger, A.F. 1997.** Insect resistance to crops: a case study of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and its transfer to developing countries. ISAAA Briefs No. 2. ISAAA: Ithaca, New York. p. 42.
- MacIntosh, S.C., T.B. Stone, S.R. Sims, P. Hunst, J.T. Greenplate, P.G. Marrone, F.J. Perlak, D.A. Fischhoff, and R.L. Fuchs. 1990.** Specificity and efficacy of purified *Bacillus thuringiensis* proteins against agronomically important species. J. Insects Path. 56:95-105.
- McClintock, J.T., C.R. Schaffer, and R.D. Sjoblad. 1995.** A comparative review of the mammalian toxicity of *Bacillus thuringiensis*-based pesticides. Pesticides Sci. 45:95-105
- Mass, C. and W. Werr. 1989.** Mechanism and optimized conditions for PEG mediated DNA transfection into plant protoplast. Plant Cell Rept. 8:148-151.
- McLean, M.A. and D.J. MacKenzie. 2001.** Principles and practice of environmental safety assessment of transgenic plants. Materials presented for Food Safety and Environmental Assesment Workshop. Bogor, April 10-12, 2001
- Mullins, M.G, F.C. Tang, and O. Facciotti. 1990.** *Agrobacterium* mediated genetic transformation of grape vines: transgenic plants of *Vitis rupestris* Schwwlw and buds of *Vitis vinefera* L. Bio/Tech. 8:1041-1045.
- Perlak, F.J., R.W. Deaton, T.A. Amstrong, R.L. Fuschs, S.R. Sims, J.Y. Greenplate, and D.A. Fischhoff. 1990.** Insect resistance cotton plants. Bio/Tech. 8:939-943.
- Perlak, F.J., R.L. Fuschs, D.A.Deans, S.L. McPherson, and D.A. Fischhoff. 1991.** Modification of the coding sequence enhances plant expression of insect control protein genes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 88:3324-3328.
- Powell, K.S., A.M.R. Gatehouse, V.A. Hilder, and J.A. Gatehouse. 1993.** Antimetabolic effects of plant lectins and plant fungal enzymes on the nymphal stages of two important rice pests, *Nilaparvata lugens* and

- Nephotettix nigropectus*. Entomol. Exp. Appl. 66:119-126.
- Rajamohan, F. and D.H. Dean. 1995.** Molecular biology of *Bacillus thuringiensis*. The workshop on Bt-technology for agriculture. Plant Genetic Engineering Unit, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Kasetsart University, Thailand.
- Rao, K.V., K.S. Rathore, T.K. Hodges, X. Fu, E. Stoger, D. Sudhakar, S. Williams, P. Christou, M. Bharathi, D.P. Brown, K.S. Powell, J. Spence, A.M.R. Gatehouse, and J. Russell, and T. Peterson. 1999.** Bt corn and non-Bt corn crop residues equal in grazing value. Extension News, June 30, 1999. Iowa State University Extension, Ames.
- Russell, J. and T. Peterson. 1999.** Bt corn and non-Bt corn crop residues equal in grazing value. Extension News, June 30, 1999. Iowa State University Extension, Ames.
- Russell, J.R., M.J. Hersom, A. Pugh, K. Barrett, and D. Farnham. 2000.** Effects of grazing crop residues from Bt-corn hybrids on the performance of gestating beef cows. Abstract 244 presented at the Midwestern Section ASAS and Midwest Branch ADSA 2000 Meeting, Des Moines, IA.
- Ryan, C.A. 1990.** *Proteinase inhibitors* in plants: genes for improving defenses against insects and pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 28: 425-449.
- Sanders, P.R., T.C. Lee, M.E. Groth, J.D. Astwood, and R.L. Fuchs. 1998.** Safety assessment of insect-protected corn. In Thomas, J.A. (Ed.). *Biotechnology and Safety Assessment*. p. 241-256. Taylor & Francis.
- Schroeder, H.E., S. Gollasch, A. Moore, L.M. Tabe, S. Craig, D. Hardie, M.J. Chrispeels, D. Spencer, and T.J.V. Higgins. 1995.** Bean α -amylase inhibitor confers resistance to the pea weevil, *Bruchus pisorum*, in genetically engineered peas (*Pisum sativum* L.). Plant Physiol. 107:1233-1239.
- Shaddock, J.A. 1983.** Some observations on the safety evaluation of nonviral microbial pesticides. Bull. W.H.O. 61:117-128.
- Shade, R.E., H.E. Schroeder, H.E. Pueyo, L.M. Tabe, L.L. Murdock, T.J.V. Higgins, and M.J. Chrispeels. 1994.** Transgenic pea seeds expressing the α -amylase inhibitor of the common bean are resistant to bruchid beetles. Bio/Technology 12:793-796.
- Sticklen, M.B. 1991.** Direct somatic embryogenesis and fertile plants from rice root cultures. J. Plant Physiol. 138:577-580.
- Teng, P. 2001.** Who are the beneficiaries of biotechnology aside from multinational companies? Biotechnology Awareness and Risk Communication Workshop. Bogor, February 14-15, 2001. ISAB and ISAAA.
- Tim Teknis Keamanan Hayati dan Keamanan Pangan (TTKHKP). 2000.** Laporan pengujian keamanan hayati jagung Bt di Fasilitas Uji Terbatas.
- Tim Teknis Keamanan Hayati (TTKH). 1999.** Laporan pengujian keamanan hayati tanaman transgenik (jagung Bt, jagung *Roundup Ready*, kapas Bt, kapas *Roundup Ready*, dan kedelai *Roundup Ready*) di Lapangan Uji Terbatas.
- Warren, W., N.B. Carozzi, N. Desai, and M. Koziel. 1992.** Field evaluation of transgenic tobacco containing a *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein gene. J. Econ. Entomol. 5:1651-1659.
- Watson, J.D., M. Gilman, J. Witkowski, and M. Zoller. 1992.** Recombinant DNA. Scientific American Book. New York. 626 p.
- Wilson, F. D., M.F. Lint, W.R. Deaton, D.A. Fischhoff, F.J. Perlak, T.A. Armstrong, R.L. Fusch, S.A. Berberich, N.J. Parks, and B.R. Stapp. 1992.** Resistance of cotton lines containing a *Bacillus thuringiensis* toxin to pink ballworm (Lepidoptera:Gelechiidae) and other insects. J. Econ. Entomol. 4:1516-1521.
- Zhong, H., C. Srinivasan, and M.B. Sticklen. 1991.** Plant regeneration via somatic embryogenesis in creeping bent grass (*Agrostis palustris* Huds.). Plant Cell Rept. 10:453-456.
- Zhong, H., C. Srinivasan, and M.B. Sticklen. 1992.** *In vitro* morphogenesis of corn (*Zea mays* L.) II. Differentiation of ear and tassel clusters from cultured shoot apices. Planta 187:490-497.