

Pemanfaatan Tanaman Hasil Rekayasa Genetik: Status, Regulasi, dan Metode Deteksi di Indonesia

Bahagiawati dan Sutrisno

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

ABSTRACT

Application of Genetically Modified Crops: Status, Regulation, and Detection Method in Indonesia. Bahagiawati and Sutrisno. Global area of transgenic crop was increase tremendously. The number of country accepting of planting and/or marketing the transgenic crops and its derivative products also become more numerous. However, due to existing controversy on the benefit and risk, the application of transgenic crops was governed by regulations to protect the consumer and environment from its unwanted effects. There are some international conventions that managing and controlling the uses of these crops, one of them was Cartagena protocol that Indonesia ratified in 2004. Indonesia also launched a regulation upon labelling package food derived from transgenic crops in 1999. To implement either the Cartagena protocol and labelling regulation, Indonesia needs to increase its capacity to detect the present of the transgenic crop product either in raw, and processed food. This review will discuss about the development of the application of transgenic crop and its product globally, and list of transgenic crops that have been accepted and approved as safe for human consumption and environment. The regulations upon the application of transgenic crop in Indonesia also be informed. Some methodologies to detect the presence of the genetically modified food that are generally use in some countries also be discussed in this review.

Key words: Transgenic crop, regulation, detection method, laboratory.

PENDAHULUAN

Salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan dalam program pemuliaan tanaman untuk meningkatkan produksi pertanian adalah teknologi rekayasa genetika. Teknologi ini telah terbukti menghasilkan tanaman transgenik yang luas areal penanamannya telah mengalami peningkatan lebih dari 40 kali, yaitu sejak dari 1,7 ha pada saat diintroduksi pada tahun 1996 menjadi 67,7 juta pada tahun 2003 (James 2003). Sepertiga bagian dari total area pertanaman transgenik tersebut, 20 juta ha ditanam di negara-negara yang sedang berkembang. Pada tahun 2003 lebih dari 10 juta petani di 25 negara telah menanam tanaman transgenik dengan total *market value* mencapai US\$ 4 miliar. Negara-negara tersebut antara lain

Amerika Serikat 42,8 juta ha (63%), Argentina 13,9 juta ha (21%), Kanada 4,4 juta ha (6%), Brazil 3 juta ha (4%), China 2,8 juta ha (4%), dan Afrika Selatan 0,4 juta ha (1%) (James 2003). Pada tahun 2006, 19 jenis tanaman transgenik telah ditanam yang terdiri dari kedelai, jagung, kanola, bunga *camation*, lentil, gula beet, bunga matahari, gandum (terigu), *linseed*, *melon*, *chicory*, rumput *bentgrass*, kentang, pepaya, padi, *squash*, tembakau, tomat, dan alfalfa (Agbios 2006). Peningkatan penanaman tanaman transgenik diikuti oleh peningkatan peredaran hasil tanaman transgenik, baik dalam bentuk bahan dasar berupa biji-bijian, bahan makan setengah jadi maupun makanan jadi di pasar global.

Keberadaan tanaman transgenik dan produknya di pasar dunia telah memicu reaksi masyarakat yang kontroversial. Hal ini disebabkan antara lain produk rekayasa genetika ini merupakan hasil teknologi baru yang belum teruji sebelumnya seperti produk teknologi konvensional yang telah dipakai selama puluhan bahkan ratusan tahun. Namun demikian, sejak produk tanaman transgenik ini dipasarkan pada tahun 1996 tercatat juga penerimaan produk ini di pasaran global yang dinyatakan oleh pernyataan dari berbagai negara, terutama negara-negara industri, bahwa beberapa produk yang telah dipasarkan aman untuk dikonsumsi manusia dan hewan ternak. Produk tanaman transgenik ini telah diterima di beberapa negara konsumen secara legal, negara-negara tersebut menerima dan menyetujui untuk memasarkan produk tanaman transgenik ini dengan mengeluarkan pernyataan persetujuan (*approved*) bahwa produk tanaman transgenik ini aman untuk makanan manusia dan ternak. Beberapa jenis tanaman dan negara yang menyatakan persetujuan disajikan pada Tabel 1.

Kekhawatiran dampak negatif produk tanaman transgenik telah memicu beberapa negara untuk membuat, mengesahkan, dan menerapkan peraturan-peraturan yang menjamin pemanfaatan hasil bioteknologi modern ini agar tidak membahayakan pemakai (konsumen) serta tidak merusak keanekaragaman hayati. Untuk melindungi hak konsumen untuk memilih asal dan jenis produk yang akan digunakan, maka diadakan peraturan-peraturan yang mengatur tentang pelabelan produk asal tanaman transgenik. Beberapa

negara yang telah mempunyai peraturan ini disajikan pada Tabel 2.

Keberadaan undang-undang untuk pelabelan produk hasil rekayasa genetika (*Genetically Modified Organism* atau GMO) memerlukan metode untuk mendeteksi keberadaan GMO dalam suatu produk pangan atau pakan yang berasal dari tanaman transgenik. Metode untuk mendeteksi keberadaan GMO terus berkembang dengan pesat, namun sampai saat ini belum ada standardisasi secara internasional maupun regional. Sejak akhir tahun 1990-an telah dipublikasi

beberapa metode yang didapatkan oleh beberapa laboratorium di berbagai negara. Karena belum adanya standard internasional maka berbagai negara mengembangkan metodenya masing-masing dan kemudian menjadikannya semacam pedoman nasional mereka.

Tujuan tinjauan ini adalah untuk menguraikan status tanaman transgenik, produk serta regulasinya di Indonesia dan metode deteksi GMO yang umum digunakan di dunia.

Tabel 1. Daftar tanaman transgenik yang telah disetujui (*approved GMO*) aman untuk dimakan manusia dan negara yang menyetujuinya.

Jenis tanaman	Sifat yang diintroduksi	Jumlah (event)*	Negara-negara yang telah mengkaji dan menyetujui aman untuk dimakan manusia
Alfalfa	Toleran herbisida	1	Kanada, Meksiko, Filipina
Kanola Argentina	Toleran herbisida	15	Amerika Serikat, Kanada, Jepang, China, Uni Eropa, Australia
Kanola Polandia	Toleran herbisida	2	Kanada
Kapas	Tahan hama, toleran herbisida	15	Amerika Serikat, Kanada, Australia, Argentina, China, India, Jepang, Meksiko, Filipina, Afrika Selatan, Brazil
Linseed	Toleran herbisida	1	Amerika Serikat, Kanada
Lentil	Toleran herbisida	1	Kanada
Jagung	Toleran herbisida, tahan hama, pemulih fertilitas, sterilitas jantan, peningkatan kandungan lisin	32	Amerika Serikat, Jepang, Kanada, Filipina, Taiwan, China, Argentina, Australia, Uni Eropa, Afrika Selatan, Belanda, Inggris, Swiss, Korea Selatan, Rusia, Uruguay
Melon	Perlambatan pemasakan buah (<i>delay ripening</i>)	1	Amerika Serikat
Kentang	Tahan hama, tahan virus	4	Australia, Kanada, Jepang, Filipina, Amerika Serikat
Padi	Tahan herbisida	3	Kanada, Amerika Serikat
Kedelai	Tahan herbisida, kadar minyak	7	Australia, Amerika Serikat, Argentina, Brazil, Rusia, Inggris, Taiwan, Jepang, Afrika Selatan, Uruguay, Meksiko, Uni Eropa, Switzerland, Korea Selatan, China,
Labu squash	Tahan virus	2	Kanada, Amerika Serikat
Papaya	Tahan virus	1	Kanada, Amerika Serikat
Sugar beet	Toleran herbisida	3	Kanada, Amerika Serikat, Filipina, Australia, Jepang
Bunga matahari	Toleran herbisida	1	Kanada
Tomat	Perlambatan masak buah, tahan hama	6	Kanada, Amerika Serikat, Jepang, Meksiko,
Gandum	Toleran herbisida	5	Kanada, Amerika Serikat

* Telah dikaji dan disetujui aman untuk dimakan manusia.

Sumber: Agbios (2006).

Tabel 2. Daftar negara-negara yang telah mempunyai peraturan pelabelan.

Negara	Keharusan pelabelan	Persentase ambang (<i>threshold</i>)	Label
Australia dan New Zealand	Mandatory	1,0	Genetically modified
Brazil	Mandatory	1,0	Genetically modified
Kanada	Voluntary	5,0	Non-genetically modified
China	Mandatory	1,0	Genetically modified
Uni Eropa	Mandatory	0,9	Genetically modified
Indonesia	Mandatory	5,0	Genetically modified
Israel	Mandatory	0,9	Genetically modified
Jepang	Mandatory	5,0	Genetically modified
Filipina	Voluntary	n/a	Genetically modified
Rusia	Mandatory	0,9	Genetically modified
Saudi Arabia	Mandatory	1,0	Genetically modified
Korea Selatan	Mandatory	3,0	Genetically modified
Swiss	Mandatory	0,9	Genetically modified
Taiwan	Mandatory	5,0	Genetically modified
Thailand	Mandatory	5,0	Genetically modified
USA	Voluntary	n/a	Non-genetically modified dan organik

Mandatory (keharusan); voluntary (voluntir).

Sumber: Viljoen (2005).

STATUS TANAMAN TRANSGENIK, PRODUK, DAN REGULASINYA DI INDONESIA

Pada tahun 2001, pemerintah Indonesia telah memberi izin untuk menanam tanaman transgenik untuk pertama kali, yaitu kapas Bt (*Bollgard*) untuk 7 kabupaten di Sulawesi Selatan. Perizinan pelepasan kapas Bt ini tidak memerlukan waktu lama karena kapas Bt ini bukan bahan makanan. Namun demikian, karena berbagai alasan pada tahun 2003 perusahaan yang mempunyai bisnis kapas Bt ini memutuskan tidak meneruskan usahanya (Bermawie *et al.* 2003). Secara tidak langsung, beberapa produk tanaman transgenik juga telah beredar di Indonesia selama beberapa tahun. Untuk memenuhi kebutuhan pangan dan pakan, Indonesia mengimpor sebagian besar kedelai dan jagung dari luar negeri. Misalnya, pada tahun 2003 dengan produksi kedelai hanya 672,4 ribu ton (BPS 2004), Indonesia harus mengimpor kedelai dari luar negeri sebanyak 2,5 juta ton untuk memenuhi kebutuhan kedelai tersebut. Kedelai impor itu sebagian besar (sekitar 70-90%) didatangkan dari USA dan Argentina yang merupakan negara utama penanam tanaman transgenik di dunia (Swaco Prima Windutama 2005). Hal serupa juga terjadi pada jagung. Meskipun Indonesia menghasilkan jagung, namun produksi dalam negeri saat ini tidak mampu memenuhi kebutuhan masyarakat yang terus meningkat. Pada saat ini, 43% kebutuhan jagung digunakan sebagai bahan pangan, dan selebihnya untuk pakan (Kasryono 2002). Indonesia pada tahun 2004 mengimpor 700 ribu ton jagung terutama dari USA, dan Argentina (Swaco Prima Windutama 2005). Oleh sebab itu, tidak dapat dipungkiri bahwa produk tanaman transgenik itu juga telah beredar di Indonesia selama beberapa tahun ini.

Indonesia telah mempunyai beberapa peraturan yang mengatur pemanfaatan tanaman transgenik seperti Undang-undang tentang Pangan No. 7 tahun 1996 dan Peraturan Pemerintah No. 21 tahun 2005 yang merupakan revisi dari peraturan yang berlaku sebelumnya. Di samping itu, sejak tahun 1999, Indonesia telah mengeluarkan peraturan mengenai pelabelan produk GMO melalui Peraturan Pemerintah 69 tahun 1999. Pada tahun 2004 juga telah dikeluarkan peraturan mengenai pangan produk rekayasa genetika melalui Peraturan Pemerintah No. 28 tahun 2004. Namun, implementasi dari peraturan pelabelan Peraturan Pemerintah No. 69 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah No. 28 tahun 2004 belum terlaksana, karena belum ada petunjuk pelaksanaan untuk peraturan yang ada dan mungkin karena belum tersedianya fasilitas serta sumber daya manusia yang memadai untuk mengimplementasikan peraturan tersebut.

Sampai saat ini beberapa aplikasi untuk pelepasan komersial tanaman transgenik telah diajukan dan sedang diproses di Komisi Nasional Keamanan Hayati melalui Tim Teknis Keamanan Hayati (Tabel 3).

Dalam upaya harmonisasi metode serta berbagi pengalaman dan kemampuan pada tahun 2004 telah dibentuk jejaring (network) deteksi makanan hasil rekayasa genetika di ASEAN dengan nama ASEAN *Genetically Modified Food Testing Network* yang diprakarsai dan dikoordinasi oleh Singapura dan Indonesia menjadi salah satu anggotanya. Pertemuan anggota jejaring dilakukan sekali setahun, sedangkan tempat pertemuan digilir antara anggota dengan sekretariat ASEAN di Jakarta sebagai pihak penyelenggaranya.

Sampai saat ini, Indonesia hanya memiliki empat laboratorium yang melaksanakan deteksi GMO, yang

Tabel 3. Status pengkajian keamanan hayati dan pangan produk rekayasa genetika pada tingkat Tim Teknis Keamanan Hayati pada tahun 2006.

Tanaman	Sifat yang diintroduksi (nama tanaman)	Propo-nent (tahun pengajuan)	FUT	LUT	Multilokasi	Hasil kajian	Status
Jagung	Tahan penggerek (MON810)	Dupont (2002)	Selesai				Menunggu keputusan
	Toleran herbisida (GA-21)	Monsanto (2002)	Selesai	Selesai		Aman lingkungan	Menunggu keputusan
	Toleran herbisida (NK603)	Monsanto (2002)	Selesai	Selesai			Menunggu keputusan
Kapas	Tahan hama penggerek buah kapas (Bollgard)	Monsanto (1998)	Selesai	Selesai	Selesai		Sudah dilepas pada tahun 2001, tahun 2003 terhenti
Kedelai	Toleran herbisida (GTS 40-3-2)	Monsanto (2002)	Selesai	Selesai			Menunggu keputusan
Padi	Tahan penggerek batang (padi Bt)	LIPI (2003)	Selesai	Sedang berjalan			Sedang proses pengumpulan data untuk pengkajian keamanan
Tebu	Toleran kekeringan (tebu bet A)	PTPN XI (2003)	Selesai	Sedang berjalan			Sedang proses pengumpulan data untuk pengkajian keamanan

Tidak satupun dari komoditas di atas yang telah dikaji keamanan pangan dan pakannya, FUT = fasilitas uji terbatas, LUT = uji lapangan terbatas. Sumber: Bahagiawati *et al.* (2006).

terdiri atas dua laboratorium milik pemerintah, yaitu Departemen Pertanian (BB-Biogen) dan Badan POM, serta dua laboratorium milik swasta, yaitu PT Saraswanti dan Universitas Atmajaya (Tabel 4).

METODE DETEKSI BAHAN MAKANAN DAN MAKANAN MENGANDUNG GMO

Sebelum memasuki uraian detail dari metode deteksi perlu juga diketahui mengenai gen-gen apa saja yang umumnya dijumpai pada tanaman transgenik beserta sifat yang diintroduksi, serta tanaman transgenik yang banyak beredar dan telah diteliti metode deteksinya. Kedua hal ini penting untuk menetapkan gen target yang akan dideteksi kemudian. Di samping itu, keperluan akan material rujukan (*reference material*) juga akan diuraikan sebelum memasuki metode deteksi yang umum digunakan.

Tanaman Transgenik Hasil Rekayasa Genetika

Tanaman transgenik merupakan tanaman hasil rekayasa di mana diintroduksi seutas (sepotong) DNA dari organisme lain pada genom tanaman tersebut. Proses ini dikenal dengan istilah transformasi. Potongan DNA yang diintegrasikan pada genom tanaman ini biasanya didapatkan dari organisme yang ada di alam seperti bakteri dan tanaman juga. Konstruksi gen yang diintroduksi ke tanaman pada umumnya mengandung 3 elemen, yaitu (1) promoter yang berfungsi untuk mengaktifkan dan menidakaktifkan gen yang diintroduksi, (2) gen yang diintroduksi yang mengekspresikan sifat yang diinginkan, dan (3) terminator, yaitu untuk menghentikan signal pembacaan dari sekuen gen yang diintroduksi dalam proses pembentukan protein (Viljoen 2005). Ada beberapa promoter yang sering digunakan dalam perakitan tanaman transgenik, tetapi yang umumnya digunakan adalah P-35S yang berasal dari *Cauliflower Mosaic Virus*. Sekuen untuk terminator adalah T-NOS yang umumnya berasal dari *Agrobacterium tumefaciens*.

Hampir seluruh tanaman transgenik yang telah dikomersialkan mengandung promoter P-35S dan terminator T-Nos atau T-35S. Oleh sebab itu, sekuen P-35S dan T-Nos ini sering dipakai untuk skrining GMO. Namun demikian, skrining dengan cara ini sering menimbulkan false positif yang berasal dari kontaminasi tanaman dengan virus atau bakteri yang berada di tanaman sampel.

Walaupun suatu GMO mempunyai gen yang insersi, promoter dan terminator yang sama, maka mereka dipertimbangkan sebagai tanaman transgenik yang berbeda (dengan event yang berbeda) dan diberi nama yang berbeda pula karena mereka berbeda pada lokasi genom tanaman di mana gen diinsersikan.

Transgen yang Banyak Dijumpai pada GMO yang Banyak Beredar di Dunia

Ketahanan tanaman terhadap serangga hama disebabkan oleh introduksi gen *cry* (*cry1Ab*, *cry1Ac*, *cry1F*, *cry2b*, *cry3A*, *cry3Bd1*, dan *cry9c*) dari berbagai subspecies bakteri tanah *B. thuringiensis* (Viljoen 2005). Gen *cry* ini mengkode toksin "Bt", sebuah delta-endotoksin, yang bersifat racun bagi beberapa spesies serangga, termasuk hama tanaman. Toksin Bt ini melekat (binding) pada sel reseptor di saluran pencernaan serangga, yang mengacaukan aliran-ion, yang menyebabkan saluran pencernaan tidak berfungsi dan kematian serangga. Mamalia tidak mempunyai reseptor ini di saluran pencernaannya sehingga keberadaan toksin Bt ini tidak akan mempengaruhi pencernaan mamalia (Hofte dan Whiteley 1989).

Ada dua jenis toleransi herbisida dalam tanaman transgenik berdasarkan bahan aktif dari herbisida, yaitu *glyphosate* (umumnya dikenal dengan Roundup Ready) atau *phosphinothricin* (Viljoen 2005). *Glyphosate* menghambat sintesis asam amino esensial di tanaman, khususnya asam amino aromatik phenylalanin, tirosin, dan triptophan secara meniru analognya yang menghambat enzim *5-enolpyruvylshikimate-3-*

Tabel 4. Laboratorium yang melakukan uji deteksi GMO di Indonesia.

Institusi	Jenis pengujian	Profesiensi tes yang sudah diikuti
Laboratorium BB-Biogen	Kualitatif	Indonesian Accreditation Committee (KAN)-2003 Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation/APLAC-China (2004)
Laboratorium POM	Kualitatif	Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation/APLAC-China (2004) ASEAN-Malaysia (2005)
Laboratorium Saraswanti	Kualitatif dan semi-kuantitatif	Indonesian Accreditation Committee (KAN)-2003 Central Science Laboratory (CSL)-UK (2003) Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation/APLAC-China (2004)
Laboratorium Bioteknologi Universitas Atmajaya	Kualitatif	Belum terakreditasi dan belum pernah mengikuti profesiensi tes

Sumber: Bahagiawati (2006).

phosphate synthase (EPSPS). Tanaman transgenik untuk toleran herbisida mengandung enzim EPSPS yang telah dimodifikasi sehingga toleran *glyphosate*, yang diisolasi dari bakteri *Agrobacterium tumefaciens*. Gen ini juga digunakan bersama-sama dengan gen yang mengkode enzim *glyphosate oxidoreductase* (GOX) yang meniadakan *glyphosate* tersebut. Tipe lainnya adalah toleran herbisida yang mencakup herbisida *phosphinotricin*. Bahan aktif dalam *phosphinotricin* adalah *glufosinate ammonium* yang dapat menghambat enzim *glutamine synthase* yang akan mengakumulasi amonium sehingga membunuh tanaman. Gen ini diisolasi dari bakteri tanah *Streptomyces viridochromogenes* yang mengkode PAT (enzim *phosphinotricin-N-acetyltransferase*) yang meniadakan *glufosinate*. Gen ini digunakan untuk pengendalian gulma.

Beberapa metode PCR bagi beberapa tanaman transgenik jagung yang umumnya beredar telah dipublikasi, misalnya metode deteksi tanaman transgenik atau produknya seperti jagung transgenik Bt11, MON810, event186, T25, dan GA-21. Target gen dari tanaman jagung transgenik di atas disajikan pada Tabel 5.

Material Rujukan Bersertifikat (Certified Reference Materials)

Material rujukan yang dapat dipercayai sebagai kontrol positif dan negatif menyediakan dasar bagi validasi dari prosedur analisis dan performan metode dan laboratorium yang melakukannya. Tiap jenis GMO memerlukan material rujukan yang spesifik. Biji-bijian GMO, konstruk plasmid/vektor dan protein murni dapat dijadikan material rujukan. Penggunaan material rujukan berupa biji-bijian lebih menggambarkan situasi alamiah karena ia akan menghilangkan efek matriks, sedangkan plasmid dan protein dapat disiapkan dalam jumlah besar dan lebih konsisten. Ketersediaan material rujukan sangat terbatas karena adanya *Intellectual Property Right* (IPR). Adanya *Institute of Reference Materials and Measurements* (IRMM) di *Joint Research*

Center (JRC) di Geel, Belgia, menyediakan beberapa material rujukan bersertifikat yang dapat dibeli melalui FLUKA (Buchs, Switzerland) dan AOCS (Illinois, Amerika Serikat) untuk kedelai transgenik, jagung transgenik, dan tanaman transgenik lainnya (Pan 2002, AOCS 2006).

Proses Pendeteksian GMO

Beberapa tahap diperlukan untuk mendeteksi keberadaan GMO baik dalam bahan makanan ataupun makanan jadi. Tahapan tersebut meliputi: pengambilan contoh (selanjutnya disebut *sampling*), isolasi dan purifikasi DNA, deteksi termasuk disini identifikasi molekul yang terdeteksi, dan kuantifikasi jika diperlukan. Deteksi hendaknya menggunakan metode deteksi yang telah teruji (jika memungkinkan telah diverifikasi dan lulus profisiensi tes) untuk menghindarkan hasil yang *false negative* (hasil uji negatif namun sebenarnya sampel mengandung GMO) atau *false positive* (hasil uji positif namun sebenarnya sampel tidak mengandung GMO).

Pengambilan Contoh atau *Sampling*

Langkah pertama untuk pendeteksian keberadaan GMO dalam bahan makanan dan makanan jadi adalah *sampling*. *Sampling* ini selayaknya memakai proses statistik yang benar. Bayangkan saja bahwa sampel yang datang misalnya kedelai bulk dari sebuah kapal laut. Berapa banyak kedelai yang harus dianalisis sebagai sampel? Bagaimana jika sampel berupa makanan kaleng yang terdiri dari ribuan kaleng yang berada dalam suatu supermarket? Apakah kita akan menganalisis satu per satu butir kedelai atau kaleng tersebut untuk mendapatkan satu atau beberapa kaleng yang mengandung GMO? Misalnya suatu makanan saus tomat dalam kaleng sebanyak 1000 kaleng yang dibuat dari tomat bukan transgenik sebanyak 10.000 buah tomat namun tercampur dengan 50 buah tomat transgenik dalam proses pembuatannya; bagaimana cara mendeteksinya?

Tabel 5. Tanaman jagung transgenik dan gen-gen yang diintroduksi.

Nama Event	Karakteristik	Gen yang diinsersi		
		Promoter	Struktur	Terminator
Event176-jagung (Novartis)	Tahan penggerek fosphinotricin-toleran herbisida	1) P-PEPC p-CDPK 2) P-35S	1) dua sintetik <i>cry1A(b)</i> 2) bar	1) I9, T-35S
Bt11-jagung (Novartis)	Tahan penggerek, fosphinotricin-toleran herbisida	1) P-35S dengan IVS6-int 2) P-35 dengan IVS2 int	1) sintetik <i>cry1Ab</i> 2) sintetik bar	1) nos 2) nos
MON810-jagung (Monsanto)	Tahan penggerek	1) P-35S dengan hsp-70-int	1) sintetik <i>cry1Ab</i>	1) nos
T25-jagung (AgrEvo)	Fosphinotricin-toleran herbisida	1) P-35S	1) sintetik bar	2) T-35S
GA21-jagung (Monsanto)	Glyphosate-toleran herbisida	1) Pr-act dengan OTP	1) M-epsps	1) nos
CBH-351-jagung (AgrEvo)	Tahan penggerek, fosphinotricin-toleran herbisida	1) P-35S 2) P-35S	1) <i>cry9C</i> 2) bar	1) 35S poly A signal

Sumber: Chiueh *et al.* (2002).

Ukuran sampel dan bagaimana teknik *sampling* (prosedur *sampling*) merupakan isu yang penting dalam pendeteksian bahan makanan dan makanan jadi yang mengandung GMO. *Sampling* yang benar akan menghindarkan dipakainya sampel yang tidak homogen. Perencanaan sampel harus dilakukan menurut metode statistik yang benar, dan besar ukuran sampel (jumlah sampel) harus cukup agar dapat mewakili bahan yang dianalisis. Bahan makanan dalam bentuk kasar (*raw material*) seperti biji-bijian harus dihaluskan menjadi tepung dan kemudian dicampur secara homogen, dan kemudian dipakai sebagai bahan untuk mengekstrak (isolasi) baik DNA maupun protein. Meskipun sampai sekarang belum ada protokol yang telah dikembangkan untuk *sampling* sampel guna deteksi GMO namun beberapa institusi di beberapa negara telah menerbitkan metode *sampling* baku seperti *Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration* (GIPSA) di Departemen Pertanian USA (USDA 2006) dan Kementerian Kesehatan, Tenaga Kerja dan Kemakmuran di Jepang (*Ministry of Health, Labour and Welfare Japan* 2006), Uni Eropa (Kay dan Paoletti 2001) dan *Codex Alimentarius Commissions* (2004).

Metode Deteksi GMO

Deteksi GMO atau derivatnya dapat dilakukan umumnya melalui deteksi baik dari DNA, dan/atau protein. Majoritas metode adalah DNA, hanya sedikit saja metode yang menggunakan protein. Umumnya metode yang didasarkan protein lebih sederhana, mudah, dan murah untuk dilakukan, namun ia mempunyai beberapa kelemahan, seperti hanya dapat mendeteksi bahan dasar (biji-bijian dan tepung), dan tidak dapat dipakai pada makanan yang mengalami proses panjang seperti tahu, tempe, dan makanan lainnya. Perbedaan antara kedua metode ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Pendeteksian Berdasarkan Protein

Identifikasi berdasarkan protein memerlukan antibodi monoklonal yang diproduksi berdasarkan protein spesifik yang dikode oleh gen yang diinsersi. Metode berdasarkan protein ini dapat digunakan pada bahan makanan yang masih utuh seperti biji-bijian dan bahan makanan setengah jadi, selama proteinnya belum terdenaturasi atau rusak karena proses pembuatan makanan jadi tersebut. Pendeteksian berdasarkan protein ini terbagi dalam dua bagian besar, yaitu *Lateral Flow Strip* (LFS) dan ELISA. Jika menggunakan LFS, sampel harus dihancurkan menjadi tepung/materi yang sangat halus, dihomogenkan, dan ditambah dengan buffer sehingga protein dapat diekstraksi dan LFS kemudian dicelupkan ke dalam bufer yang telah berisi sampel. Setelah beberapa menit, hasil tes yang positif ditandai oleh garis berwarna di strip yang disebabkan oleh reaksi antibodi dengan protein. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan murah untuk mendeteksi GMO secara kualitatif.

Metode ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Analysis*) memerlukan teknik ekstraksi protein yang lebih rumit yang kemudian diikuti oleh deteksi antibodi di dalam piringan yang berisi banyak sumur-sumur kecil (*micro-well plate*). Reaksi positif ditentukan oleh reaksi warna yang dapat dibaca secara visual atau dengan analisis optik (*Optical Density* atau OD) secara kualitatif. Untuk analisis kuantitatif, sebuah kurva standar harus dibuat memakai material rujukan (*reference materials*) dari GMO yang telah diketahui konsentrasinya, yaitu dengan memplotting persen GMO terhadap OD hasil dari reaksi protein yang akan ditentukan dengan antibodi. Hasil reaksi positif dari sampel yang tidak diketahui dikuantifikasi dengan membandingkan dengan kurva OD sampel dengan kurva standar dari material rujukan. Beberapa hasil penelitian yang melaporkan bahwa teknik deteksi GMO dengan LFS dan ELISA dapat digunakan telah dipublikasi (Ahmed 2002,

Tabel 6. Persamaan dan perbedaan antara metode deteksi GMO berdasarkan DNA dan protein.

Berdasarkan DNA (PCR dan sejenisnya)	Berdasarkan protein (<i>Lateral Flow Strip</i> , ELISA, dan sejenisnya)
Deteksi DNA Tidak dapat digunakan pada sampel yang tidak mengandung DNA Memerlukan standarisasi metode <i>sampling</i> dan ekstraksi Memerlukan laboratorium yang lengkap untuk mendapatkan data yang akurat Memerlukan material rujukan Sangat sensitif sehingga sering terjadi false positif Memerlukan informasi detail dari gen yang diinsersi Umumnya menjawab secara kualitatif, kecuali jika menggunakan kompetitif dan <i>real-time</i> PCR Memerlukan waktu yang relatif lama Memerlukan biaya tinggi	Deteksi protein Tidak dapat digunakan apabila di dalam sampel tidak terdapat protein Memerlukan standarisasi metode <i>sampling</i> dan ekstraksi Tidak memerlukan laboratorium yang lengkap untuk mendapatkan data akurat Memerlukan material rujukan Tidak begitu sensitif Memerlukan informasi tentang protein yang diekspresikan oleh gen yang diinsersi Jawaban bisa kualitatif dan kuantitatif Dapat dites dalam waktu cepat (1-2 jam) Biaya tes relatif murah

Sumber: www.afic.org/detecting.

Brett *et al.* 1999, Fagan 2001, Lipton 2001, Chiueh *et al.* 2002). Beberapa perusahaan seperti Strategic Diagnostics Inc (www.sdix.com), EviroLogix Inc (www.envirologix.com), dan Neogen (www.neogen.com) telah memproduksi dan menjual berbagai jenis tes kit untuk mendeteksi GMO menggunakan LFS dan ELISA.

Metode Berdasarkan DNA

Dari beberapa metode yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan GMO, seperti PCR, LCR, fingerprint (RFLP, AFLP, dan RAPD), PCR adalah metode yang banyak digunakan dan umumnya diterima untuk memenuhi peraturan-peraturan (legalitas) untuk mendapatkan persetujuan (*approval*) penggunaan GMO dan derivatnya untuk pangan dan pakan dan untuk label produk di pasar.

Metode Ekstraksi DNA

Saat ini ada dua metode isolasi DNA yang banyak digunakan, yaitu metode CTAB dan DNA *binding silica column* yang umumnya diproduksi secara komersial tes kit oleh perusahaan di luar negeri. Metode CTAB berdasarkan inkubasi sampel pada detergen *hexadecyltrimethylammonium bromide*. Beberapa kit ekstraksi DNA berdasarkan DNA-*binding silica* yang dijual adalah Wizard™ yang diproduksi oleh Promega (Wisconsin, USA) dan Dneasy Plant mini kit dari Qiagen (Hilden, Germany).

Efisiensi dari PCR, seperti pada metode DNA lainnya sangat tergantung pada kualitas dan kemurnian DNA yang diisolasi. Kualitas DNA ditentukan oleh ukuran fragmen (utas) DNA dan tingkat kerusakannya. Kerusakan DNA dapat terjadi karena ia terhidrolisis karena panas, pH rendah, dan nuklease dan degradasi yang disebabkan oleh enzim lainnya. Kemurnian DNA tergantung adanya kontaminan seperti polisakarida, lemak dan poliphenol atau bahan kimia lainnya yang digunakan sewaktu proses isolasi. Taq polymerase dapat dihambat kerjanya oleh polisakarida, EDTA, phenol dan SDS (Pan 2002) sehingga produk PCR tidak bisa didapatkan.

Metode ekstraksi dan purifikasi yang benar dan terpercaya sangat dibutuhkan terutama untuk menghilangkan efek matriks, yaitu bentuk makanan yang telah mengalami proses pembuatan yang panjang, misalnya sirup jagung, minyak jagung, susu kedelai, tempe, kecap, tahu dari kedelai dan lain sebagainya.

Beberapa aspek yang krusial dalam pendeteksian GMO adalah jumlah atau kuantifikasi dari GMO dalam suatu sampel, karena maksimal konsentrasi GMO dalam suatu bahan makanan, makanan setengah jadi dan makanan jadi merupakan dasar pada peraturan

pemberian label yang diberlakukan di beberapa negara seperti Uni Eropa, Jepang, Korea Selatan, dan Taiwan. Oleh sebab itu, pendekatan PCR secara kuantitatif sangat diperlukan.

Kualitatif PCR

Teknik PCR yang pertama kali dikenal dan digunakan secara luas adalah *end-point* PCR. *End-point* PCR ini adalah PCR di mana hasil/produk hanya bisa dilihat dan diamati apabila proses PCR telah selesai. Pengamatan dilakukan dengan gel elektroforesis. Pada *end-point* PCR digunakan dua buah primer. Kedua primer tersebut didesain untuk berhibridisasi pada dua buah sekuen utas DNA yang berlawanan dari gen yang diintroduksi dan kemudian memperbanyak sekuen diantara kedua primer beberapa juta kali melalui siklus yang berulang-ulang. Perbanyakkan utas DNA ini kemudian ditelaah dengan gel-elektroforesis yang dapat memisahkan DNA berdasarkan ukurannya. Biasanya *end-point* PCR ini digunakan untuk analisis kualitatif deteksi GMO pada bahan makanan dan makanan jadi. Proses ini di dalam alur pendeteksian dikenal dengan istilah skrining di mana gen targetnya adalah gen-gen yang umum digunakan dalam proses transformasi tanaman seperti 35S dan Nos. Skrining ini hanya dipakai untuk menentukan keberadaan GMO pada sampel tanpa bisa mengetahui secara spesifik event mana yang terdeteksi, serta tidak dapat digunakan untuk mengetahui ketidakberadaan GMO pada sampel yang diuji. Untuk mengetahui apakah sampel mengandung GMO dari event-event tertentu maka digunakan PCR dengan memakai primer spesifik dari event tertentu. Biasanya primer ini mempunyai target sekuen dari sebagian promoter dan gen yang diinsersi.

Semikuantitatif Kompetitif PCR

Analisis dengan metode semikuantitatif kompetitif PCR biasanya berdasarkan perbandingan jumlah akhir DNA yang diamplifikasi dari dua DNA target, yang pertama adalah DNA yang akan ditentukan jumlahnya dan DNA dari kompetitornya yang dibuat secara artifisial. DNA kompetitor ditambahkan dalam jumlah kecil dan telah diketahui konsentrasinya sebelum proses PCR dimulai, yang kemudian diamplifikasi bersama-sama dengan DNA target yang akan ditentukan konsentrasinya. Setelah PCR selesai, amplifikasi produk dapat dilihat pada gel elektroforesis dan jika kedua DNA target menghasilkan hasil yang sama, maka diasumsikan bahwa jumlah DNA semula (starting DNA) juga sama. Dengan setting dua kompetitif PCR, satu untuk GMO yang akan ditentukan (kedelai RR atau kedelai yang diduga GMO) dan satu lagi untuk spesies yang diteliti (kedelai non-GMO), dengan menyertakan

kompetitor pada keduanya maka kuantitas GMO relatif ke spesiesnya dapat diperkirakan dengan meng-ekstrapolasi dari tingkat pengenceran dan konsentrasi kompetitornya. Beberapa penelitian telah dipublikasi dan melaporkan bahwa bahwa metode deteksi GMO dengan kompetitif PCR dapat dilakukan untuk mendeteksi GMO dan dapat memberikan hasil yang akurat (Hubner *et al.* 1999, Wurz *et al.* 1999). Namun metode ini masih diperdebatkan karena sebagian peneliti beranggapan bahwa satu-satunya metode yang akurat untuk kuantitatif adalah hanya real-time PCR. Hal ini disebabkan dari pengalaman ber tahun-tahun terjadi ketidakonsisten hasil dari kompetitif PCR ini.

Kuantitatif *Real-time* PCR

Metode yang umum dipakai untuk analisis kuantitatif PCR adalah *real-time* PCR. Tidak seperti PCR konvensional (*end-point* PCR) di mana visualisasi dari hasil amplifikasi hanya dapat dilakukan sewaktu proses PCR telah selesai, maka pada *real-time* PCR ini proses proses amplifikasi tiap siklus amplifikasi dapat diamati. Amplifikasi PCR dapat diamati dengan menggunakan *dye fluorescent* atau *fluorescent probe*. *Dye* (pewarna) yang dapat mewarnai *double-stranded* DNA (SYBR Green I) dapat digunakan sebagai non-spesifik sistem untuk mendeteksi amplifikasi semua DNA target. Deteksi spesifik dilakukan dengan memakai *probe fluorescent* untuk mengenal segmen internal dari sekuen target, yaitu baik dengan probe hibridisasi (FRET) atau probe hidrolisis (TaqMan). Untuk kuantifikasi GMO lebih disenangi menggunakan deteksi spesifik untuk menghindarkan masalah yang disebabkan oleh non-spesifik amplifikasi. Penggunaan probe ini mempunyai kelebihan, yaitu dapat mendeteksi dan sekaligus memverifikasi sekuen target. Salah satu teknik probe hidrolisis TaqMan adalah memakai mesin ABI Prism 7700 yang dapat mendeteksi 2 pg dalam 1 gram MM dan RRS setelah 3 jam setelah DNA ekstrasi.

Beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan metode *real-time* PCR dapat mendeteksi GMO secara kuantitatif dengan hasil yang akurat (Vaitilingom *et al.* 1999, Wurz *et al.* 1999). Pada akhir-akhir ini metode ini merupakan metode yang paling umum dipakai untuk deteksi GMO secara kuantitatif, walaupun metode ini memerlukan biaya yang relatif mahal dibandingkan dengan metode lainnya. Di samping itu, juga memerlukan pelaksana (SDM) yang telah terlatih.

Metode deteksi GMO terus berkembang, di mana beberapa penelitian dilakukan misalnya deteksi GMO dengan multiplex PCR di mana dipakainya beberapa primer dalam satu kali PCR *running* sehingga dapat

menghemat biaya dan waktu, deteksi GMO dengan mikroarray, *capillary gel electrophoresis*, biosensor dan genosensor. Teknologi-teknologi tersebut baru pada tahap perkembangan dan akan memerlukan waktu beberapa tahun lagi untuk dapat digunakan secara rutin dan ekonomis yang nantinya akan melengkapi atau menggantikan metode yang digunakan sekarang ini (Viljoen 2005, James *et al.* 2003).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Peningkatan penanaman tanaman hasil rekayasa genetika dan peredaran produknya terjadi secara global.
2. Peraturan-peraturan untuk menjamin keamanan pangan dan pakan hasil teknologi ini juga berkembang.
3. Indonesia telah mempunyai peraturan, namun belum sepenuhnya diterapkan karena antara lain pedoman pelaksanaan peraturan sedang dalam proses pembuatan.
4. Indonesia mempunyai empat laboratorium yang dapat menguji GMO, namun masih perlu ditingkatkan kapasitasnya.
5. Metode deteksi GMO berdasarkan DNA dan protein terus berkembang di dunia.
6. Metode deteksi berdasarkan protein umumnya dengan LFS dan ELISA yang banyak dijual berupa tes kit.
7. Metode deteksi berdasarkan DNA umumnya menggunakan teknik PCR; teknik PCR kemudian dimodifikasi seperti kompetitif PCR dan *real-time* PCR sehingga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif.

Saran

Berhubung Indonesia telah mempunyai undang-undang dan peraturan yang mengatur tentang bahan makanan dan makanan berasal dari GMO maka diperlukan suatu komitmen untuk menerapkan peraturan-peraturan dan undang-undang tersebut dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini diperkuat lagi oleh ratifikasi Indonesia pada Protocol Cartagena dengan undang-undang No. 21 tahun 2004 sehingga mau tidak mau Indonesia harus memenuhi kesepakatan yang tercantum dalam protokol tersebut di mana untuk ini sangat diperlukan adanya *framework* serta peningkatan SDM dan fasilitas (dalam hal ini laboratorium) hingga Indonesia dapat menguji keberadaan GMO pada bahan makanan dan makanan baik tujuan impor dan ekspor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, E.E. 2002.** Detection of genetically modified organisms in foods. *Trends in Biotechnology* 20(5):215-223.
- Agbios. 2006.** Agbios database. <http://www.agbios.com>.
- AOCS. 2006.** Certified Reference Materials. <http://www.aocs.org>.
- Badan Pusat Statistik. 2004.** Statistik perdagangan luar negeri Indonesia. Impor. Badan Pusat Statistik, Jakarta-Indonesia. Katalog BPS 8106.
- Bahagiawati, E.M. Lokollo, Supriyati, dan Sutrisno. 2006.** Estimasi biaya penelitian tanaman transgenik dan biaya regulasi untuk persetujuan pelepasan komersil di Indonesia. Laporan Akhir kerjasama *International Food Policy Research Institute* dengan BB-Biogen. (mimeograf).
- Bahagiawati. 2006.** GMF Testing in Indonesia. Country report in 3rd meeting of ASEAN GMF Testing Network. Bangkok, Thailand. (mimeograf).
- Bermawie, N., Bahagiawati A.H., K. Mulya, D. Santoso, Budihardjo Sugiarto, E. Juliantini, Syahyuti, Erizal, Hasnam, and A. Trisyono. 2003.** Development and impact of the release of LMOs and their commercial products (the case of Bt cotton and imported soybean. A National Biosafety Framework GEF-UNEP Research Report. 54 p.
- Brett, G.M., S.J. Chamber, L. Huang, and M.M.R. Morgan. 1999.** Design and development of immunoassays for detection of proteins. *Food Control* 10:401-406.
- Codex Alimentarius Commission. 2004.** Report of the 25 session of the CODEX Committee on methods of analysis and sampling. Budapest, Hungary. 28 June-July 3, 2004. Codex Circular Letter CL2004/-8MAS.
- Chiueh, Lih-Ching, Y.L. Chen, and Y.C. Shih. 2002.** Study on the detection method of six varieties of genetically modified maize and processed foods. *J. Food and Drug Analysis* 10(1):25-33.
- Fagan, J. 2001.** Performance assessment under field conditions of a rapid immunological test for transgenic soybeans. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36:1-11.
- Hofte, H. and H.R. Whiteley. 1989.** Insecticidal crystal protein of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53(2):242-255.
- Hubner, P., E. Studer, and J. Luthy. 1999.** Quantitative competitive PCR for detection of genetically modified organisms in food. *Food Control* 10:353-358.
- James. C. 2003.** Preview: Global status of commercially transgenic crops: 2003. ISAAA Briefs No. 30-2003. Ithaca, New York.
- James, D., A. Schmidt, E. Wall, M. Green, and S. Masri. 2003.** Reliable detection and identification of genetically modified maize, soybean, and canola by multiplex PCR analysis. *J. Agric. Food Chem.* 51(20):5829-5834.
- Kasryono. 2002.** The progress of world maize production and consumption for the last four decades and its implication in Indonesia. A paper presented at one day seminar on maize agribusiness. Bogor, June 24, 2002.
- Kay, S. and C. Paoletti. 2001.** Sampling strategies for GMO detection and/or quantification. European Commission Directorate General JRC, Institute for Health and Consumer Protection. 16 p.
- Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan. 2006.** <http://www.mhlw.go.jp/english/topics/food/sec05-1a.html>.
- Pan, Ming-Tsu. 2002.** Current status and detection of genetically modified organism. *J. Food and Drug Analysis* 10(4):229-241.
- Swaco Prima Windutama. 2005.** Sekilas tentang bioteknologi pertanian. Croplife Indonesia. Representing the plant science industry. 5 hlm.
- USDA. 2006.** Grain Inspection Handbook Book I. USDA-GIPSA.
- Wurz, A., A. Bluth, P. Zeltz, C. Pfeifer, and R. Willmund. 1999.** Quantitative analysis of genetically modified organisms (GMO) in processed food by PCR-based methods. *Food Control* 10:385-389.
- Vaitilingom, M., H. Pijnenburg, F. Gendre, and P. Brignon. 1999.** Real-time quantitative PCR detection of genetically modified Maximixer maize and round-up ready soybean in some representative foods. *Journal Agric. Food Chem.* 47(12):5261-5266.
- Viljoen, C.D. 2005.** Detection of living modified organism (LMOs) and the need for capacity building. *Asian Biotechnol. and Dev. Review* 7(3):55-69.
-