JURNAL ILMU TANAH DAN LINGKUNGAN, OKTOBER 2000, h. 32-36 VOL. 3, No. 2
Journal of Soil Sciences and Environment, Oktober 2000, p. 32-36 ISSN 1410-7333

ANALISIS RESIKO LINGKUNGAN TANAMAN TRANSGENIK

Environmental Risk Assessment on Transgenic Plants

Dwi Andreas Santosa

Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup,
dan Pusat Penelitian Bioteknologi IPB
Kampus IPB Darmaga, Jl. Meranti, Darmaga, Bogor
E-mail: dsantosa@indo.net.id

PENDAHULUAN

Tanaman transgenik merupakan fenomena baru di bidang pertanian saat ini. Tanaman tersebut telah menimbulkan pendapat pro maupun kontra yang luas baik di kalangan ilmuwan maupun di masyarakat. Hingga saat ini belum pernah ada uji komprenhensif mengenai pengaruh tanaman transgenik terhadap lingkungan di wilayah tropika. Tidak adanya referensi di satu sisi menyulitkan peneliti untuk menganalisis pengaruh tanaman transgenik di wilayah tropis, sedangkan di sisi lain justru menjadi tantangan luar biasa bagi peneliti Indonesia untuk mengembangkan metodologi analisis resiko lingkungan tanaman transgenik yang sesuai dengan kondisi lingkungan di Indonesia.

Analisis resiko (*risk assessment*) terdiri dari empat tahap: identifikasi bahan berbahaya (*hazard identification*), penilaian atas dosis yang diberikan (*dose-response evaluation*), analisis pendedahan (*exposure assessment*), dan karakterisasi resiko (*risk characterization*).

Identifikasi bahan berbahaya didefinisikan sebagai "penetapan apakah suatu jenis bahan kimia memberikan atau tidak memberikan pengaruh terhadap kesehatan". Penetapan suatu bahan dikatagorikan berbahaya biasanya melalui penelitian dalam kondisi terkendali pada dosis-dosis tertentu. Terkait dengan tanaman transgenik tahan hama, bahan berbahaya merupakan produk gen (contohnya toksin Bt), atau produk metabolisme sekunder (contohnya glikoalkaloid) yang terekspresikan atau berubah akibat modifikasi genetik. Berkaitan dengan kajian resiko ekologis, pengaruh penyebaran gen (*gene flow*) atau dampak bahan berbahaya terhadap organisme non-target dikelompokkan sebagai "bahaya potensial".

Penilaian atas dosis yang diberikan adalah penetapan keterkaitan antara besarnya pendedahan yang terjadi dan kemungkinan timbulnya efek merugikan. Banyak bahan hanya akan menimbulkan efek yang merugikan hanya jika berada dalam konsentrasi tinggi, misalnya beberapa inhibitor proteinase, sehingga dikelompokkan memiliki tingkat bahaya rendah. Sebaliknya, beberapa glikoalkaloid tanaman sudah menyebabkan gangguan kesehatan pada dosis yang rendah.

Analisis pendedahan adalah penetapan besarnya pendedahan oleh bahan toksik dalam kondisi tertentu. Pendedahan toksin yang dihasilkan tanaman transgenik terhadap spesies non-target terkait dengan kajian resiko ekologis, sedangkan pendedahan terhadap manusia dikatagorikan sebagai kajian resiko terhadap kesehatan.

Karakterisasi resiko mempertimbangkan semua hal di atas. Selain itu karakterisasi resiko memerlukan juga kajian kuantitatif mengenai kemungkinan munculnya pengaruh buruk pada kondisi pendedahan tertentu misalnya satu diantara 10.000 orang akan terganggu kesehatannya pada kondisi tersebut.

TANAMAN TRANSGENIK DAN POTENSI RESIKO

Potensi Resiko Bt-Transgenik Terhadap Kesehatan Manusia

Pembahasan menyeluruh mengenai tanaman transgenik sulit dilakukan karena tiap tanaman transgenik unik yang tergantung tanaman serta gen yang ditransfer ke tanaman tersebut.

Dalam upaya membatasi ulasan, maka dalam tulisan ini hanya akan dibahas tanaman transgenik tahan hama yang disisipi gen *cry* dari bakteri tanah *Bacillus thuringiensis (Bt)*.

Potensi resiko tanaman Bt-transgenik terhadap kesehatan manusia pada umumnya berkaitan dengan kemungkinan munculnya alergen baru atau toksin pada varitas tanaman pangan yang direkayasa, kemungkinan adanya alergen baru dalam serbuk sari tanaman, atau kemungkinan munculnya kombinasi antar protein yang membentuk struktur baru yang tidak dikenal yang menyebabkan efek pleitropik ataupun efek sekunder yang sulit diprakirakan. Selain itu penggunaan marker gen resisten antibiotik digunakan juga sebagai salah satu pertimbangan.

Masalah ini tidak akan dibahas terlalu panjang dalam tulisan ini karena semua tanaman transgenik yang telah masuk katagori *non-regulated status* telah mengalami berbagai uji yang sangat ketat berkaitan dengan kemungkinan produk tanaman bersangkutan menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia (NRC, 2000).

Potensi Resiko Bt-Transgenik Terhadap Organisme Non-Target

Potensi resiko dapat dikelompokkan menjadi dua, *pertama*, pengaruh langsung yang merupakan pengaruh buruk komponen toksik terhadap herbivora, omnivora, dan mikroorganisme bukan target yang memakan bagian tanaman yang masih hidup (Hare, 1992) atau detritivora yang memakan bagian tanaman yang mati. *Kedua*, resiko tidak langsung terhadap spesies non-target melalui spesies antara. Sebagian besar kajian yang ada saat ini mengenai pengaruh tanaman tahan hama terhadap rantai makanan merupakan hasil kajian terhadap tanaman Bt-transgenik (Hoy *et al.*, 1998). Beberapa kajian dilakukan juga terhadap tanaman tahan hama konvensional serta galur liarnya yang memiliki karakteristik pertahanan terhadap hama yang berbeda dengan tanaman Bt-transgenik.

Pengaruh Langsung. Bulu-bulu daun atau eksudat yang dikeluarkan bulu daun yang dimiliki tanaman tahan hama konvensional dapat membunuh predator atau parasitoid hama target secara langsung (Bottrel and Barbosa, 1998). Senyawa allelokimia dalam trichoma tomat tahan hama beracun terhadap parasitoid (*Campoletis sonorensis*) ulat jagung (*Helicoverpa zea*). Perubahan kelicinan daun serta perubahan arsitektur tanaman dapat mempengaruhi kejituan musuh alami dalam menemukan makanannya. Perubahan profil bahan volatil yang dikeluarkan tanaman pada kultivar baru dapat mengacaukan sistem sensor musuh alami hama yang menyebabkan populasinya menurun (Bottrel and Barbosa, 1998, Schuler *et al.*, 1999).

Susunan kimia tanaman pakan ternak dapat berpengaruh besar terhadap ternak dan lebah. Beberapa senyawa kimia tersebut dapat terikut ke dalam susu serta madu lebah. Ahli pemuliaan tanaman sudah lama mengenal bahwa beberapa kultivar tanaman pakan ternak berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan dan kesehatan ternak (Reitz and Caldwell, 1974). Saponin pada alfalfa, terpenoid gossypol pada kapas, serta beberapa toksin yang dihasilkan tanaman baik liar maupun domestik berbahaya bagi hewan. Beberapa toksin tanaman yang mirip dengan toksin yang ada dalam tanaman tahan hama dapat ditemukan dalam jaringan tanaman yang membusuk dapat membahayakan kehidupan detritivora atau organisme tanah lainnya (Horner *et al.*, 1988).

Tanaman Bt-transgenik tidak memiliki dampak terhadap lebah madu dalam berbagai uji sebagaimana yang dipersyaratkan EPA (EPA, 1998). Tetapi konsentrasi toksin Cry1Ab yang tinggi dalam tanaman diketahui toksik terhadap *Collembola* yang merupakan mata rantai detritus yang penting (EPA, 1997). Toksin Bt lainnya, Cry9C, sebaliknya tidak toksik terhadap spesies *Collembola* yang sama (EPA, 1998). Cry1Ab beracun terhadap *Daphnia*, sedangkan Cry9C tidak (EPA, 1997 dan 1998). Tanaman Bt-transgenik yang mengandung toksin Cry1A nampaknya berpengaruh negatif terhadap lepidoptera non-target yang memakan tanaman tersebut (NRC, 2000).

Serbuk sari dari tanaman tahan hama dapat tersebar ke tumbuhan sekitar yang kemudian termakan oleh insekta non-target pemakan daun. Milkweed (*Asclepias* sp.) merupakan tumbuhan yang umum ditemukan di sekitar ladang jagung di AS. Milkweed merupakan satu-satunya makanan larva kupu-kupu monarch. Studi laboratorium membuktikan bahwa dosis tinggi serbuk sari jagung Bt yang disebarkan di atas daun milkweed membunuh larva kupu-kupu monarch (Losey *et al.*, 1999). Penelitian lain yang dilakukan oleh Hansen dan Obrycki (1999) menghasilkan hasil yang sama.

Mereka memberi makan larva kupu-kupu tersebut dengan daun milkweed yang diambil disekitar ladang jagung Bt. Studi tersebut memperlihatkan akibat negatif Bt jagung terhadap kehidupan kupu-kupu monarch yang hidup disekitar ladang tersebut.

Uji lapang dilakukan oleh peneliti lain (Kendall, 1999). Mereka menemukan bahwa perlu paling sedikit 500 serbuk sari per cm^2 untuk menyebabkan larva kupu-kupu monarch sakit. Tumbuhan milkweed yang langsung berdekatan dengan ladang jagung Bt terkontaminasi rata-rata 78 serbuk sari per cm^2. Delapan puluh delapan persen milkweed dalam jarak satu meter dari tanaman jagung Bt tercemar serbuk sari dalam jumlah lebih rendah dari dari ambang batas toksisitas terhadap larva kupu-kupu monarch.

Pengaruh Tidak Langsung. Tanaman transgenik Bt dapat berpengaruh buruk terhadap insekta berguna. Penilaian harus mempertimbangkan pengaruh tanaman tersebut baik terhadap hama target maupun insekta berguna. Jika pengaruhnya terhadap hama lebih besar daripada pengaruh buruknya terhadap musuh alami hama tersebut, maka varitas tersebut secara keseluruhan dipandang menguntungkan (Kauffman and Flanders, 1985).

Dari hasil kajian di amerika utara, secara umum pengendalian hama menggunakan pestisida berakibat jauh lebih buruk terhadap kehidupan musuh alami hama dibanding penggunaan tanaman resisten hama yang dikembangkan dengan menggunakan teknologi transgenesis. Dalam kajian yang dilakukan selama 4 tahun di lima lokasi di Wisconsin, diperoleh data bahwa populasi predator rata-rata 63,8% lebih rendah di lahan-lahan yang ditanami kentang non-Bt yang dilindungi dari hama dengan menggunakan pestisida dibanding dengan lahan-lahan yang ditanami kentang Bt-transgenik (Hoy *et al.*, 1998). Populasi parasitoid pada lahan-lahan yang disemprot pestisida 58,4% lebih rendah dibanding di areal pertanaman Bt-transgenik. Pemakaian pestisida untuk mengendalikan kepik Colorado yang menyerang kentang seringkali menyebabkan meledaknya populasi aphid yang kemudian muncul sebagai hama sekunder. Dalam tiga (dari 4) tahun penelitian tersebut, populasi aphid (tidak dipengaruhi oleh toksin Bt) lebih rendah di lahan yang ditanami kentang Bt dibanding lahan yang dikelola secara konvensional.

Pertanyaan yang mungkin lebih relevan adalah, apa dampak yang ditimbulkan terhadap keragaman hayati agro-ekosistem bila melalui bioteknologi berhasil dikembangkan dan ditanam secara besar-besaran berbagai macam tanaman transgenik dengan hama target berbeda-beda yang jika dijumlahkan secara kumulatif mampu membunuh hampir semua jenis insekta pemakan tanaman.

Potensi Resiko akibat Penyebaran Gen dari Tanaman Bt-Transgenik

Selama berabad-abad gen dari tanaman budidaya telah tersebar ke kerabat liarnya. Gen yang meningkatkan kebugaran pada tanaman transgenik sudah barang tentu dapat juga tersebar ke tumbuhan sekerabat.

Untuk mengevaluasi kemungkinan tersebarnya gen dari tanaman transgenik maka perlu diketahui berapa banyak serbuk sari yang tersebar dari satu tanaman, seberapa jauh penyebarannya, dengan cara apa, apakah gen tersebut dapat stabil jika telah tertranfer ke kerabat liarnya, dan yang terpenting apakah kerabat liarnya ada di wilayah tersebut. Selain itu perlu juga diketahui apakah transgen tersebut yang tersebar melalui serbuk sari meningkatkan "sifat gulma" dari kerabat liar tanaman tersebut.

Tahap pertama untuk menganalisis apakah ada dampak buruk yang muncul akibat penyebaran gen tanaman Bt-transgenik ke kerabat liar adalah menentukan tanaman-tanaman budidaya yang mampu kawin silang dengan kerabat liarnya. Jagung, kedelai, tomat dan kapas memiliki kemungkinan kecil untuk menyerbuki kerabat liarnya, apalagi jika wilayah bersangkutan bukan merupakan tempat asal kerabat liar tanaman-tanaman tersebut (NRC, 2000). Sebaliknya beberapa spesies tanaman dapat kawin silang dengan kerabat liarnya misalnya wortel, bunga matahari, padi, lobak, bit, gambas, *poplar*, *oilseed rape*, dan beberapa rumput-rumputan. Hibridisasi antar spesies bahkan genus yang berbeda kadang-kadang dapat terjadi terutama jika keduanya berasal dari induk (*ancestor*) yang sama.

Hibrid antar tanaman dan kerabat liarnya biasanya memiliki fertilitas lebih rendah dibanding induknya. Keturunan-keturunan selanjutnya yang muncul akibat perkawinan hibrid dengan tumbuhan liar tersebut akan menyebabkan sifatnya semakin mendekati genotip liarnya.

Penyebaran gen dari tanaman transgenik seringkali dianggap sebagai suatu ancaman terhadap keanekaragaman hayati. Sebagai contoh penyebaran transgen ke kerabat liar yang statusnya terancam punah (*endangered*), terutama di pusat-pusat keanekaragaman hayati. Semua tanaman baik transgenik maupun bukan memiliki potensi sama untuk menyisipkan sifat genetik baru ke tumbuhan liar melalui hibridisasi. Pendapat lain yang menyatakan bahwa transfer gen resisten hama ke kerabat liar yang terancam punah menyebabkan penurunan populasi dan penurunan keanekaragaman genetik, menurut beberapa ilmuwan pendapat tersebut secara ilmiah sulit diterima (NRC, 2000).

Potensi Resiko Munculnya Resistensi Hama akibat Bt-Transgenik

Dalam sejarah pengelolaan hama terbukti bahwa insekta, gulma, dan patogen memiliki kemampuan berevolusi yang menyebabkan dirinya resisten terhadap segala upaya untuk menghambat populasinya. Perhatian terhadap resiko munculnya resistensi hama menyebabkan dikembangkannya cabang keilmuan baru yang dikenal sebagai *pest-resistance management*.

Berkaitan dengan pengelolaan resistensi hama, banyak peneliti telah melakukan kajian baik lapang maupun laboratorium untuk memahami mekanisme adaptasi insekta terhadap toksin Bt. Kira-kira 1/1000.000 hingga 1/1000 insekta tahan toksin Bt diduga sudah ada dalam suatu populasi sebelum tempat hidup insekta tersebut ditanami Bt-transgenik. Penanaman Bt-transgenik yang memiliki dosis toksin tinggi akan menyebabkan beberapa insekta yang memiliki kombinasi tepat gen-gen yang diperlukan untuk adaptasi akan tetap hidup. Jika mereka kawin satu dengan yang lain, maka keturunannya akan menjadi resisten terhadap toksin Bt, yang menyebabkan populasi hama tidak lagi dapat dikendalikan oleh tanaman Bt-transgenik.

Penanaman tanaman non-Bt (*refuges*) pada lahan Bt-transgenik merupakan salah satu cara untuk mempertahankan populasi hama peka Bt dalam jumlah yang cukup memadai. Hama resisten kemudian akan kawin dengan hama non-resisten yang menghasilkan keturunan yang tidak lagi memiliki kombinasi tepat gen-gen yang diperlukan untuk adaptasi terhadap toksin Bt. Penanaman *refuge* tersebut bersama-sama dengan Bt-transgenik akan memperpanjang waktu adaptasi insekta 10 kali lipat (sebagai contoh, dari 5 tahun untuk adaptasi menjadi 50 tahun) jika teknik tersebut dijalankan dengan benar dan disiplin (Gould, 1998, Roush, 1997, Tabashnik, 1994).

Potensi Resiko Tanaman Bt-Transgenik Terhadap Ekologi Tanah

Bt-transgenik akan mensekresikan toksin yang diproduksinya ke dalam tanah. Toksin tersebut langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi kehidupan baik makro-, meso- maupun mikrobiota yang ada di dalam tanah. Selain itu bagian-bagian tanaman yang gugur akan memasuki lingkungan tanah dan mempengaruhi kehidupan yang ada di dalamnya. Tanaman transgenik juga akan melepaskan DNA asingnya ke dalam tanah. Persistensi DNA di dalam tanah akan meningkatkan kemungkinan terjadinya transfer gen horizontal dari tanaman transgenik ke bakteri. Beberapa penelitian terakhir merujuk ke kemungkinan terjadinya mekanisme tersebut (Gerbard and Smalla, 1999, Nielsen *et al.*, 2000).

PENUTUP

Hingga saat ini praktis belum ada laporan yang memadai mengenai dampak tanaman transgenik Bt di wilayah tropika yang memiliki keanekaragaman hayati sangat tinggi. Hal ini menimbulkan tantangan bagi ilmuwan Indonesia untuk melakukan riset dan kajian mendalam mengenai resiko tanaman transgenik terutama Bt di wilayah tropika sekaligus mengembangkan strategi pengelolaan resiko bila dampak negatif yang tidak diharapkan muncul. Kajian analisis resiko lingkungan selama minimal tiga tahun diperlukan untuk melihat dampak tersebut.

Dampak yang lebih penting adalah dampak ekonomi dan sosial. Bila tanaman transgenik ditanam besar-besaran di seluruh dunia (pada tahun 2000 seluas 44,2 juta hekatar) maka akan terjadi pergeseran penguasaan benih dari mula-mula *common property,* dimana petani menjadi pemilik benih yang bisa disimpan dan ditanam berulang kali menjadi milik beberapa perusahaan besar multinasional (hingga saat ini hanya 6 perusahaan multinasional yang menguasai benih transgenik komersial). Penanaman tanpa ijin sudah barang tentu akan melanggar *property right* yang bisa dituntut ke pengadilan. Pemerintah perlu mengembangkan peraturan terkait yang mengedepankan kepentingan petani serta merumuskan kebijakan yang berdasarkan bukti ilmiah serta persepsi terhadap resiko yang bisa dipertanggungjawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

Bottrell, D.G. and P. Barbosa. 1998. Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: A realistic strategy. Annu. Rev. Entomol. 43:347-367.

EPA. 1997. Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* CryIA(b). Delta Endotoxin and Genetic Material Necessary for Its Production in Corn. Issued August 28.

EPA. 1998. Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* subspecies *tolworthi* Cry9C Protein and Genetic Material Necessary for Its Production in Corn. Issued May.

Hansen, L. and Obrycki. 1999. Non-target effects of Bt corn pollen on the Monarch butterfly (Lepidoptera: *Danaidae*). Abstract. Iowa State University.

Hare, J.D. 1992. Effects of plant variation on herbivore-natural enemy interactions. Pp. 278-298. *In* R.S. Fritz and E.L. Simms (Eds). Plant Resistance to Herbivores and Pathogens: Ecology, Evolution, and Genetics. University Chicago Press.

Homer, J.D., J.R. Gosz, and R.G. Cates. 1988. The role of carbon-based plant secondary metabolites in decompostion in terrestrial ecosystems. Am. Natural. 132:869-883.

Hoy, C.W., J. Feldman, F. Gould, G.G. Kennedy, G. Reed, and J.A. Wyman. 1998. Naturally occuring biological controls in genetically engineered crops. Pp. 185-205. *In* P. Barbosa (Ed). Conservation Biological Control. Academic Press, N.Y.

Gerbard, F, and K. Smalla. 1999. Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistance of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. FEMS Microbiol, Ecol. 28:261-272.

Gould, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology. Annu. Rev. Entomol. 43:701-726.

Kauffman, W.G. and R.V. Flanders. 1985. Effect of variability resistance soybean and lima bean cultivars on *Pediobius foveolatus* (Hymenoptera:Eulophidae), a parasitoid of the Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). Environ. Entomol, 14:678-682.

Kendall, P. 1999. Monarch butterfly so far not imperiled-gene-altered corn gets an early OK in studies. Chichago Tribune, November 2, page 4.

Losey, J.E., L.S. Raynor, and M.E. Carter. 1999. Transgenic pollen harms Monarch larvae. Nature 399:214.

Nielsen, K.M., J.D. van Elsas and K. Smalla. 2000. Transformation of *Acinetobacter* sp. Strain BD413 (pFG4Δ*nptII*) with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of kanamycin on selection of transformans. Appl. Environ. Microbiol. 66:1237-1242.

NRC. 2000. Genetically Modified Pest-Protected Plants: Science and Regulation. National Research Council. Washington.

Reitz, L.P, and B.E. Caldwell. 1974. Breeding for safety in field crops. Pp. 31-44. *In* C.H. Hanson. The Effect of FDA Regulations (GRAS) on Plant Breeding and Processing. Crop Science Society of America Special. Publ. 5. Madison, W.I.

Roush, R.T. 1997. Managing resistance to transgenic crops. Pp. 271-294. *In* N. Carrosi and M. Koziel (Eds). Advances in Insect Control: The Role of Transgenic Plants. Taylor and Francis, London.

Schuler, T.H., G.M. Poppy, B.R. Kerry, and I. Denholm. 1999. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. Tibtech. 17:210-216.

Tabashnik, B.E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annu. Rev. Entomol. 39:47-79.