

p-ISSN : 2339-0468

e-ISSN : 2686-5424

Bioed

JURNAL PENDIDIKAN BIOLOGI

JBe

Volume
11

Nomor
1

Halaman
1-111

Ciamis
Maret 2023

p-ISSN : 2339-0468
e-ISSN : 2686-5424

Dewan Redaksi
Bioed (Jurnal Pendidikan Biologi)
<https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/bioed/index>

1. Editor in Chief

No.	Nama	Sinta id	Scopus id	Afiliasi
1.	Euis Erlin, Dra., M.Kes	5982327	57200994762	Universitas Galuh

2. Editorial Board Member

No.	Nama	Sinta id	Scopus id	Afiliasi
1.	Dr.rer.nat Adi Rahmat, M.Si	5986402	57193865264	Universitas Pendidikan Indonesia
2.	Dr. Jeti Rachmawati, Ir., MP	5982331	5797086000	Universitas Galuh
3.	Nur Ilmiyati, Dra., MM., M.Pd	5982179	-	Universitas Galuh
4.	Taupik Sopyan, S.Pd., M.S	5982419	-	Universitas Galuh
5.	Romdah Romansyah, S.Pd., M.Pd., M.Si	6100541	-	Universitas Galuh
6.	Feri Bakhtiar Rinaldi, S.Pd., M.Si	6779874	-	Universitas Galuh

3. Reviewer

No.	Nama	Sinta id	Scopus id	Afiliasi
1	Dr. Toto, M.Pd	6061876	57209773306	Universitas Galuh
2	Prof. Dr. Dadi M.Si	6124373	-	Universitas Galuh
3	Dr. Adun Rusyana, M.Pd	6790008	-	Universitas Galuh
4	Dr. Riandi, M.Si	5995561	57195056290	Universitas Pendidikan Indonesia
5	Dr. Diana Hernawati, M.Pd	6011693	57201897487	Universitas Siliwangi
6	Dr. Anna Fitri Hindriana, M.Pd	6009051	57216505906	Universitas Kuningan
7.	Dr. Ilah Nurlaelah, M.Si	6005131	57216950017	Universitas uningan
8.	Dr. Setiono, M.Pd	6110330	57196237667	Universitas Muhammadiyah Sukabumi
9.	Dr. Dharmono, M.Si	6071478	57214135658	Universitas Lambung Mangkurat
10.	Warsono, Drs., MS	6174737	-	Universitas Galuh
11.	Lia Yulisma S.Pd. M.Si	5982123	-	Universitas Galuh
12.	Mimi Halimah, S.Pd, M.Si	5991783	57190856354	Universitas Pasundan

KATA PENGANTAR REDAKSI

BIOED merupakan jurnal ilmiah yang dikelola dan diterbitkan oleh Program Studi Pendidikan Biologi. Bioed memuat hasil penelitian atau kajian teoretis yang berkaitan dengan pengembangan dan peningkatan Pendidikan Biologi (kurikulum, pembelajaran, laboratorium, dan lingkungan) atau telaah kritis, penuangan ide-ide orisinal dalam ruang lingkup pendidikan Biologi, kajian biologi serta biologi terapan. Bioed diterbitkan secara berkala dua kali dalam setahun (Maret dan September).

BIOED volume 11 nomor 1 ini memuat 12 naskah artikel dengan latar belakang author yang beragam mulai dari guru SMA, mahasiswa, serta dosen Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Galuh hingga dosen dari perguruan tinggi lain.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para author yang memberi kepercayaan pada kami serta kepada pihak-pihak lain yang terkait dalam memberi dukungan dan bantuan atas terbitnya Jurnal Bioed Volume 11 no. 1 tahun 2023 ini.

Besar harapan kami pada setiap naskah yang diterbitkan memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta menjadi motivasi bagi para penulis lain baik yang berprofesi sebagai pendidik maupun peneliti untuk terus menulis dan menjadi author di Jurnal Bioed ini untuk terbitan berikutnya Volume 11 nomor 2 terbit September 2023. Tim Redaksi Jurnal bioed membuka komunikasi lebih lanjut baik berupa kritik, saran maupun komunikasi berkaitan dengan rencana penerbitan. Semoga Jurnal Bioed bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Ciamis, Maret 2023

Chief editor

Euis Erlin, Dra., M.Kes

DAFTAR ISI

PERBANDINGAN VEGETASI PADA EKOSISTEM HUTAN PANTAI DAN HUTAN DATARAN RENDAH DI CAGAR ALAM PANANJUNG PANGANDARAN

Bahana Aditya Adnan¹, Purnomo²
Halaman 1-8

POTENSI TANAMAN TRANSGENIK SEBAGAI SALAH SATU TEKNOLOGI DALAM PENGELOLAAN HAMA TERPADU

Jeti Rachmawati¹, Taupik Sopyan²
Halaman 9-18

UPAYA MENINGKATKAN *PROBLEM SOLVING SKILLS* MELALUI PENERAPAN MODUL MUTASI GENETIK BERBASIS *CREATIVE PROBLEM SOLVING* PADA SISWA IPA SMA

Rani Purwati¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 19-29

Penerapan *Mind mapping* Sebagai Media Belajar Dalam Meningkatkan Aktivitas dan Hasil Belajar Siswa Pada Materi Biologi Kelas XII IPA 2 SMAN 3 Ciamis

Lia Apriyani¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 30-38

IMPLEMENTASI MODEL *PROBLEM BASED LEARNING* TERHADAP KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS DAN BERPIKIR KREATIF

Yani¹, Tiffany Nurul Fajra², Lia Yulisma³
halaman 39-46

IMPLEMENTASI MODEL PEMBELAJARAN *PROBLEM-BASED LEARNING* TERHADAP KETERAMPILAN KOLABORATIF DAN KOMUNIKASI SAINS PADA MATERI SISTEM EKSKRESI DI SMPN 1 CIAMIS

Hilda Novia Sabila¹, Nadira Rasya Pertiwi², Anita Sintawati³
Halaman 47-58

PENGGUNAAN KOTORAN AYAM DAN KULIT PISANG DENGAN KONSENTRASI BERBEDA TERHADAP POPULASI *Daphnia sp.* SEBAGAI PAKAN ALTERNATIF ALAMI LARVA LELE (*Clarias gariepenus*)

Romdah Romansyah
Halaman 59-65

UPAYA MENINGKATKAN AKTIVITAS DAN HASIL BELAJAR PESERTA DIDIK KELAS XII MELALUI PENGGUNAAN MEDIA *FLASH CARD* PADA MATERI EVOLUSI

Amanah Lista Puriasih¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 66-74

Pemanfaatan Media Pembelajaran Permainan Ular Tangga dalam Model Discovery Learning Untuk Meningkatkan Aktivitas dan Hasil Belajar Biologi Kelas XII

Fauzanah Nawal Efendi¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 75-82

**ANALISIS KETERAMPILAN BERPIKIR BERDASARKAN GENDER,
USIA, DAN TEMPAT TINGGAL**

Adun Rusyana ¹, Feri Bakhtiar Rinaldi ²
Halaman 83-90

**UPAYA MENINGKATKAN AKTIVITAS DAN HASIL BELAJAR SISWA MELALUI
PENGUNAAN MEDIA FORMULATOR TARSIA BERBASIS *SCAFFOLDING*
PADA MATERI EVOLUSI KELAS XII SMAN 3 CIAMIS**

Anne Novia Fitri¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 91-102

**UPAYA MENINGKATKAN AKTIVITAS DAN HASIL BELAJAR SISWA MELALUI PEMBELAJARAN
KOOPERATIF BERBASIS *GROUP INVESTIGATION* PADA MATA PELAJARAN BIOLOGI
DI SMAN 3 CIAMIS**

Muhammad Is'raj Adnan Rivaldo¹, Warsono², Agus Cahyadin³
Halaman 103-111

POTENSI TANAMAN TRANSGENIK SEBAGAI SALAH SATU TEKNOLOGI DALAM PENGELOLAAN HAMA TERPADU

Jeti Rachmawati¹, Taupik Sopyan²

^{1,2}Universitas Galuh, Jl. R.E. Martadinata No. 150 Ciamis, Indonesia
Email: jetirachmawati@unigal.ac.id

ABSTRACT

Various technologies applied in pest management, have several disadvantages that must be anticipated. Therefore, it is necessary to integrate between technologies to maximize the results of integrated pest management (IPM). The purpose of writing this review article is to examine the potential of GMO plants as one of the technologies in integrated pest management. IPM is a very strategic step within of the demands of the world community for various products that are safe for consumption, maintain environmental sustainability, and sustainable management of natural resources that provide benefits between times and generations. One of the technologies that can be used in IPM is control with pest-resistant host plants, known as transgenic plants (GMO). GMO plants have the potential to become an integral component of IPM, because they have several opportunities to avoid the risk of secondary pest blasting and pest resistance by including refugia plants. The development of DNA recombinant technology, it has opened the opportunities to assembling pest-resistant plants with genetic engineering, but this technology has several disadvantages to the environment. Therefore, if the use of transgenic plants is combined with other technologies in pest management, the possibility of negative factors resulting from transgenic plants can be minimized, so that transgenic plants can be used as one of the technologies in integrated pest management.

Keywords: Integrated pest management, technology, transgenic plants

ABSTRAK

Berbagai teknologi yang diterapkan dalam pengelolaan hama, memiliki beberapa kelemahan yang harus diantisipasi. Oleh karena itu maka perlu adanya integrasi antar teknologi untuk memaksimalkan hasilnya dalam bentuk pengelolaan hama terpadu (PHT). Tujuan dari penulisan artikel review ini untuk mengkaji potensi tanaman transgenik sebagai salah satu teknologi dalam pengelolaan hama terpadu. Pengelolaan hama terpadu merupakan langkah yang sangat strategis dihubungkan dengan tuntutan masyarakat dunia terhadap berbagai produk yang aman dikonsumsi, menjaga kelestarian lingkungan, serta pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan yang memberikan manfaat antar waktu dan antar generasi. Salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam PHT adalah pengendalian dengan tanaman inang yang tahan hama yang dikenal sebagai tanaman transgenik. Tanaman transgenik memiliki potensi untuk menjadi komponen integral dari PHT, karena memiliki beberapa peluang untuk menghindari resiko terjadinya peledakan hama sekunder dan resistensi hama dengan memasukan tanaman refugia. Berkembangnya teknologi rekombinan DNA telah membuka peluang untuk merakit tanaman tahan hama dengan rekayasa genetika, akan tetapi teknologi ini mempunyai beberapa keunggulan dan kelemahan terhadap lingkungan. Oleh karena itu apabila penggunaan tanaman transgenik dikombinasikan dengan teknologi lain dalam pengelolaan hama, maka kemungkinan faktor-faktor negatif akibat dari tanaman transgenik dapat diminimalisir, sehingga tanaman transgenik dapat digunakan sebagai salah satu teknologi dalam pengelolaan hama terpadu.

Kata Kunci: Pengelolaan hama terpadu, tanaman transgenik, teknologi

PENDAHULUAN

Kerugian yang disebabkan oleh hama dan penyakit tanaman diperkirakan mencapai 37% dari total produksi, dan 13% di antaranya karena serangan hama. Di Amerika Serikat, kerugian akibat serangan hama jika dinominalkan mencapai US\$7,70 miliar per tahun atau Rp. 61,60 triliun per tahun (Bent & Yu, 1999). Untuk menekan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), petani biasanya menggunakan pestisida sintesis. Penggunaan pestisida sintesis di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat, ada 3207 nama dagang yang terdaftar di Direktorat Pupuk dan Pestisida pada tahun 2016, sehingga memungkinkan penggunaan pestisida khususnya insektisida sintesis sangat populer di tingkat petani. Penggunaan insektisida sintesis dapat menimbulkan banyak persoalan baru jika digunakan secara tidak bijaksana, diantaranya (1) hama menjadi resisten, (2) petani keracunan pestisida, (3) residu pestisida pada hasil pertanian, (4) perusakan pada agen pengendali hayati dan serangga polinator, (5) polusi pada air tanah, dan (6) menurunkan biodiversitas serta mempunyai pengaruh negatif pada hewan bukan target termasuk mamalia, burung, dan ikan (Agne *et al.*, 1995). Selain itu karena penggunaan insektisida yang tidak bijaksana dapat menyebabkan terjadinya resurgensi, munculnya hama sekunder, dan kontaminasi lingkungan akibat dari DDT dan sejenisnya (Kusnaedi, 2001).

Pengelolaan hama atau OPT dapat juga dilakukan dengan penggunaan teknik pengendalian hayati yaitu dengan memanfaatkan agen hayati dalam pengelolaan populasi hama. Pengendalian hayati mampu mengurangi pengaruh penggunaan insektisida dalam pengelolaan hama. Namun, pengendalian hayati juga memiliki kelemahan atau kekurangan seperti : (1) Hasilnya sulit diramalkan dalam waktu yang singkat, (2) Diperlukan biaya yang cukup besar pada tahap awal, (3) terdapat kendala dalam pembiakan massal di laboratorium karena musuh alami menghendaki kondisi lingkungan yang khusus dan (4) Teknik aplikasi di lapangan belum banyak dikuasai.

Selain menggunakan pengendalian hayati, penggunaan insektisida sintetik dapat juga dikurangi dengan penerapan teknologi tanaman yang resisten terhadap hama atau dikenal sebagai tanaman transgenik. Penggunaan tanaman transgenik dapat mengurangi penggunaan insektisida sampai 49.8%, dan rata-rata produktivitas tanaman meningkat sampai 22.5% (Bakhsh *et al.*, 2015). Budidaya tanaman transgenik secara komersial sudah dimulai pada tahun 1990, dan semakin lama banyak negara yang memanfaatkan teknologi tersebut. Akan tetapi, dengan adanya peningkatan budidaya tanaman transgenik telah menyebabkan berbagai kekhawatiran terhadap keamanan pangan, lingkungan, sosial dan ekonomi (FAO, 2015).

Berbagai teknologi yang diterapkan dalam pengelolaan hama, mempunyai beberapa kelemahan yang harus diantisipasi. Oleh karena itu maka perlu adanya integrasi atau pemaduan antar tiap teknologi untuk memaksimalkan hasilnya dalam bentuk pengelolaan hama terpadu (PHT). Apabila tanaman transgenik digunakan untuk pengendalian hama, kemungkinan tanaman transgenik tersebut dapat digunakan sebagai salah satu teknologi dalam pengelolaan hama terpadu.

Tujuan dari penulisan artikel review ini adalah untuk mengkaji potensi tanaman transgenik sebagai salah satu teknologi dalam pengelolaan hama terpadu. Sub Bab yang dikaji dalam artikel ini meliputi manfaat dan keunggulan pengelolaan hama terpadu, teknologi pengelolaan hama terpadu, pengaruh tanaman transgenik terhadap serangga sasaran, keunggulan dan kekurangan tanaman transgenik, pengaruh tanaman transgenik terhadap musuh alami, pengaruh tanaman transgenik terhadap serangga non target, pengaruh tanaman transgenik terhadap lingkungan, pengaruh tanaman transgenik terhadap kesehatan dan prospek tanaman transgenik dalam pengelolaan hama terpadu.

METODE PENULISAN ARTIKEL

Artikel review ini merupakan hasil telaah dari beberapa pustaka yang relevan tentang tanaman transgenik, keunggulan dan kelemahan tanaman transgenik, pengelolaan hama terpadu dan jenis-jenis teknologi dalam pengelolaan hama terpadu. Pustaka yang digunakan berupa buku, e-

book, artikel review dan artikel hasil penelitian tentang tanaman transgenik dan pengelolaan hama terpadu. Pencarian pustaka dilakukan secara online menggunakan *google scholar* dengan kata kunci yang digunakan adalah tanaman transgenik, *GMO*, pengelolaan hama terpadu, *IPM* dan teknologi *IPM*. Pencarian pustaka dilakukan juga dengan cara mencari buku-buku yang relevan dan sudah dicetak serta dipublikasikan oleh penerbit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan Hama Terpadu

Manfaat dan Keunggulan Pengelolaan Hama Terpadu

Pengelolaan Hama Terpadu (*Integrated Pests Management / IPM*) adalah pepaduan teknik pengendalian hama yang ada dengan tujuan untuk mengurangi pengembangan populasi hama, menjaga pengaruh pestisida dan intervensi lain pada kadar yang wajar, meminimalisir risiko bagi kesehatan manusia dan hewan serta lingkungan, menghasilkan tumbuhan yang sehat dan terhindar dari gangguan ke agro-ekosistem serta mendorong pengendalian hama secara alami (Bigler *et al.*, 2013). *Integrated Pest Management (IPM)* menurut van Lenteren dalam Kos *et al.*, (2009) adalah suatu sistem yang tahan lama, berwawasan lingkungan dan ekonomi dalam mengendalikan kerusakan yang disebabkan oleh hama, penyakit dan gulma, melalui pemanfaatan faktor alam yang membatasi pertumbuhan dan perkembangan organisme. Sedangkan menurut Untung (2006) pengelolaan hama terpadu adalah teknologi pengendalian hama yang didasarkan pada prinsip ekologis dengan menyelaraskan berbagai teknologi yang kompatibel antara satu sama lain sehingga mampu mempertahankan populasi hama di bawah ambang kerugian ekonomi serta memelihara kesehatan lingkungan yang menguntungkan bagi petani.

Pengelolaan hama terpadu merupakan langkah yang sangat strategis dalam kerangka tuntutan masyarakat dunia terhadap berbagai produk yang aman dikonsumsi, menjaga kelestarian lingkungan, serta pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan yang memberikan manfaat antar waktu dan antar generasi. Agustian & Rachman, (2009) mengemukakan beberapa keunggulan dari penerapan PHT, antara lain adalah : (1) meningkatnya hasil dan mutu produk serta pendapatan petani, (2) berkurangnya penggunaan pestisida, (3) meningkatnya mutu dan bebas residu pestisida pada produk pertanian, dan (4) mempertahankan serta melindungi kelestarian lingkungan

Teknologi Pengelolaan Hama Terpadu

Konsep PHT berkembang menjadi dua paradigma yaitu *Technological Integrated Pest Management* (PHT Teknologi atau disebut juga PHT Klasik) dan *Ecological Integrated Pest Management* (PHT Ekologi) (Waage dalam Untung, 2006). Penetapan strategi dan teknik pengendalian hama yang dilakukan petani atau yang direkomendasikan oleh lembaga pemerintah selalu dilandasi oleh suatu pendekatan, prinsip atau paradigma tertentu.

Saat ini, terdapat 4 paradigma perlindungan tanaman yang diterapkan yaitu: (a) perlindungan tanaman tradisional, (b) perlindungan tanaman konvensional, (c) PHT Klasik atau PHT teknologi, dan (d) PHT ekologi. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan komprehensif yang menekankan pada ekosistem yang ada dalam lingkungan tertentu, mengusahakan pengintegrasian berbagai teknik pengendalian yang kompatibel. Populasi hama dan penyakit tanaman dapat dipertahankan di bawah ambang yang secara ekonomis tidak merugikan, serta penerapan teknologi pengendalian hama terpadu yang melestarikan lingkungan dan menguntungkan bagi petani (Rachmat, *et al.*, 1999).

Untung (2006) mengemukakan tentang beberapa prinsip dasar yang melandasi perkembangan konsep PHT di Indonesia. Prinsip-prinsip dasar tersebut meliputi : (1) Pemahaman ekosistem pertanian, (2) Biaya manfaat pengendalian hama, (3) Toleransi tanaman terhadap kerusakan, (4) Pertahankan sedikit populasi hama di tanaman, (5) Lestarikan dan manfaatkan musuh alami, (6) Budidaya tanaman sehat, (7) Pemantauan ekosistem, (8) Pemberdayaan petani

dan (9) Pemasarakatan konsep PHT. Keberadaan prinsip-prinsip dasar tersebut maka penerapan PHT dapat bersifat dinamis dan lentur dilandasi oleh informasi dasar tentang agroekosistem maupun sistem sosial ekonomi setempat.

Perpaduan teknik atau taktik pengendalian yang optimal perlu diterapkan dalam pelaksanaan PHT. Adapun teknologi yang terdapat dalam PHT menurut Watson *et al.* dalam Untung (2006) adalah sebagai berikut : (1) Pengendalian Kultur Teknis, (2) Pengendalian Hayati, (3) Pengendalian Kimiawi, (4) Pengendalian dengan Varietas Tahan, (5) Pengendalian Fisik, (6) Pengendalian Mekanik, dan (7) Pengendalian dengan Peraturan Karantina.

Menurut van Lenteren dalam Kos *et al.*, (2009), pilar utama dari IPM adalah (1) pengendalian secara biologi, (2) penggunaan tanaman inang yang tahan terhadap hama dan (3) pengendalian secara kultur teknis. Pada pengendalian secara biologi, penekanan hama dapat dilakukan dengan pemanfaatan musuh alami, sedangkan pengendalian dengan tanaman inang yang tahan hama menggunakan kultivar-kultivar tanaman yang resisten terhadap hama dan penyakit, dan pengendalian kultur teknis dilakukan dengan memodifikasi lingkungan, rotasi tanaman dan pengolahan lahan.

Tanaman Transgenik

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Serangga Sasaran

Tanaman transgenik *Bt* yang mempunyai gen *Cry* atau *VIP* dari bakteri *Bacillus thuringiensis* dapat mengendalikan hama utama dari golongan Lepidoptera. Gen *Cry 1Ac* menyebabkan kematian dari larva *Spodoptera litura*, menyerang larva *Heliothis armigera* pada pertanaman kedele (Yu *et al.*, 2013). Gen *Cry* dapat menyerang *Alabama argillaceae* pada tanaman kapas. Kehadiran toksin *Cry 1Ac* dalam tanaman kapas *Bt* menyebabkan meningkatnya kemungkinan dispersi larva *A. argillaceae* (Ramalho *et al.*, 2014). Selain itu jagung transgenik yang mengandung gen *Cry 1Ab* atau *Cry 1Af*, secara signifikan menekan laju pertumbuhan dan perkembangan serta mengurangi ketahanan hidup *armyworm* (Hardke *et al.*, 2011). Toksin *Cry 1Ac* mempunyai efek toksikologis terhadap *Spodoptera litura*. Nilai LC_{50} *Cry 1Ac* pada larva *S. litura* asal wonosari sebesar 71.8 mg/ml, larva *S. litura* asal Bantul-1 sebesar 18.1 mg/ml, larva *S. litura* asal Bantul-2 sebesar 24.7 mg/ml dan larva *S. litura* asal Kopeng sebesar 16.2 mg/ml (Trisyono *et al.*, 2004).

Tanaman transgenik dapat menyebabkan kematian beberapa hama golongan lepidoptera, dan juga dapat menyebabkan resistensi pada hama-hama tertentu. Pada kasus-kasus tertentu, meskipun transgen (gen yang diintroduksi ke tanaman) telah terekspresi pada level yang tinggi pada tanaman transgenik, namun keberadaannya belum mampu menghambat pertumbuhan hama target (Nandi *et al.*, 1999). Kasus resistensi hama pada tanaman transgenik *Bt* pertama kali diketahui di Puerto Rico pada tahun 2006, yaitu kasus hama *Spodoptera frugiperda* (*fall armyworm*) resisten terhadap tanaman jagung *Bt* Herculex-1 yang mengandung gen *cry1F*. Pada tahun 2006-2007 di Afrika Selatan juga ditemukan kasus resistensi serangga hama *Busseola fusca* (*African stalk borer*) terhadap tanaman transgenik *Bt*. Hama ini menjadi resisten terhadap jagung *Bt* Yiel dGard yang mengandung gen *cry1Ab* (Kruger *et al.*, 2009).

Keunggulan dan kekurangan Tanaman Transgenik

Perbaikan sifat tanaman dapat dilakukan melalui modifikasi genetik, baik dengan pemuliaan tanaman secara konvensional maupun dengan bioteknologi khususnya teknologi rekayasa genetik. Melalui rekayasa genetik sudah dihasilkan tanaman transgenik yang memiliki sifat baru seperti ketahanan terhadap serangga hama atau herbisida atau peningkatan hasil (Herman, 2002). Banyak tanaman transgenik yang dapat dikembangkan dengan menggunakan teknologi *Genetically Modified Organism* (GMO). Gen *Cry* dari *Bacillus thuringiensis* digunakan untuk memproduksi tanaman yang resisten terhadap hama. Gen *cry* mengkode ketahanan pada hama golongan Lepidoptera, Coleoptera dan Diptera (McPherson *et al.*; Yamamoto & McLaughlin dalam Bakhsh *et al.*, 2015).

Perkembangan teknologi rekombinan DNA telah membuka peluang untuk merakit tanaman tahan hama dengan rekayasa genetika. Teknologi ini mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan teknologi konvensional, yaitu (1) memperluas pengadaan sumber gen resistensi karena dengan teknologi ini kita dapat menggunakan gen resisten dari berbagai sumber, tidak hanya dari tanaman dalam satu spesies tetapi juga dari tanaman yang berbeda spesies, genus atau famili, dari bakteri, fungi, dan mikroorganisme lain, (2) dapat memindahkan gen spesifik ke lokasi yang spesifik pula di tanaman, (3) dapat menelusuri stabilitas gen yang dipindahkan atau yang diintro-duksi ke tanaman dalam setiap generasi tanaman, (4) dapat mengintroduksi beberapa gen tertentu dalam satu *event* transformasi sehingga dapat memperpendek waktu perakitan tanaman *multiple resistant*, dan (5) perilaku dari gen yang diintroduksi di dalam lingkungan tertentu dapat diikuti dan dipelajari, seperti kemampuan gen tersebut di dalam tanaman tertentu untuk pindah ke tanaman lain yang berbeda spesiesnya (*outcrossing*), dan dampak negatif dari gen tersebut di dalam tanaman tertentu terhadap lingkungan dan organisme bukan target (Amirhusin, 2000).

Penggunaan tanaman transgenik yang tahan terhadap serangga hama memiliki beberapa manfaat sebagai berikut : (1) terjadi pengurangan aplikasi insektisida, (2) pengurangan kasus keracunan insektisida, dan (3) keuntungan ekonomi bagi petani (Herman, 2002). Sedangkan Trisyono dalam Untung (2006) mengemukakan beberapa keunggulan dari penggunaan tanaman transgenik yang mengandung gen *Bt* sebagai berikut : (1) Efektif mengendalikan hama sasaran dan pengurangan kehilangan hasil, (2) penurunan penggunaan pestisida kimia, (3) penurunan biaya pengendalian, (4) pengendalian hama secara selektif, dan (5) penurunan populasi hama dalam area yang luas.

Tanaman transgenik selain memiliki keunggulan juga memiliki beberapa kekurangan antara lain : (1) Resistensi hama terhadap toksin, (2) pengaruh tanaman transgenik terhadap organisme bukan sasaran, (3) pengurangan keanekaragaman hayati, (4) variasi hasil, dan (5) kepekaan terhadap jenis hama lain (Untung, 2006). Meskipun dengan penggunaan teknologi transgenik diakui memiliki kemampuan untuk mengekspresikan gen asing dan membuka kemungkinan untuk memproduksi sejumlah besar produk industri seperti industri farmasi komersial, tetap saja masih menyisakan kekhawatiran (Singh *et al.*, 2006).

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Organisme Non Target **Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Musuh Alami**

Tanaman transgenik yang mengandung protein *Bt* dapat mempengaruhi musuh alami secara langsung atau tidak langsung. Pengaruh langsung dari tanaman transgenik apabila musuh alami memakan nektar dari tanaman transgenik. Sedangkan pengaruh tidak langsung dari tanaman transgenik apabila musuh alami memparasit atau memakan hama yang hidup pada tanaman transgenik (Arpaia *et al.* dalam Azimi *et al.*, 2014). Parasitoid *Encarsia formosa* tumbuh lambat pada kapas *Bt*, sehingga pertumbuhan dan perkembangannya lebih lambat dibandingkan parasitoid pada kapas *non Bt* (Azimi *et al.*, 2014). Pada 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 pengendalian hamanya dengan menggunakan pestisida dibanding dengan lahan-lahan yang ditanami kentang *Bt* transgenik, sedangkan pada lahan-lahan yang disemprot pestisida 58,4% lebih rendah dibandingkan dengan populasi parasitoid di areal pertanaman transgenik *Bt* (Hoy *et al.*, 1998).

Pengaruh toksin *Bt* terhadap parasitoid dan predator dapat bersifat sinergis, antagonis, atau netral tergantung dari jenis toksin *Bt*, jenis hama target, jenis predator/parasitoid, serta fase parasit/predator (Amirhusin, 2002). Tanaman transgenik dapat memberikan pengaruh yang kurang baik bagi keberlangsungan musuh alami hama baik predator maupun parasitoid. Pengaruh negatif tersebut ditunjukkan oleh varietas resisten hama terhadap larva parasitoid yang ditemukan pada

parasitoid pemangsa hama yang hidup pada tanaman tahan hama hasil pemuliaan konvensional. Misalnya *α -tomatine* dan *nicotine* menunjukkan pengaruh negatif terhadap daya bertahan hidup parasitoid pada hamanya (Schuler *et al.*, 1999).

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Serangga non Target

Keberadaan tanaman transgenik tidak hanya memberikan pengaruh kepada hama sasaran maupun musuh alami tetapi juga memberikan pengaruh kepada serangga non target atau bukan sasaran. Dampak terhadap lingkungan dari tanaman transgenik akan sampai ke lingkungan seperti jagung transgenik memberikan efek racun bagi populasi kupu-kupu Monarch *Danaus plexippus*. Ekspresi protein *cry 1A* pada jagung *Bt* hibrida beracun untuk kupu-kupu Monarch pada LD₅₀ 3.3 mg protein/ ml makanan dan menghambat pertumbuhan pada EC₅₀ 0.70 mg/ ml (Sears *et al.*, 2001).

Akan tetapi menurut Bashir *et al.*, (2004), secara umum tanaman padi transgenik *Bt* tidak menunjukkan efek negatif pada serangga non target seperti lebah, kumbang dan sejenis latat. Jumlah serangga non target pada baris tanaman padi transgenik *Bt* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan serangga non target pada padi *non Bt*.

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Lingkungan dan Kesehatan

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Lingkungan

Tanaman transgenik memberikan pengaruh buruk bagi lingkungan yaitu terjadinya polusi gen. Tanaman transgenik yang memiliki kelebihan menjadi pesaing tanaman asli sehingga mengancam keberlanjutan kehidupan tanaman asli. Tanaman transgenik yang langsung dilepas ke alam, berpotensi terjadi pertukaran gen dengan tanaman asli melalui penyebaran serbuk sari sehingga menyebabkan terjadi penularan sifat termutasi pada tanaman non transgenik (Cahyadi, 2006).

Perpindahan gen dapat juga terjadi di lapangan, *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 (Gebhard & Smalla, 1999). Selain itu tanaman transgenik itu sendiri dapat memproduksi racun tidak seperti yang diinginkan akibat mutasi dan berisiko merusak keseimbangan lingkungan.

Menurut Phillips (1994), materi genetik baru mungkin tidak berhasil dipindahkan ke sel target, atau mungkin salah pada rantai DNA tanaman, atau gen baru secara tidak sengaja mengaktifkan gen dekatnya yang biasanya tidak aktif, atau mungkin mengubah atau menekan fungsi gen yang berbeda. Fenomena ini dapat menyebabkan mutasi tak terduga sehingga membuat tanaman yang dihasilkan beracun, subur, atau tidak sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, tanaman rekayasa genetika berpotensi merusak keseimbangan lingkungan di sekitarnya. Permasalahan lain yang diduga akan muncul adalah terbunuhnya makhluk hidup lainnya seperti larva kupu-kupu yang selanjutnya dikhawatirkan akan punahnya kupu-kupu sebagai akibat dari sisa tanaman transgenik bersifat toksis. Dalam jangka panjang tanaman transgenik ini akan merubah struktur dan tekstur tanah yang akan berdampak pada kuantitas dan kualitas produksi tanaman. Dampak lain dari penggunaan tanaman transgenik adalah potensi erosi plasma nutfah, pergeseran gen, pergeseran ekologi, terbentuknya barrier species dan mudah diserang penyakit.

Pengaruh Tanaman Transgenik Terhadap Kesehatan

Young & Lewis, (1995) menyatakan bahwa sangat minim informasi terkait dengan efek dari perubahan komposisi gizi pangan tanaman transgenik pada level interaksi hara, interaksi nutrisi, interaksi gen, bioavailabilitas/absorpsi nutrisi, potensi gizi, metabolisme nutrisi, dan ekspresi gen tentang situasi di mana nutrisi diubah. Berdasarkan informasi ini, belum ada satu penelitian yang menjamin pangan rekayasa genetika 100 persen aman untuk di konsumsi. Pangan hasil rekayasa genetika diduga menjadi penyebab berbagai penyakit dengan asumsi bahwa gen asing mungkin mengubah nilai gizi makanan dengan cara yang tak terduga baik yang bisa mengurangi atau meningkatkan beberapa gizi dan nutrisi lain. Faktor yang perlu diperhatikan dari minimnya informasi tersebut adalah penggunaan produk makanan dari rekayasa genetika harus berhati-hati (Small *et al.*, 2005).

Makanan transgenik dikhawatirkan mengandung senyawa-senyawa yang membahayakan kesehatan manusia, misalnya senyawa-senyawa allergen, yaitu zat yang dapat menimbulkan alergi. Nordlee *et al.*, (1996) melaporkan bahwa kacang Brazil sebagai salah satu produk GMO ditarik dari peredaran karena menyebabkan alergi pada konsumen. Reaksi alergi tersebut diduga disebabkan oleh modifikasi gen tertentu. Namun dibandingkan dengan proses pemuliaan biasa, gen yang diintroduksi pada tanaman melalui proses rekayasa genetika, diketahui persis susunan DNA-nya maupun protein hasil ekspresinya, sehingga kemungkinan adanya allergen dan potensi bahayanya dapat diantisipasi lebih dini.

Prospek Tanaman Transgenik Dalam Pengelolaan Hama Terpadu

Tanaman transgenik memiliki potensi untuk menjadi komponen integral dari IPM, karena memiliki beberapa peluang untuk menghindari resiko terjadinya peledakan hama sekunder dan resistensi hama dengan memasukan tanaman refugium (Christou *et al.*, 2006; FAO, 2015). Peledakan hama sekunder dapat dihindari karena tanaman transgenik mengendalikan hama secara spesifik. Serangga-serangga non target tidak akan ikut terbunuh oleh tanaman transgenik tersebut apabila serangga non target tersebut tidak satu jenis dengan hama sasaran. Begitu pula dengan penanaman tanaman refugium diantara tanaman transgenik dapat menunda terjadinya resistensi hama sasaran terhadap tanaman transgenik tersebut. Penanaman tanaman non Bt (refugium) pada lahan Bt transgenik merupakan salah satu cara untuk mempertahankan populasi hama peka Bt dalam jumlah yang cukup memadai. Hama-hama tersebut diharapkan akan kawin dengan hama yang resisten dan menghasilkan hama-hama yang peka dan tidak dapat beradaptasi terhadap toksin Bt, sehingga resistensi hama dapat ditunda (Tabashnik *et al.*, 2005).

Penanaman tanaman transgenik dapat dikombinasikan juga dengan teknik pengendalian kultur biologis, yaitu pemanfaatan musuh alami dalam mengendalikan hama (van Lenteren *dalam* Kos *et al.*, 2009; Naranjo, 2011). Musuh alami merupakan serangga yang tidak satu jenis dengan hama sasaran, sehingga kemungkinan toksin *Bt* yang ada pada tanaman transgenik tidak berpengaruh negatif terhadap musuh alami. Penanaman tanaman transgenik akan mengurangi penggunaan insektisida, baik yang sintetik ataupun yang organik (Azimi *et al.*, 2014). Musuh alami, baik itu predator maupun parasitoid biasanya lebih rentan terhadap insektisida dibandingkan dengan hama target. Apabila penggunaan insektisida berkurang, memungkinkan keberadaan musuh alami akan lebih banyak di lingkungan pertanaman, sehingga musuh alami dapat berperan dalam pengendalian hama.

Selain itu tanaman transgenik dapat ditanam dengan cara kultur teknis, yaitu penggunaan rotasi tanaman (van Lenteren *dalam* Kos *et al.*, 2009). Satu jenis tanaman transgenik tidak terus-menerus ditanam pada lahan tertentu, tetapi dalam beberapa periode tanam diganti dengan tanaman transgenik jenis lain, atau diganti dengan tanaman non transgenik (Sharma, 2009). Apabila dilakukan rotasi tanaman, maka jenis hama yang menyerang pun akan berbeda, sehingga suatu jenis hama tidak akan terus menerus terdapat pada lahan tersebut. Selain itu juga hama-hama

tertentu tidak mendapat tekanan terus-menerus pada lahan yang sama. Hal ini akan menyebabkan kemungkinan terjadinya resistensi hama akibat dari penanaman tanaman transgenik akan dihambat.

Tanaman transgenik memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan yang harus kita perhatikan ketika akan memasukan teknologi tersebut dalam pengelolaan hama terpadu. Keunggulan tanaman transgenik dapat lebih dioptimalkan apabila penggunaannya dikombinasikan dengan teknologi lain yang sifat nya saling melengkapi atau bersifat sinergis. Penggunaan beberapa teknologi yang dikombinasikan dengan tanaman transgenik dalam pengelolaan hama terpadu dapat meminimalisir kelemahan dari tanaman transgenik sehingga tidak berdampak negatif terhadap terhadap musuh alami, serangga non target, lingkungan dan kesehatan. Apabila kelemahan penggunaan tanaman transgenik tersebut dapat teratasi, maka teknologi tanaman transgenik kemungkinan memiliki prospek yang baik untuk digunakan dalam pengelolaan hama terpadu.

KESIMPULAN

Penggunaan tanaman transgenik bukan satu-satunya solusi bagi semua permasalahan hama. Ada sejumlah pertimbangan terkait dengan ekologi dan ekonomi untuk menggunakan tanaman transgenik untuk pengelolaan hama. Suatu upaya dalam penanaman tanaman transgenik sebaiknya diperhatikan beberapa faktor yang berpengaruh negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu apabila penggunaan tanaman transgenik dikombinasikan dengan teknologi lain dalam pengelolaan hama, maka kemungkinan faktor-faktor negatif akibat dari tanaman transgenik dapat diminimalisir, sehingga tanaman transgenik dapat digunakan sebagai salah satu teknologi dalam pengelolaan hama terpadu.

SARAN

Penerapan tanaman transgenik di Indonesia masih memerlukan beberapa kajian yang lebih mendalam tanpa mengabaikan potensi-potensi buruk yang mungkin muncul dari penerapan teknologi ini. Pemanfaatan tanaman transgenik dalam pengelolaan hama terpadu akan memunculkan kontroversi yang dapat terus berlangsung dalam beberapa waktu yang akan datang. Perlu adanya sikap arif dan bijaksana dalam menyikapi permasalahan ini agar diperoleh pandangan yang objektif dari berbagai aspek dalam mengoptimalkan potensi tanaman transgenik dalam teknologi pengelolaan hama terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- Agne, S., H. Waibel, & F. Fleischer.1995. *Guidelines for pesticide policy studies: A framework for analyzing economic and political factors of pesticide use in developing countries*. Publication Series 1. Hannover: Pesticide Policy Project.
- Agustian, A., & Rachman, B. (2009). Penerapan teknologi pengendalian hama terpadu pada komoditas perkebunan rakyat. *Prespektif*, 8(1), 30–41.
- Amirhusin, B. (2000). Peranan dan Potensi Dietary Insecticidal Protein dalam Rekayasa Genetika Tanaman Tahan Hama. *Buletin AgroBio*, 3(2), 74–79.
- Amirhusin. B. (2002). Penggunaan Bacillus thuringiensis sebagai bioinsektisida. *Buletin AgroBio* 5(1): 21-28
- Azimi, S., Rahmani, S., Tohidfar, M., Ashouri, A., Bandani, A., & Talaei-Hassanlouei, R. (2014). Interaction between Bt-transgenic cotton and the whitefly's parasitoid, *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Plant Protection Research*, 54(3), 272–278. <https://doi.org/10.2478/jppr-2014-0041>

- Bakhsh, A., Khabbazi, S. D., Baloch, F. S., Demirel, U., Çalışkan, M. E., Hatipoğlu, R., Özcan, S., & Özkan, H. (2015). Insect-resistant transgenic crops: Retrospect and challenges. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(4), 531–548. <https://doi.org/10.3906/tar-1408-69>
- Bashir, K., Husnain, T., Fatima, T., Latif, Z., Aks Mehdi, S., & Riazuddin, S. (2004). Field evaluation and risk assessment of transgenic indica basmati rice. *Molecular Breeding*, 13(4), 301–312. <https://doi.org/10.1023/B:MOLB.0000034078.54872.25>
- Bent, A. F., & Yu, I. ching. (1999). Applications of Molecular Biology to Plant Disease and Insect Resistance. *Advances in Agronomy*, 66(C), 251–298. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60429-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60429-0)
- Bigler, F., Meissle, M., & Romies, J. (2013). Genetically modified crops in Integrated Pest Management. *Agroscope ART Zurich, Switzerland*, 1–33. South Asia Biosafety Conference, New Delhi, 18-20 September 2013
- Cahyadi, F. 2006. *Dampak Lingkungan Tanaman Transgenik*. <http://www.satudunia.net/node/1178>. Diakses tanggal: 10 April 2009
- Christou, P., Capell, T., Kohli, A., Gatehouse, J. A., & Gatehouse, A. M. R. (2006). Recent developments and future prospects in insect pest control in transgenic crops. *Trends in Plant Science*, 11(6), 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.04.001>
- FAO. 2015. *Genetically Modified Crops*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e04d.pdf>. Diakses 22 Februari 2016
- Gebhard, F., & Smalla, K. (1999). Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. *FEMS Microbiology Ecology*, 28(3), 261–272. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(98\)00115-9](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(98)00115-9)
- Hardke, J. T., Leonard, B. R., Huang, F., & Jackson, R. E. (2011). Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection*, 30(2), 168–172. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.005>
- Herman, M. (2002). Perakitan Tanaman Tahan Serangga Hama melalui Teknik Rekayasa Genetik. *Buletin AgroBio*, 5(1), 1–13.
- Hoy, C., Feldman, J., Gould, F., Kennedy, G., Reed, G., & Wyman, J. (1998). Naturally occurring biological controls in genetically engineered crops. *Conservation Biological Control*, 185–205. <https://doi.org/10.1016/b978-012078147-8/50056-6>
- Kos, M., van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Vet, L. E. M. (2009). Transgenic plants as vital components of integrated pest management. *Trends in Biotechnology*, 27(11), 621–627. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.08.002>
- Kruger, M., Van Rensburg, J. B. J., & Van den Berg, J. (2009). Perspective on the development of stem borer resistance to Bt maize and refuge compliance at the Vaalharts irrigation scheme in South Africa. *Crop Protection*, 28(8), 684–689. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.04.001>
- Kusnaedi. 2001. *Pengendalian Hama Tanpa Pestisida*. Jakarta.Penebar Swadaya.
- Nandi, A. K., Basu, D., Das, S., & Sen, S. K. (1999). High level expression of soybean trypsin inhibitor gene in transgenic tobacco plants failed to confer resistance against damage caused by *Helicoverpa armigera*. *Journal of Biosciences*, 24(4), 445–452. <https://doi.org/10.1007/BF02942655>
- Naranjo, S. E. (2011). Impacts of Bt transgenic cotton on integrated pest management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(11), 5842–5851. <https://doi.org/10.1021/jf102939c>

- Nordlee, J. A., Taylor, S. L., & Townsend, J. A. (1996). Identification of a brazil-nut allergen in transgenic soybeans. *Pneumologie*, 50(6), 401. <https://doi.org/10.1056/nejm199603143341103>
- Phillips, S.C. 1994. Genetically engineered foods: do they pose health and environmental hazards?. *CQResearcher*, 4(29): 673–96.
- Rachmat, A., A. Nurawan, & T. Subarna. 1999. *Pengendalian Hama Terpadu Pada Teh Rakyat di Jawa Barat*. BPTP Jawa Barat, Bandung. hal 57.
- Ramalho, F. S., Pachú, J. K. S., Lira, A. C. S., Malaquias, J. B., Zanuncio, J. C., & Fernandes, F. S. (2014). Feeding and dispersal behavior of the cotton leafworm, Alabama argillacea (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Bt and non-Bt cotton: Implications for evolution and resistance management. *PLoS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111588>
- Santosa, D.A. 2000. Analisis Resiko Lingkungan Tanaman Transgenik. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 3(2): 32-36
- Schuler, T. H., Poppy, G. M., Kerry, B. R., & Denholm, I. (1999). Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *Trends in Biotechnology*, 17(5), 210–216. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01298-0](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01298-0)
- Sears, M. K., Hellmich, R. L., Stanley-horn, D. E., Oberhauser, K. S., Pleasants, J. M., Mattila, H. R., Siegfried, B. D., & Dively, G. P. (2001). Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment Mark. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(21), 11937–11942. <https://doi.org/www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.211329998>
- Sharma, H.C. 2009. *Biotechnological Approaches for Pest Management and Ecological Sustainability*. CRC Press, Taylor & Francis group. New York.
- Singh, O. V., Ghai, S., Paul, D., & Jain, R. K. (2006). Genetically modified crops: Success, safety assessment, and public concern. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(5), 598–607. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0449-8>
- Small, B. H., Parminter, T. G., & Fisher, M. W. (2005). Understanding public responses to genetic engineering through exploring intentions to purchase a hypothetical functional food derived from genetically modified dairy cattle. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48(4), 391–400. <https://doi.org/10.1080/00288233.2005.9513672>
- Tabashnik, B. E., Dennehy, T. J., & Carrière, Y. (2005). Delayed resistance to transgenic cotton in pink bollworm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(43), 15389–15393. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507857102>
- Trisyono, Y.A., Rahayu, S.T.S., & St Margino. 2004. Bioactivity of Bacillus thuringiensis Cry 1Ac Toxin to Spodoptera litura. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 10(1): 53-62
- Untung, K. 2006. *Pengantar Pengelolaan hama Terpadu (edisi kedua)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Young, A. L., & Lewis, C. G. (1995). Biotechnology and potential nutritional implications for children. *Pediatric Clinics of North America*, 42(4), 917–930. [https://doi.org/10.1016/S0031-3955\(16\)40022-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3955(16)40022-2)
- Yu, H., Li, Y., Li, X., Romeis, J., & Wu, K. (2013). Expression of Cry1Ac in transgenic Bt soybean lines and their efficiency in controlling lepidopteran pests. *Pest Management Science*, 69(12), 1326–1333. <https://doi.org/10.1002/ps.3508>