

PROSPEK PEMANFAATAN BAKTERI ENTOMOPATOGENIK SEBAGAI AGENSIA PENGENDALI HAYATI SERANGGA HAMA

CHRISTINA L. SALAKI¹ dan LANGKAH SEMBIRING²

¹Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian
UNSRAT Manado. E-mail : Christinasalaki@ymail.com

²Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi UGM
Yogyakarta. E-mail : lsembiring@yahoo.com

Abstrak

Pengembangan budidaya tanaman sayuran merupakan salah satu unsur penting dalam pembangunan pertanian untuk menunjang perekonomian Indonesia. Berbagai jenis serangga hama dapat menyerang tanaman sayuran sehingga mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar. Untuk mengendalikan hama tersebut umumnya digunakan insektisida kimiawi. Penggunaan insektisida kimiawi secara luas dan terus menerus memang dapat menekan kerusakan akibat serangan hama. Namun demikian, seiring dengan penggunaan insektisida kimiawi, timbul pula masalah yang serius yaitu terjadinya resistensi dan resurgensi serangga hama, terbunuhnya musuh-musuh alami serangga hama yang kemudian menyebabkan timbulnya hama sekunder, terbunuhnya serangga penyerbuk dan bahaya lain pada ternak dan manusia. Oleh karena itu, diperlukan sekali adanya alternatif baru yang dapat dipakai untuk mengendalikan populasi hama tersebut sampai di bawah batas nilai ambang ekonomi. Pengendalian secara hayati (parasit, predator, agensia patogen) adalah salah satu alternatif yang biasanya dicari karena telah terbukti banyak berhasil dinegara-negara maju. Salah satu spesies bakteri entomopatogenik adalah bakteri pembentuk spora yaitu *Bacillus thuringiensis* yang merupakan pilihan utama dalam pemanfaatan mikrobia sebagai agensia pengendalian hayati serangga hama. *B. thuringiensis* dalam proses pertumbuhannya menghasilkan badan inklusi parasporal berupa kristal protein yang dikenal dengan *delta*-endotoksin dan telah diketahui bersifat toksik terhadap beberapa serangga anggota ordo Lepidoptera, Diptera, dan Coleoptera. Walaupun *delta*-endotoksin bersifat toksik terhadap serangga sasaran, namun tidak toksik terhadap serangga berguna lainnya, hewan, tanaman maupun manusia. Berdasarkan ciri-ciri khas yang menguntungkan di atas, maka hasil eksplorasi strain-strain baru bakteri entomopatogenik anggota spesies *B. thuringiensis* telah banyak dimanfaatkan sebagai dasar untuk produksi bioinsektisida komersial. Pencarian strain-strain baru bakteri entomopatogenik yang bersifat endogenik perlu dilakukan di Indonesia sebagai upaya untuk meningkatkan pengendalian serangga hama secara hayati sebagai alternatif pengganti insektisida kimiawi. Pemanfaatan mikrobia *indigenus* ini sebagai agensia pengendali hayati merupakan suatu terobosan dalam peningkatan pendayagunaan sumberdaya hayati mikrobia secara lebih intensif untuk menyelamatkan lingkungan hidup dari pencemaran. Makalah ini akan membahas berbagai upaya memperoleh strain unggul *B. thuringiensis indigenus* Indonesia serta pemanfaatan dan pengembangannya untuk produksi bioinsektisida. Dengan menggunakan dasar-dasar bioteknologi diharapkan akan dapat dihasilkan suatu insektisida mikrobial yang bermanfaat untuk mengendalikan hama tanaman sayuran di Indonesia.

Kata kunci : Bakteri, Entomopatogenik, Agen Pengendali Hayati, Serangga Hama

PENDAHULUAN

Pembangunan pertanian merupakan salah satu unsur yang penting dalam perekonomian Indonesia. Berbagai jenis serangga hama dapat menyerang tanaman pertanian sehingga mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar. Untuk mengendalikan hama tersebut umumnya digunakan insektisida kimiawi. Penggunaan insektisida kimiawi secara luas dan terus menerus memang dapat menekan kerusakan akibat serangan hama. Namun di samping itu timbul pula masalah pada serangga hama yaitu terjadi resistensi, resurgensi, terbunuhnya musuh-musuh alami serangga hama, timbulnya hama sekunder, terbunuhnya serangga penyerbuk dan bahaya lain pada ternak dan manusia (Mardihusodo, 1992; Untung 2001).

Untuk mengatasi hal ini, timbul pemikiran untuk mencari insektisida hayati (bioinsektisida). Salah satu mikrobia pilihan yang sudah banyak dimanfaatkan untuk produksi bioinsektisida ialah strain anggota spesies *Bacillus thuringiensis*.

Dalam seminar ini akan dibahas tentang pemanfaatan dan pengembangan mikrobia tersebut sebagai upaya mencari insektisida hayati untuk mendukung pembangunan pertanian yang bersih dari pencemaran lingkungan.

PEMBAHASAN

a. Pemanfaatan Patogen Serangga sebagai Pengendali Hayati

Virus, bakteri, jamur, nematoda dan protozoa dapat berperan sebagai patogen serangga (Chrispeels & Sadava, 1994). Berbagai mikrobia ini mempunyai cara infeksi, lokasi replikasi dan mekanisme patogenisitas yang spesifik. Beberapa mikrobia mempunyai kisaran serangga inang sasaran yang luas namun ada pula yang mempunyai kisaran serangga inang sempit.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh patogen yang akan digunakan sebagai agen pengendali hayati antara lain :

1. Mempunyai virulensi yang tinggi terhadap serangga target di lapangan.
2. Tidak berbahaya terhadap spesies non-target termasuk serangga yang bermanfaat dan vertebrata.
3. Mudah diproduksi dan dapat disimpan dalam waktu yang lama tanpa mengurangi virulensinya.
4. Mempunyai aktivitas yang cepat untuk menyerang serangga target.
5. Tahan terhadap faktor-faktor lingkungan yang merugikan seperti sinar matahari, panas, kelembaban dan perubahan pH.

Virus entomopatogenik mencakup virus DNA dan RNA misalnya virus polihedrosis nuklear, polihedrosis sitoplasma dan granulosis. Lazimnya, virus pada insekta ini mempunyai kisaran serangga sasaran yang sempit, meskipun ada juga beberapa virus entomopatogenik yang mempunyai kisaran luas. Pada virus, lokasi awal infeksi biasanya terjadi di saluran pencernaan dan cepat menyebar dari satu sel ke sel lainnya.

Fungi entomopatogenik dapat ditemukan pada *Phycomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* dan Fungi Imperfecti sedangkan Protozoa yang bersifat insektisidal biasanya termasuk dalam famili *Nosematidae*. Umumnya, fungi entomopatogenik ini mempunyai kisaran serangga sasaran yang luas. Infeksi oleh fungi terjadi melalui permukaan tubuh dengan cara marasuk ke dalam lapisan kutikula insekta yang mengandung khitin.

Di antara bakteri yang bersifat patogenik terhadap serangga, strain anggota spesies *Bacillus thuringiensis* merupakan salah satu agensia hayati yang paling menonjol dan potensial. *B. thuringiensis* mempunyai kemampuan membentuk badan inklusi parasporal sewaktu bersporulasi. Dalam badan inklusi parasporal ini diakumulasikan δ -endotoksin. Bila termakan oleh larva serangga yang peka, δ -endotoksin yang berupa protoksin ini dalam saluran pencernaan insekta yang berlingkungan basa diubah menjadi toksin aktif. Saluran pencernaan larva serangga juga mengandung protease yang berperan dalam pengubahan toksin menjadi toksin aktif. Selain itu, protease mengubah daya ikat reseptor dalam saluran pencernaan sehingga toksin dapat berikatan dengan reseptor untuk memulai daya toksiknya.

b. Pemanfaatan *B. thuringiensis* untuk Bioinsektisida

b.1. Sejarah

B. thuringiensis pertama kali diisolasi oleh Ishiwata pada tahun 1902 dari ulat Sutera sakit dan kemudian dinamainya *Sotto disease bacillus*, namun adanya *inclusion body* pada bakteri berspora ini baru bisa dikemukakan oleh Berliner pada tahun 1909 ketika mempelajari agen penyebab sakitnya *Ephistia kuehniella* Zell. Berliner kemudian menamakan mikrobia tersebut dengan *Bacillus thuringiensis*, meminjam nama sebuah propinsi Thuringia di Jerman (Basith, 1995).

Di antara tahun 1920-1950 telah dilakukan berbagai percobaan lapangan untuk menguji kemampuan insektisidal *B. thuringiensis*. Pengujian ini memberikan hasil yang beragam. Hannay dan Fitz-James (1955) membuktikan bahwa badan inklusi parasporal adalah protein sedangkan Angus (1956) membuktikan bahwa daya insektisidal terletak pada badan inklusi parasporal.

Keampuhan produk *B. thuringiensis* tergantung pada struktur kimiawi δ -endotoksin. Strain *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* pertama kali diisolasi oleh Kurstak (1962) dari larva *Anagasta kuehniella* yang sakit di Perancis. Dulmage (1970) menemukan mikrobia ini dari *Pectinophora gossypiella*. Kurstak dan Dulmage mengamati bahwa strain ini lebih ampuh terhadap larva serangga dibandingkan strain *B. thuringiensis* lainnya.

b.2. *B. thuringiensis* sebagai Bioinsektisida

B. thuringiensis merupakan agensia yang mempunyai daya toksisitas terhadap berbagai serangga karena organisme ini menghasilkan toksin selama sporulasi. Bahan aktif yang mempunyai aktivitas larvisidal ini adalah δ -endotoksin yaitu suatu protein yang terkandung dalam inklusi parasporal pada *B. thuringiensis* H-14 dan struktur-struktur sel termasuk spora dan dinding sel pada *B. sphaericus* (Agaisse & Lereclus, 1995; Baum & Malvar, 1995; WHO, 1991). Keistimewaan δ -endotoksin ini adalah daya toksik dengan kisaran sempit terhadap serangga tertentu dari ordo Lepidoptera, Diptera dan Coleoptera (Feitelson *et al.*, 1992; Baum *et al.*, 1999; Johnson *et al.*, 1998; Knight *et al.*, 1994; Miyasono *et al.*, 1994; Zhong *et al.*, 2000; Salaki, 1995 & 1996; Salaki & Manengkey, 1994; 1996). Selain itu δ -endotoksin tidak menimbulkan pencemaran, tidak membahayakan manusia, vertebrata lainnya dan tanaman serta tidak bersifat toksik terhadap serangga berguna.

Daya kerja δ -endotoksin terletak pada kristal protein. Berbagai faktor penentu keampuhan δ -endotoksin antara lain, adalah strain *B. thuringiensis*, daya larut kristal protein dalam saluran makanan, serta kepekaan insektisida terhadap toksin (Knowles, 1994; Lee *et al.*, 1999).

Pemilihan *B. thuringiensis* sebagai bioinsektisida didasarkan pada berbagai pertimbangan keuntungan dan kelemahannya.

Keuntungan :

1. δ -endotoksin tidak bersifat toksik terhadap vertebrata serta tanaman dan tidak mengganggu predator dan serangga berguna. Keamanan preparat ini menyebabkan insektisida mikrobial dapat digunakan sampai waktu panen, ini sangat menguntungkan bagi sayuran khususnya.
2. Seleksi *B. thuringiensis* dapat menghasilkan strain dengan δ -endotoksin yang lebih ampuh serta kisaran serangga sasaran yang berbeda dengan preparat komersial yang ada.
3. Proses pertumbuhan dan pembentukan kristal protein dapat diatur. Ini berarti bahwa untuk produksi kristal protein pengendalian biakan mikroba sampai terbentuknya kristal protein relatif mudah dilakukan.
4. Persistensi yang rendah di alam. Aplikasi *B. thuringiensis* biasanya dilakukan berulang kali. Germinasi yang lambat dari *B. thuringiensis* menjadi salah satu sebab lemahnya persistensi mikroba ini di dalam tanah. Tidak adanya larva serangga mempercepat hilangnya mikroba ini dari lingkungan tanah. Faktor penyebab lainnya adalah kehilangan plasmid, terutama plasmid yang mengandung gen protoksin.

Kelemahan :

1. Kisaran serangga sasaran yang sempit menyebabkan insektisida kimiawi menjadi pilihan untuk menanggulangi serangga hama.
2. Aplikasi *B. thuringiensis* harus tepat, sedangkan insektisida kimiawi dapat diberikan sebagai pencegahan terhadap serangga hama. Meskipun daya kerja δ -endotoksin cepat, larva serangga tidak segera mati. Para petani terbiasa melihat kematian cepat sewaktu penggunaan insektisida kimiawi.
3. *B. thuringiensis* harus dimakan oleh serangga sasaran. Bila toksin yang diberikan tidak cukup, larva serangga tidak mati.
4. Sampai saat ini, preparat komersial *B. thuringiensis* lebih mahal dibandingkan insektisida kimiawi.
5. Untuk mencari serangga sasaran yang tepat diperlukan bioessei terhadap berbagai serangga.
6. Penyemprotan bioinsektisida pada daun mudah tercuci oleh hujan dan diinaktivasikan sinar matahari sehingga perlindungan jangka-pendek saja yang diperoleh pada aplikasi tunggal bioinsektisida.

c. Pengembangan Bioinsektisida

Pengembangan *B. thuringiensis* untuk produksi bioinsektisida dibayangi oleh keberhasilan insektisida kimiawi yang dapat diproduksi dengan harga murah dan ampuh terhadap berbagai serangga. Resistensi terhadap insektisida kimiawi, gangguan keseimbangan populasi serangga, serta pencemaran lingkungan menjadikan *B. thuringiensis* sebagai mikroba pilihan pengganti insektisida kimiawi. Meskipun produk *B. thuringiensis* tidak dapat memusnahkan seluruh populasi serangga sasaran, namun daya kerjanya cukup kuat untuk menekan kerugian ekonomi akibat serangan serangga hama. Untuk menjaga agar lingkungan tetap bersih dan tidak tercemari telah dilakukan berbagai penelitian untuk mengendalikan serangga hama secara hayati. Diantara berbagai agens pengendali hayati, *B. thuringiensis* menjadi mikroba pilihan karena tidak membahayakan manusia, hewan, tumbuhan serta serangga berguna. Preparat komersial pertama, Sporeine diproduksi oleh Perancis. Beberapa perusahaan Amerika memproduksi *B. thuringiensis* setelah perang Dunia. Contoh preparat komersial yang dipasarkan ini adalah Bakthane 1-69, Biotrol. BTB, Parasporin, Thuricide, Agritol, Larvitol. Kemudian di Perancis diproduksi Bactospeine dan di Uni Soviet diproduksi Entobacterin-3. Pada mulanya preparat komersial didasarkan pada serotipe 1 (subsp. *thuringiensis*) yang menghasilkan β -eksotoksin. Produk akhir dapat beragam, tergantung banyaknya ektotoksin dalam hasil fermentasi.

Preparat komersial *B. thuringiensis* seringkali berupa campuran spora –kristal protein. Campuran ini diaplikasikan pada daun dan mudah diinaktivasikan oleh sinar ultra violet; spora yang jatuh ke tanah akan bercampur dengan mikroflora lainnya tanpa menimbulkan gangguan. Namun demikian penyebaran mikroorganisme di alam harus dihindarkan. Kandungan spora yang berlebihan dikhawatirkan akan menimbulkan gangguan ekosistem.

d. Pengembangan Bioinsektisida

Salah satu kelemahan preparat *B. thuringiensis* adalah kisaran serangga sasaran yang sempit. Seleksi mikroba dari berbagai lingkungan mungkin menghasilkan isolat dengan kisaran yang lebih luas ataupun dengan daya toksik yang baru. Selain itu, kisaran serangga sasaran dapat diperluas dengan memasukkan gen kristal protein melalui rekayasa genetik. Hal ini dapat terjadi misalnya melalui perpindahan plasmid strain *B. thuringiensis*. Kelemahan lainnya dari preparat komersial *B. thuringiensis* adalah stabilitas terbatas di lapangan. Untuk mengatasi kelemahan ini dapat dilakukan pemasukan gen yang mengelola kristal protein ke organisme yang bertautan dengan akar, seperti misalnya bakteri endofitik.

Rekomendasi genetik telah banyak dilakukan untuk mendapatkan strain *B. thuringiensis* dengan toksisitas lebih tinggi dan mempunyai spektrum serangga sasaran lebih luas. Beberapa teknik yang digunakan untuk pemindahan DNA antar strain *B. thuringiensis* diantaranya konjugasi, fusi protoplas, transformasi protoplas dan elektroporasi (Khetan, 2001) Upaya untuk mengisolasi *B. thuringiensis* dari tanah di Indonesia sangat penting, karena setiap wilayah dihadapkan pada

berbagai jenis serangan hama dan permasalahan pengendalian yang berbeda. Untuk mencapai sasaran “Clean Agriculture” upaya pengembangan insektisida mikrobial (bioinsektisida) yang memanfaatkan *B. thuringiensis* strain asli Indonesia merupakan langkah awal yang penting. Seleksi terhadap strain *B. thuringiensis* asli Indonesia dapat dimanfaatkan untuk menciptakan produk bioinsektisida yang lebih ampuh dan lebih sesuai untuk pengendalian serangga hama dibandingkan produk komersial yang telah ada.

Dari hasil penelitian yang telah dirintis oleh PAU Bioteknologi-IPB (Hastowo *et al.* 1993) dan Fakultas Biologi UGM (Situmorang *et al.*, 1993) telah dapat diisolasi dan dikarakterisasi sejumlah isolat *B. thuringiensis* dari tanah yang berasal dari berbagai wilayah di Indonesia. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa beberapa isolat Indonesia memiliki kemampuan insektisidal. Isolat tersebut memberikan harapan untuk pemanfaatan dan pengembangan sebagai bahan dasar produksi bioinsektisida. Namun demikian masih diperlukan seleksi strain *B. thuringiensis* asli Indonesia yang memiliki daya keampuhan insektisidal yang tinggi serta berdaya toksik terhadap kisaran serangga yang lebih luas.

Hasil penelitian Salaki dan Manengkey (1994; 1996) dan Salaki *et al.* (2009) menunjukkan bahwa bakteri *B. thuringiensis* dapat diisolasi dari tanah dan strain-strain yang diperoleh telah diujicobakan ternyata mampu menimbulkan kematian serangga *Spodoptera litura*, *Cnaphalocrosis medinalis*, *Crocidolomia binotalis* dan serangga vektor penyakit *Aedes* sp dan *Anopheles* sp.

Penelitian mengenai isolasi strain *B. thuringiensis* dari contoh-contoh tanah kini sedang dilaksanakan dalam upaya mendapatkan strain-strain yang dapat digunakan untuk mengendalikan serangga hama dan vektor penyakit.

PENUTUP

Pemanfaatan bakteri entomopatogenik dalam pengendalian hama tanaman pertanian di Indonesia telah dilaksanakan dengan baik, dan hasilnya menunjukkan prospek yang cerah. Beberapa keuntungan penggunaan bakteri entomopatogenik khususnya *Bacillus thuringiensis* sebagai bioinsektisida adalah tidak menimbulkan pencemaran, tidak membahayakan manusia, vertebrata lainnya dan tanaman serta tidak bersifat toksik terhadap serangga berguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Agaisse, H. & Lereclus, D. 1995. How does *Bacillus thuringiensis* produce so much insecticidal crystal protein? *Journal of Bacteriology* 17,6027-6032.
- Aizawa, K., Fujiyoshi, N., Ohba, M. & Yoshikawa, N. 1975. Selection and Utilization of *B. thuringiensis* strain of Microbial Control, Proc. 1st International Congres of IAMS., 2,597-606.
- Angus, T.A. 1956. General characteristic of certain insect pathogens related to *Bacillus cereus*. *Canadian Jurnal of Microbiology* 2,111-121.
- Basith, A. 1995. Bioinsektisida: Pengendali Hama Alami. *Jurnal Industri Pertanian*. Edisi khusus: 65-67.
- Baum, J.A. & Malvar, T. 1995. Regulation of insecticidal crystal protein production in *Bacillus thuringiensis*. *Molecular Microbiology* 18,1-12.
- Baum, J.A., Johnson, T.B. & Carlton, B.C. 1999. *Bacillus thuringiensis*: natural and recombinant product. In: *Biopesticides Use and Delivery* (eds F.R. Hall & J.J. Menn), pp.189-210. Humana Press, Totowa, NJ.
- Chrispeels, M. J. & Sadava, D.E. 1994. *Plants, Genes, and Agriculture*. Jones & Barlett, Boston. MA.

- Dulmage, H.T. 1970. Insecticidal activity of HD-1, a new isolate of *Bacillus thuringiensis* var *alesti*. *J.Invert. Pathol.*15,232-239.
- Feitelson, J.S., Payne, J. & Kim, L. 1992. *Bacillus thuringiensis*: insect and beyond. *Bio/Tecnology.*10,271-275.
- Hannay, C.L.& Fitz-James, P. 1955. The protein crystal of *Bacillus thuringiensis* Berliner. *Can. J. Microbiol.*1,694-709.
- Hastowo, S., Lay, B.W. & Ohba, M. 1992. Naturally Occuring *Bacillus thuringiensis* in Indonesia. *Journal of Apllied Bacteriology.* 73:108-113.
- Johnson, C., Bishop, A.H. & Turner, C.L. 1998. Isolation and activity of strain of *Bacillus thuringiensis* toxic to larvae of the housefly (Diptera: Muscidae) and tropical blowflies (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Invertebrate Pathology.*71,138-144.
- Khetan, S.K. 2001. *Microbial Pest Control*. Marcel Dekker Inc. New York. P:3-141.
- Knight, P.J.K., Crickmore, N. & Ellar, D.J. 1994. The receptor for *Bacillus thuringiensis* Cry1A(c) delta-endotoxin in brush border membrane of the Lepodopteran *Manduca sexta* is aminopeptidase N. *Molecular Microbiology.*11,429-436.
- Knowles, B.H. 1994. Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal δ -endotoxin. *Advances in Insect Physiology.*24,275-308.
- Lee, M.K., You, T.H., Gould, F.L. *et al.* 1999. identification of residues in Domain III of *Bacillus thuringiensis*CryIAc toxin thar affect binding and toxicity. *Applied and environmental Microbiology.*65,4513-4520.
- Mardihusodo, S.J. 1992. Aktivitas larvisidal H-14 dan *Bacillus sphaericus* 1593 terhadap tiga spesies nyamuk vektor penyakit di Jawa. *Berkala Ilmu Kedokteran.* XXIV (2): 51-56.
- Miyasono, M., Inagaki, S., Yamamoto, M. *et al.* 1994. Enhancement of δ -endotoxin activity by toxin-free spore of *Bacillus thuringiensis* against the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Journal of Invertebrate Pathology.*63,111-112.
- Salaki, Ch.L. & Manengkey, G. 1994. Perbanyakan, Studi Efikasi dan Kemungkinan Aplikasi *Bacillus* sp. dalam Pengendalian Secara Biologis Populasi Larva Nyamuk *Anopheles* sp. (Diptera: Culicidae). Fakultas Pertanian Unsrat Manado.
- Salaki, Ch.L.1995. Toksisitas *Bacillus thuringiensis* asal Manado terhadap Hama *Spodoptera litura*. *Journal Eugenia.* 2(3):59-63.
- Salaki, Ch.L. & Manengkey, G. 1996. Isolasi *Bacillus thuringiensis* dari Beberapa Kawasan Tanah di Kabupaten Minahasa. Fakultas Pertanian Unsrat Manado.
- Salaki, Ch.L. 1996. Prospek Pemanfaatan Isolat Lokal *Bacillus thuringiensis* dalam Pengendalian Serangga Hama Perusak Daun (*Cnaphalocrosis medinalis*) pada tanaman Padi. *Journal Eugenia* 2(3):272-284.
- Salaki, Ch. L., Situmorang, J. & Sembiring, L. 2009. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Indigenous* Indonesia (*Bacillus thuringiensis*) yang Berpotensi sebagai Agensia Pengendali hayati terhadap Hama Kubis (*Crociodolomia binotalis*). Agrivita (*Submmited*).
- Situmorang, J., Sembiring, L.& Sumarmi, S. 1993. Eksplorasi Bakteri Entomopatogenik sebagai

Agen Pengendali Hayati Serangga Hama *Plutella*, *Spodoptera* dan *Heliothis*. Jurnal Matematika & Sains. 1:1-10.

Untung, K. 2001. Pengantar Analisis Ekonomi Pengendalian Hama Terpadu. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Zhong, C., Ellar, D.J., Bishop, A. *et al.* 2000. Characterization of a *Bacillus thuringiensis* δ -ndotoxin which is toxic to insect in three orders. Journal of Invertebrate Pathology. 76,131-139.