

PROSPEK PENGEMBANGAN BIOINSEKTISIDA NUCLEOPOLYHEDROVIRUS (NPV) UNTUK PENGENDALIAN HAMA TANAMAN PERKEBUNAN DI INDONESIA

Prospect of Development of Nucleopolyhedrovirus (NPV) Bioinsecticide Against Insect Pests of Estate Crops in Indonesia

SAMSUDIN

Balai Penelitian Tanaman Industri dan penyegar
Indonesian Research Institute for Industrial and Beverage Crops
Jalan Raya Pakuwon Km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357, Indonesia
E-mail: samsudin.afaqih@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan insektisida kimia untuk mengendalikan hama tanaman perkebunan terbukti kurang efektif, tidak praktis, mahal, dan mencemari lingkungan. Virus patogen serangga (VPS) terutama nucleopolyhedrovirus (NPV) memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bioinsektisida yang efektif, efisien dan ramah lingkungan. NPV memiliki kemampuan bertahan di alam karena partikel virusnya terbungkus oleh polihedra dan mampu menyebar secara alami melalui proses penularan vertikal dan horisontal. Larva yang mati terinfeksi NPV sering ditemukan menggantung dengan kedua tungkai semu bagian abdomen menempel pada daun atau ranting tanaman. Penelitian untuk meningkatkan virulensi, spektrum inang dan persistensinya telah dilakukan untuk mengatasi beberapa kelemahan NPV apabila dikembangkan menjadi bioinsektisida. Beberapa NPV yang menginfeksi hama tanaman perkebunan dan berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia, antara lain: *Spodoptera litura* NPV (SiNPV), *S. exigua* NPV (SeNPV), *Helicoverpa armigera* NPV (HaNPV), *Sethotosea asigna* NPV (SaNPV), *Hyposidra talaca* NPV (HtNPV) dan *Maenas maculifascia* NPV (MmNPV). Berdasarkan beberapa keunggulan NPV dibandingkan dengan insektisida kimia, maka pengembangan bioinsektisida NPV untuk pengendalian hama tanaman perkebunan di Indonesia memiliki prospek yang sangat baik.

Kata kunci: Nucleopolyhedrovirus, bioinsektisida, hama, tanaman perkebunan.

ABSTRACT

Chemical insecticides for estate crop pests control are ineffective, impractical, expensive, and causing

environmental pollutions. The entomopathogenic virus (EPV) mainly the nucleopolyhedrovirus (NPV) can be developed as an effective, efficient, and environmentally friendly biopesticide. NPV can be survived in the field in the form of polyhedra and spread naturally through the vertical and horizontal transmission process. The infected larvae usually hang by pseudolegs to the leaves or entrees. Research to increase virulence, host spectrum and its persistence has been done to overcome some weaknesses of NPV if developed as biopesticide. Some NPV isolates that infect the estate crop pests and potential to be developed in Indonesia, among others: *Spodoptera litura* NPV (SiNPV), *S. exigua* NPV (SeNPV), *Helicoverpa armigera* NPV (HaNPV), *Sethotosea asigna* NPV (SaNPV), *Hyposidra talaca* NPV (HtNPV) and *Maenas maculifascia* NPV (MmNPV). Based on several advantages of NPV compared with the chemical insecticides, the development of NPV biopesticide for controlling estate crop pests in Indonesia has very good prospects.

Keyword: Nucleopolyhedrovirus, bioinsecticide, pests, estate crops.

PENDAHULUAN

Upaya pengendalian hama tanaman perkebunan secara teknis menghadapi masalah karena karakter tanaman perkebunan umumnya berupa perdu dan pohon besar. Penggunaan insektisida kimia selain membutuhkan volume yang cukup besar, juga tidak efektif untuk pengendalian hama yang menyerang bagian kayu, ranting atau pucuk. Pemanfaatan musuh

alami merupakan salah satu teknologi pengendalian hama tanaman perkebunan yang diharapkan akan lebih efisien dan efektif. Salah satu musuh alami yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai agens hayati adalah virus patogen serangga (VPS), karena memiliki tingkat persistensi di alam dalam waktu yang cukup lama dan dapat berkembang secara alamiah melalui proses penularan baik secara vertikal maupun horisontal.

Pemanfaatan VPS untuk pengendalian hama tanaman mulai dikenal pada awal tahun 1900-an. Beberapa jenis Baculovirus telah digunakan untuk pengendalian hama dari kelompok Hymenoptera, Lepidoptera dan Coleoptera pada tanaman kelapa, kapas dan kubis (Bonning dan Hammock, 1996). Pada tahun 1943, nucleopolyhedrovirus (NPV) dimanfaatkan untuk pengendalian hama *Gilpinia hercyniae* dan mampu menekan populasi hama tersebut sampai 90% (Cunningham dan Entwistle, 1981). Pada pertengahan tahun 1960 ditemukan *nonoccluded baculovirus* yang merupakan patogen kumbang badak *Oryctes rhinoceros* dari Malaysia (Huger, 1966). Virus tersebut digunakan untuk mengendalikan kumbang kelapa di Kepulauan Fiji, dan berhasil mengurangi populasi antara 40 - 90%, sehingga 4 - 6 tahun kemudian kerusakan tanaman kelapa di seluruh kepulauan tersebut selalu di bawah 20% (Bedford, 1981).

Nucleopolyhedrovirus (NPV) merupakan VPS yang paling penting di antara famili Baculoviridae, sebab sebagian besar diketahui sebagai patogen dari berbagai hama tanaman, khususnya pada stadia larva Lepidoptera (Murillo *et al.*, 2003). Beberapa negara maju telah memproduksi bioinsektisida NPV dengan menggunakan teknologi tinggi secara massal, akan tetapi harga produknya masih sangat mahal (Stair dan Fraser, 1981; Bull *et al.*, 1979). Young (1989) mengemukakan beberapa masalah yang berkaitan dengan produksi dan pemanfaatan bioinsektisida VPS, antara lain: permintaan pasar yang masih kecil, regulasi dari pemerintah belum ada, biaya produksi mahal, belum ada standarisasi produk dan teknologi aplikasinya yang masih terbatas. Oleh karena itu Lacey *et al.* (2001) menyatakan bahwa bioinsektisida NPV ini sangat ideal untuk dikembangkan dalam skala

kecil di negara-negara berkembang, karena sumber daya manusia yang banyak dan murah, serta luasan areal lahan garapan yang kecil. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menguraikan bioekologi NPV, hasil-hasil penelitian tentang pemanfaatan NPV untuk pengendalian hama, serta prospek pemanfaatan dan pengembangannya menjadi bioinsektisida untuk pengendalian hama perkebunan di Indonesia.

BIOEKOLOGI NPV

Karakter Morfologi NPV

NPV merupakan salah satu anggota genus Baculovirus, famili Baculoviridae. Berdasarkan tipe morfologi luar baculoviridae terdiri atas 3 subgroup yaitu: nuclear polyhedrosis virus atau nucleopolyhedrovirus (NPV), granulosis virus atau granulo-virus (GV) dan non-occluded baculovirus (NOB) yang tidak memiliki kristal protein (Tanada dan Kaya, 1993; Narayanan, 2004). Kristal protein dari NPV berbentuk segi banyak (*polyhedral*) dengan diameter 0.2 – 20.0 μm yang biasanya dapat dilihat di bawah mikroskop cahaya biasa, dan umumnya mengandung lebih dari satu virion (Pionar dan Thomas, 1984).

Ciri khas NPV menurut Tinsley dan Kelly (1985) adalah adanya nukleokapsid berbentuk batang yang mengandung untaian ganda asam deoksiribonukleat (DNA) dengan panjang 250–400 nm dan lebar 40–70 nm. Berdasarkan jumlah nukleokapsid, NPV dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu single nukleokapsid (SNPV) dan multi nukleokapsid (MNPV) (Washburn *et al.*, 2003; Inceoglu *et al.*, 2006). Pada kelompok SNPV tiap envelop berisi satu nukleokapsid, sedangkan pada MNPV berisi 2 - 200 nukleokapsid (Kalmakoff dan Ward, 2003). Menurut Ignoffo dan Couch (1981) pada umumnya SNPV mempunyai inang yang lebih spesifik dibandingkan dengan MNPV. Ciri khas lain dari NPV adalah partikel virus atau virionnya terbungkus oleh selubung protein (*occlusion bodies*) yang disebut dengan polihedra (Tanada dan Kaya, 1993). Polihedra merupakan karakter morfologi NPV yang dapat bertahan di alam dalam waktu yang cukup lama. Menurut

Okada (1977) NPV dalam bentuk polihedra tersebut dapat bertahan di dalam tanah selama 3 tahun.

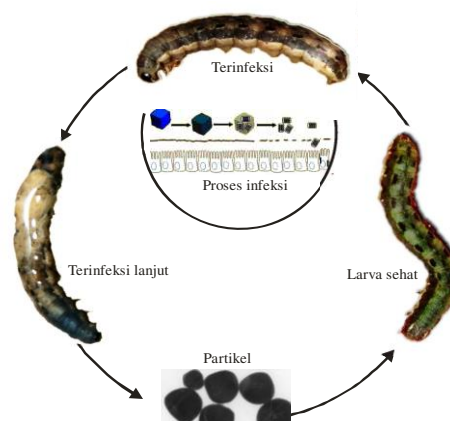
Siklus Hidup NPV

NPV telah ditemukan menginfeksi lebih dari 600 spesies serangga (Beard *et al.*, 1989; Woo *et al.*, 2007), terutama pada ordo Lepidoptera sebanyak 150 spesies (Tanada dan Hess dalam Adam dan Bonami, 1991). Sebagian besar NPV bersifat spesifik inang, oleh sebab itu penamaan NPV umumnya disesuaikan dengan nama inang dimana pertama kali diisolasi dan diidentifikasi (CAB, 2000).

NPV memperbanyak diri di dalam inti sel (nucleus) serangga inang. Untuk dapat menginfeksi sel serangga inang, polihedra NPV harus tertelan bersama dengan pakan yang dikonsumsi melalui alat mulut, kemudian pada saluran pencernaan akan menginfeksi inti sel inang (Adam dan Bonami, 1991). Menurut Li dan Blissard (2009) gen *gp64* yang terdapat pada protein selubung NPV memegang peranan penting sebagai reseptor pengikat sel serangga inang yang kinerjanya dimediasi oleh kondisi pH rendah dan masuk ke dalam sel inang melalui proses endositosis.

Proses infeksi NPV pada sel inang melalui dua tahap. Pada tahap pertama (primer) NPV menyerang usus tengah (midgut), kemudian pada tahap selanjutnya (sekunder) akan menyerang sel-sel dari organ tubuh yang lain, seperti sel darah (leucosit dan limfosit), trakea, hypodermis, dan sel lemak (Ignoffo and Couch, 1981). Proses infeksi primer terjadi karena pada kondisi alkalis pada usus tengah badan inklusi akan melepas virion dari selubung proteinnya (Etebari *et al.*, 2007). Virion-virion tersebut kemudian akan menembus jaringan peritrofik dan mikrovili, dan akan memisahkan sel-sel kolumnar dan goblet. Kemudian pada infeksi sekunder, virion-virion yang baru terbentuk akan menginfeksi seluruh sel jaringan serangga. Pembentukan badan inklusi (polihedra) terjadi sebagai hasil infeksi sekunder pada jaringan sel darah, trakea, hypodermis, dan sel lemak (Kalmakoff dan Ward, 2003). Pada akhir infeksi tubuh larva menjadi rapuh dan hancur dengan mengeluarkan cairan yang berisi partikel virus.

Pupa yang berasal dari larva yang terinfeksi NPV menunjukkan adanya perubahan warna tubuh menjadi kehitaman dengan tekstur rapuh dan mengeluarkan cairan keruh (Samsudin dan Santoso, 2014). Gambar 1 menunjukkan siklus hidup NPV di alam dan menjadi cara penularan horizontal dari serangga yang terinfeksi ke serangga lain yang sehat.



Gambar 1. Proses penularan NPV secara horizontal. (Sumber: Samsudin, 2011)

Gejala Infeksi NPV

Serangga inang yang terinfeksi NPV akan mengalami abnormalitas secara morfologi, fisiologi dan perilaku (Pionar dan Thomas, 1984). Menurut Adam and McClintock dalam Adam dan Bonami (1991) di alam kematian larva akibat terinfeksi NPV sering ditemukan dengan tanda tubuh larva menggantung dengan kedua tungkai semu bagian abdomen menempel pada daun atau ranting tanaman membentuk huruf "V" terbalik. Oleh karena itu Hoffmann dan Frodsham (1993) menyatakan bahwa penyakit yang diakibatkan oleh infeksi NPV sering disebut dengan penyakit layu ulat (*caterpillar wilt*) atau penyakit ulat ujung pohon (*tree top*) (Gambar 2).

Waktu yang dibutuhkan NPV untuk mematikan inangnya dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: umur inang, suhu, dan jumlah polihedra yang tertelan. Isolat-isolat virus yang memiliki virulensi tinggi mampu mematikan larva inangnya dalam waktu 2 – 5 hari, tetapi isolat yang kurang virulen membutuhkan 2 – 3 minggu (Granados dan William, 1986). Menurut Narayanan (2004) infeksi NPV juga dapat terjadi

pada larva instar awal akibat kontaminasi pada telur. Proses penularan NPV melalui telur serangga inang merupakan salah bentuk penularan alamiah secara vertikal.



Gambar 2. Gejala infeksi NPV pada larva serangga inang (Sumber: Foto Samsudin)

PENELITIAN UNTUK MENINGKATKAN KINERJA NPV DALAM MENGENDALIKAN HAMA

Kelemahan NPV apabila dikembangkan menjadi bioinsektisida, antara lain: membutuhkan waktu relatif lama untuk mematikan inangnya, sehingga serangga yang terinfeksi masih dapat menimbulkan kerugian (Bonning dan Hammock, 1996; Dushoff dan Dwyer, 2001), memiliki inang yang spesifik, sehingga terlalu mahal untuk dikembangkan dalam skala industri (McCutchen *et al.*, 1991) dan cepat menjadi tidak aktif di lapangan akibat sinar ultra violet (UV) dari matahari (Ignoffo *et al.*, 1991; Monobruallah, 2003; McIntosh *et al.*, 2004; Mondragon *et al.*, 2007; Mehrvar *et al.*, 2008).

Penelitian untuk mempercepat kinerja NPV dan meningkatkan virulensi serta kisaran inangnya telah dilakukan dengan memanfaatkan teknologi biologi molekuler. Rekayasa genetik pada *Autographa californica* NPV (AcNPV) dengan membuang gen EGT dapat mengurangi aktifitas makan dari *S. frugiperda* yang terinfeksi virus rekombinan tersebut dan mematikan 30% lebih cepat dari larva yang terinfeksi *wild-type* AcNPV (O'Reilly dan Miller, 1991), sedangkan *Lymantria dispar* NPV (LdNPV) yang dibuang gen EGT dilaporkan mematikan larva *L. dispar* rata-rata 20% lebih cepat dibandingkan yang terinfeksi

LdNPV asalnya (Treacy, 1999). Rekombinan AcNPV yang mengandung gen pengkode racun syaraf (*neurotoxin*) kalajengking *Androctonus australis* (AaIT) (rAcNPV-AaIT) dapat membunuh serangga Lepidoptera kurang dari setengah waktu yang dibutuhkan oleh AcNPV asalnya dan mampu menghentikan makan 8-10 jam sebelum mati (McCutchen *et al.*, 1991). Virus rekombinan *Bombyx mori* NPV (rBmNPV) yang mengekspresikan hormon diuretik *Manduca sexta* dapat mematikan ulat sutera rata-rata 20% lebih cepat daripada yang terinfeksi BmNPV asalnya (Maeda, 1989). Gen yang mengkodekan enzim juvenil hormone esterase (JHE) telah berhasil disisipkan pada genom AcNPV dan rekombinan AcNPV-JHE ini mampu menurunkan makan sampai 66% dan mematikan larva *T. ni* 20% - 30% lebih cepat dibandingkan dengan AcNPV asalnya (Hammock *et al.*, 1990; Bonning dan Hammock, 1996).

Beberapa gen yang menentukan kisaran inang telah berhasil diidentifikasi dan diisolasi. Salah satunya adalah gen *host range factor 1* (*hrf-1*) yang bertanggung jawab dalam menentukan kisaran inang diisolasi dari LdNPV. Rekombinan AcNPV-*hrf-1* mampu menormalkan sintesis protein dan meningkatkan keberhasilan replikasi virus pada kultur sel line Ld652Y dan pada larva *L. dispar*. Hasil ini menunjukkan bahwa *hrf-1* berperan dalam keberhasilan replikasi dalam kultur sel dan dapat memperluas kisaran inang AcNPV (Ishikawa *et al.*, 2004). Spenger *et al.* (2002) melaporkan bahwa protein pembungkus GP64 pada AcNPV menentukan aktifitas permukaan partikel virus terikat pada sel inang dan sangat penting dalam proses masuknya virus pada sel inang. Penyisipan gen *gp64* rekombinan ini pada beberapa baculovirus dapat memperluas kisaran inangnya dan meningkatkan daya tahan partikel NPV terhadap sinar ultra violet di lapang.

Hasil-hasil penelitian tentang bahan yang menjadi UV protektan NPV telah mampu menjawab salah satu kelemahan bioinsektisida NPV setelah diaplikasikan. Beberapa bahan telah diuji untuk mempertahankan persistensi NPV terhadap paparan sinar ultraviolet (UV), antara lain: pencerah fluorescen (*fluorescent brightener*) pada *Spodoptera frugiperda* NPV (SfNPV) (Hamm

et al., 1994; Martinez et al., 2003; Mondragon et al., 2007), *Lymantria dispar* NPV (*LdNPV*) (Dougherty et al., 2006), *S. exigua* NPV (*SeNPV*) (Kao et al., 1991; Murillo et al., 2003; Lasa et al., 2007), Titanium dioksida (TiO_2) pada *Helicoverpa zea* NPV (*HzNPV*) (Farrar et al., 2004), oksida besi pada *Homona magnanima* GV (*HomaGV*) (Asano, 2005), Congo red dan Tinopal LPW pada *L. dispar* NPV (*LdMNPV*) (Shapiro dan Shepard, 2008), adjuvan pada *H. armigera* NPV (*HaNPV*) (Mehrvan et al., 2008), ekstrak teh hijau pada *S. exigua* NPV (*SeNPV*) (Shapiro et al., 2008), ekstrak teh, kopi dan kakao pada *S. exigua* (*SeNPV*) (El Salamouny et al., 2009), dan filtrat bengkuang pada *S. exigua* (*SeNPV*) (Samsudin et al., 2011).

Hasil penelitian Martinez et al. (2003) mendapatkan 5 bahan pelindung partikel NPV dari paparan sinar UV dan mampu meningkatkan prevalensi kematian larva 87,7 – 100%, yaitu: Blankophor BBH, Calcoflour M2R, Leucophor AP, Leucophor SAC dan Leucophor UO. Lasa et al. (2007) melaporkan bahwa penambahan 0.1% Leucophor AP pada formulasi *SeNPV* secara nyata meningkatkan mortalitas larva *S. exigua*. Hasil penelitian Asano (2005) menunjukkan bahwa penambahan oksida besi (*iron oxide*) 1 - 4 mg/ml pada formula biopestisida granulovirus (GV) dapat menurunkan inaktivasi GV akibat penyinaran UV dengan perbandingan 1/6 sampai 1/18 dibandingkan kontrol. Shapiro dan Shepard (2008) melaporkan bahwa penambahan Congo red dan Tinopal LPW dapat mengurangi nilai LC_{50} dari *Lymantria dispar* NPV (*LdMNPV*) masing-masing 26 dan 360 kali lipat daripada kontrol. Sementara itu hasil penelitian Farrar et al. (2004) menunjukkan bahwa Titanium dioksida (TiO_2) dapat memantulkan cahaya UV dan dapat meningkatkan persistensi polihedra *Helicoverpa zea* nucleopolyhedrovirus (*HzNPV*) di lapangan.

Upaya lainnya untuk meningkatkan kinerja bioinsektisida NPV di lapangan dilakukan dengan cara menambahkan bahan pemicu kinerja (*enhancer*) (Lacey et al., 2001; Suhas et al., 2009; Samsudin dan Santoso, 2012) dan mengkombinasikan dengan bahan yang bekerja secara sinergis (Dodin et al., 2001; Samsudin, 2001; Arifin, 2006). Hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa NPV bekerja secara sinergis

dengan ekstrak biji mimba (*Azadirachta indica*) (Dodin et al., 2001; Kumar et al., 2007), nematoda *Steinernema carpocapsae* (Gothama et al., 1996), bakteri *Pseudomonas fluorescen* (Jeyarani et al., 2005) dan jamur *Metarhizium anisopliae* (Ramle et al., 2005).

PENELITIAN PEMANFAATAN NPV UNTUK MENGENDALIKAN HAMA PERKEBUNAN DI INDONESIA

Penelitian tentang pemanfaatan NPV untuk mengendalikan hama tanaman perkebunan di Indonesia sudah mulai dilakukan sejak tahun 1980-an. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa NPV efektif mengendalikan ulat grayak *Spodoptera litura* dan *S. exigua* yang merupakan hama utama tanaman tembakau dan kapas di Indonesia. Arifin (1988) melaporkan bahwa penggunaan *S. litura* NPV (*SINPV*) dengan konsentrasi $2,3 \times 10^7$ PIBs/ml dan volume semprot sebesar 50 ml/m², efektif untuk mengendalikan *S. litura* instar 1-3, dengan waktu kematian awal pada 6 hari setelah aplikasi (hsa) dan kematian sebesar 80% terjadi pada 12 hsa. Arifin dan Bedjo (2007) juga melaporkan bahwa dua isolat *SINPV* yaitu isolat B01 dan B02 dengan dosis $1,5 \times 10^{12}$ PIBs/ha mampu menurunkan populasi *S. litura* antara 90,0 – 94% pada 6 hsa. Shepard et al. (1996) melaporkan penemuan dua isolat *S. exigua* NPV (*SeNPV*) lokal Indonesia yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bioinsektisida. Hasil pengujian dua isolat tersebut yang dilakukan oleh Samsudin (1999) menunjukkan bahwa keduanya sangat patogenik terhadap larva *S. exigua* di Laboratorium, dengan nilai LC_{50} terhadap larva instar 3 sebesar $9,9 \times 10^4$ PIBs/ml dan LT_{50} selama 5 hari. Bahkan, *SeNPV* tersebut saat ini telah dikembangkan menjadi bioinsektisida dalam bentuk formula tepung (*powder*) yang diperkaya dengan *UV protectant* dan *enhancer* (Samsudin et al., 2011; Samsudin dan Santoso, 2012).

Selain *SINPV* dan *SeNPV*, pemanfaatan *Helicoverpa armigera* NPV (*HaNPV*) untuk pengendalian hama penggerek buah kapas dan tembakau juga telah dilakukan. Beberapa isolat *HaNPV* lokal Indonesia efektif mampu mengendalikan *H. armigera* pada tanaman

kedelai, kapas dan tembakau (Asri *et al.*, 2003; Bedjo, 2011; 2012). Penelitian dan pemanfaatan VPS untuk pengendalian ulat api *Sethotosea asigna* pada tanaman kelapa sawit sudah dilakukan (Samsudin, 2012). Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan saat ini telah menggunakan β -*nudaurelia virus* dan *Multiple Nucleopolyhedrovirus* (MNPV) untuk pengendalian ulat api khususnya jenis *S. asigna*. Penggunaan kedua jenis virus tersebut mampu menurunkan populasi *S. asigna* sampai 98% (Sudharto *et al.*, 2011). Menurut Azis (2009) virus β -*nudaurelia* paling efektif mengendalikan ulat api dan sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bioinsektisida pengendali ulat api pada tanaman kelapa sawit di Indonesia.

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan NPV untuk pengendalian hama penting tanaman perkebunan di Indonesia lainnya masih pada tahap laboratorium. Seperti virus ulat jengkal pada tanaman teh *Hyposidra talaca* NPV (*HtNPV*) dan virus ulat bulu pada tanaman Ylang-ylang *Maenas maculifascia* NPV (*MmNPV*). Wijanarko (1998) telah meneliti gejala infeksi *HtNPV* pada ulat jengkal *H. talaca*. Sedangkan Atmadja *et al.* (2009) melaporkan bahwa *MmNPV* efektif mengendalikan larva instar 3 dari *M. maculifascia* sampai 68,3% di laboratorium.

PROSPEK PEMANFAATAN DAN PENGEMBANGAN NPV UNTUK PENGENDALIAN HAMA PERKEBUNAN DI INDONESIA

Pemanfaatan virus patogen serangga (VPS) untuk pengendalian hama perkebunan sebenarnya bukan merupakan hal yang baru. Sejak tahun 1950an beberapa negara telah mulai memproduksi bioinsektisida NPV untuk mengendalikan hama tanaman hutan dan perkebunan. Glare *et al.* (2003) melaporkan bahwa bioinsektisida berbahan *Lymantria dispar* NPV (*LdNPV*) dengan merk *Gypchek* diproduksi di Amerika Serikat sejak tahun 1950 dan dipakai pada lahan sekitar 20.000 hektar. Sedangkan *Disparvirus* yang juga berbahan *LdNPV* diproduksi di Canada sejak tahun 1995 dan digunakan pada lahan sekitar 1.300 hektar. Sementara itu *Virin-Ensh* diproduksi di Rusia sejak tahun 1983 dan *Biola* diproduksi di Republik Cehnya sejak tahun 1996. Beberapa jenis NPV yang telah dikembangkan sebagai agens hayati hama perkebunan di dunia terlihat dalam Tabel 1.

Sejalan dengan tuntutan pasar global terhadap produk-produk komoditas perkebunan saat ini, maka teknologi pengendalian hama tanaman perkebunan dengan mengandalkan pestisida kimia sintetis sudah tidak relevan lagi.

Tabel 1. NPV yang dikembangkan sebagai bioinsektisida untuk pengendalian hama tanaman perkebunan

Komoditas	Hama sasaran	Virus	Nama produk
Tembakau	<i>Spodoptera litura</i>	<i>SlNPV</i>	VITURA
	<i>Spodoptera exigua</i>	<i>SeNPV</i>	Spod-X, VIREXI
	<i>Helicoverpa zea</i>	<i>HzNPV</i>	Gemstar LC, Elcar
	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>HaNPV</i>	HELICOVEX
Kapas	<i>Heliothis virescens</i>	<i>HvNPV</i>	Biotrol
	<i>Helicoverpa zea</i>	<i>HzNPV</i>	Gemstar LC, Elcar
	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>HaNPV</i>	HELICOVEX
	<i>Spodoptera littoralis</i>	<i>SlNPV</i>	Spodopterin
Teh	<i>Hyposidra talaca</i>	<i>HtNPV</i>	*
	<i>Buzura suppressaria</i>	<i>BsNPV</i>	*
Kelapa sawit	<i>Setothosea asigna</i>	<i>SaMNPV</i>	*
Ylang ylang	<i>Maenas maculifascia</i>	<i>MmNPV</i>	*
	<i>Lymantria dispar</i>	<i>LdNPV</i>	Gypcheck, Disparvirus

Keterangan: (* : belum ada nama produk)

Menurut Chandler *et al.* (2011) penggunaan biopestisida akan memegang peranan penting dalam strategi tersebut karena secara nyata akan meminimalkan penggunaan pestisida kimia. Erayya *et al.* (2013) menyatakan bahwa NPV akan menjadi biopestisida yang paling penting di masa yang akan datang. Sementara itu, Beas-Catena *et al.* (2014) menyatakan bahwa bioinsektisida NPV memiliki peluang untuk menggantikan insektisida kimia, karena selain ramah lingkungan, juga dapat diproduksi massal, diformulasi, dikemas, disimpan dan dipasarkan sebagaimana pestisida kimia.

Beberapa keunggulan NPV dibandingkan dengan insektisida kimia, antara lain: bersifat spesifik inang sehingga tidak mengganggu organisme bukan sasaran (Samsudin, 1999), dapat menular secara horisontal dan vertikal (Vilaplana *et al.*, 2010) dapat ditularkan oleh predator yang telah memangsa inang yang terinfeksi (Gupta *et al.*, 2014), mampu bertahan di permukaan tanah selama beberapa tahun (Glare *et al.*, 2003), efektif menanggulangi resistensi hama terhadap insektisida kimia (Duraimurugan dan Regupathy, 2005), mampu melestarikan musuh alami dan akan meningkatkan biodiversitas (Young, 1989; Lacey *et al.*, 2001; Armenta *et al.*, 2003), dapat diintegrasikan dengan teknologi pengendalian lainnya (Gothama *et al.*, 1996; Castillejos *et al.*, 2002; Takatsuka dan Kunimi, 2002), bahkan bekerja sinergis apabila dipadukan dengan pestisida nabati (Kumar *et al.*, 2007).

Upaya pengembangan bioinsektisida NPV untuk pengendalian hama tanaman perkebunan di Indonesia merupakan peluang sekaligus menjadi tantangan bagi para peneliti. Indonesia merupakan negara yang memiliki keragaman hayati yang melimpah, sehingga kegiatan eksplorasi dari hama-hama utama tanaman perkebunan memiliki peluang untuk mendapatkan isolat-isolat NPV baru yang lebih virulen. Menurut Arifin (2010) inti dari proses produksi bioinsektisida NPV ada 3 tahapan kegiatan, yaitu: a) pembiakan massal serangga inang dengan menggunakan pakan buatan, b) perbanyakan NPV secara *in vivo* menggunakan larva serangga inang, dan 3) pemformulasian bioinsektisida.

Pembiakan massal serangga inang merupakan tantangan yang paling berat dan sulit, karena tidak semua serangga hama utama tanaman perkebunan dapat dibiakkan secara massal menggunakan pakan buatan. Menurut Elvira *et al.* (2010) efisiensi dalam perbanyakan massal ini merupakan kunci utama produksi bioinsektisida NPV secara komersial. Tantangan lain yang sering dihadapi dalam proses perbanyakan NPV secara *in vivo* adalah menghindari adanya kontaminasi mikroba saprofit (Young, 1989; Lasa *et al.*, 2008), karena NPV tidak menghasilkan antibiotik yang dapat menghambat tumbuhnya mikroba lain. Pengembangan produk bioinsektisida NPV dalam skala komersial juga harus memperhatikan beberapa syarat, sebagaimana yang disampaikan oleh Gasic dan Tanovic (2013), yaitu: ekonomis diproduksi, memiliki stabilitas persistensi di penyimpanan, aktifitas residual yang tinggi, mudah diaplikasikan, dapat dicampur dan digunakan serta memiliki konsistensi keefektifan untuk mengendalikan hama sasaran.

Pengembangan bioinsektisida NPV untuk mengendalikan *Spodoptera litura*, *S. exigua*, dan *Helicoverpa armigera* dalam skala luas sebenarnya sudah dapat dilakukan di Indonesia. Isolat-isolat NPV yang virulen untuk ketiga hama tersebut telah ada dan teknologi perbanyakan massal serangga inang, perbanyakan massal NPV dan formulasinya juga telah tersedia (Arifin, 2010; Bedjo, 2011; Samsudin, 2011). Beberapa masalah yang mungkin akan dihadapi dalam upaya pengembangan bioinsektisida NPV dalam skala besar antara lain: permintaan pasar yang masih kecil, regulasi dari pemerintah belum ada, biaya produksi mahal, belum ada standarisasi produk dan teknologi aplikasinya yang masih terbatas. Oleh sebab itu keberlanjutan program ini akan terjamin apabila dilakukan secara kolektif melalui kelompok-kelompok tani yang difasilitasi oleh pemerintah. Upaya untuk mengakselerasi pengembangan bioinsektisida NPV tersebut adalah mendorong pihak pemerintah melakukan sosialisasi kepada para petani tentang keefektifan dan manfaat penggunaan bioinsektisida NPV untuk mengendalikan hama perkebunan.

KESIMPULAN

NPV mampu bertahan cukup lama di alam dalam bentuk polihedra dan dapat menyebar secara alami melalui proses penularan vertikal dan horisontal. Infeksi NPV sangat mudah dikenali dari tandanya, yaitu tubuh larva menggantung dengan kedua tungkai semu bagian abdomen menempel pada daun atau ranting tanaman membentuk huruf "V" terbalik. Beberapa kelemahan NPV telah diatasi dengan upaya peningkatan virulensi, kisaran inang, dan persistensinya setelah aplikasi di lapangan. Beberapa NPV yang telah diteliti dan dimanfaatkan dalam skala terbatas untuk mengendalikan hama perkebunan di Indonesia, adalah: *Spodoptera litura* NPV (SINPV), *S. exigua* NPV (SeNPV), *Helicoverpa armigera* NPV (HaNPV), *Sethotosea asigna* NPV (SaNPV), *Hyposidra talaca* NPV (HtNPV) dan *Maenas maculifascia* NPV (MmNPV). Dengan dukungan teknologi perbanyakan massal serangga inang, perbanyakan NPV dan formulasi yang ada serta peran aktif pemerintah dan swasta, maka isolat-isolat NPV tersebut dapat dikembangkan menjadi bioinsektisida dalam skala besar. Pengembangan bioinsektisida NPV untuk mengendalikan hama perkebunan di Indonesia cukup prospektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, J.R. and J.R. Bonami. 1991. Atlas of Invertebrate Viruses. CRC Press: Boca Raton, Florida. 684 p.
- Adams, J.R. and T.J. McClintock. 1991. Baculoviridae. Nuclear polyhedrosis virus. Part I. Nuclear polyhedrosis viruses of insects. In Adams, J.R. and J.R. Bonami. (Eds.) Atlas of Invertebrate Viruses. CRC Press: Boca Raton, Florida. 87-204.
- Arifin, M. 1988. Pengaruh konsentrasi dan volume nuclear polyhedrosis virus terhadap kematian ulat grayak kedelai (*Spodoptera litura* F.). Penelitian Pertanian. 8(1): 12-14.
- Arifin, M. 2006. Kompatibilitas SINPV dengan HaNPV dalam Pengendalian Ulat Grayak dan Ulat Pemakan Polong Kedelai. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. 25 (1): 65-70.
- Arifin, M. dan Bedjo. 2007. Keefektifan beberapa isolat SINPV dan kombinasinya dalam pengendalian ulat grayak pada kedelai. Prosiding Seminar Nasional Komunikasi Hasil-hasil Penelitian Pertanian dan Peternakan dalam Sistem Usahatani Lahan Kering. Kupang, 7-8 Desember 2007. Buku 1: 222-228.
- Arifin, M. 2010. Bioinsektisida SINPV untuk mengendalikan ulat grayak mendukung swasembada kedelai. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Entomologi (Hama dan Penyakit Tanaman) pada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Bogor, 6 September 2010. 54 p.
- Armenta, R. dan A.M. Martinez, J.W. Chapman, R. Magallanes, D. Goulson, P. Caballero, R.D. Cave, J. Cisneros, J. Valle, V. Castillejos, D.I. Penagos, L.F. Garcia, and T. William. 2003. Impact of a nucleopolyhedrovirus bioinsecticide and selected synthetic insecticides on the abundance of insect natural enemies on maize in Southern Mexico. J. Econ. Entomol. 96(3): 649-661.
- Asano, S. 2005. Ultraviolet protection of a granulovirus product using iron oxide. Appl Entomol Zool, 40(2): 359-364.
- Asri, M.T., Isnawati, dan M.T. Hidayat. 2003. Konsentrasi virus HaNPV isolat Yogyakarta yang efektif untuk mengendalikan ulat *Helicoverpa armigera*. Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains, 3(8): 150-154.
- Atmadja, W.R., T.E. Wahyono, dan N. Tarigan. 2009. Efektivitas patogen serangga sebagai agensia hayati untuk mengendalikan *Maenas maculifascia* pada tanaman ylang-ylang (*Canarium odoratum*). Bull. Littro, 2(1): 68-76.

- Azis, A. 2009. Kajian potensi virus β -nudaurelia untuk pengendalian hama ulat api (*Thosea asigna*) pada tanaman kelapa. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 9(2): 90-94.
- Beard, C.B., J.F. Butler, and J.E. Muriniak. 1989. A Baculovirus in the flea, *Pulex simulans*. *J. Invert. Pathol.*, 54:128-131.
- Beas-Catena, A., A. Sanchez-Miron, F. Garcia-Camaacho, A. Contreras-Gomez, and E. Molina-Grima. 2014. Baculovirus biopesticides: an overview. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(2): 362-373.
- Bedford, G.O. 1981. Control of *Rhinoceros* beetle by baculovirus. In HD Burges (Eds.) *Microbial Control of Pest and Plant Diseases 1970-1980*. Academic Press, New York. 409-426.
- Bedjo. 2011. Pemanfaatan biopestisida *SINPV* dan *HaNPV* untuk pengendalian *Spodoptera litura* dan *Helicoverpa armigera* pada tanaman kedelai. *Suara Perlindungan Tanaman*, 1(3): 7-12.
- Bedjo. 2012. Evaluasi beberapa isolat *Helicoverpa armigera* nuclear polyhedrosis virus (*HaNPV*) untuk pengendalian hama pemakan polong kacang hijau. *Suara Perlindungan Tanaman*, 2(1): 1-5.
- Bonning, B.C. and B.D. Hammock. 1996. Development of recombinant baculoviruses for insect control. *Annu. Rev. Entomol.*, 41: 191-210.
- Bull, D.L., V.S. House, J.R. Ables, and R.K. Morrison. 1979. Selective methods for managing insect pests of cotton. *J. Econ. Entomol.*, 72:841-846.
- CAB INTERNATIONAL. 2000. *Crop Protection Compendium*. Wallingford, UK.
- Castillejos, V., J. Trujillo, L.D. Ortega, J.A. Santizo, J. Cisneros, D.I. Penagos, J. Valle, and T. Williams. 2002. Granular phagostimulant nucleopolyhedro-virus formulations for control of *Spodoptera frugiperda* in maize. *Biol. Contr.*, 24: 300-310.
- Chandler, D., A. Bailey, G.M. Tatchell, G. Davidson, J. Greaves, and W.P. Grant. 2011. The Development, Regulation and Use of Biopesticides for Integrated Pest Management. *Philosophical Transaction of The Royal Society B*, 386: 2-13.
- Cunningham, J.C. and P.F. Entwistle. 1981. Control of Sawfly by Baculovirus, In Burges, H.D. (Eds.) *Microbial Control of Pest and Plant Diseases 1970 - 1980*. Academic Press, New York. P. 379-407.
- Dodin, K., M. Arifin, dan Harnoto. 2001. Kompatibilitas *SINPV* dengan ekstrak biji mimba untuk mengendalikan ulat grayak pada kedelai. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Rintisan dan Bioteknologi Tanaman*. 343-347.
- Dougherty, E.M., N. Narang, M. Loeb, D.E. Lynn, and M. Shapiro. 2006. Fluorescent brightener inhibits apoptosis in baculovirus-infected gypsy moth larval midgut cells. *Biocon. Sci. Tech.* 16(1/2): 157-168.
- Duraimurugan, P. and A. Regupathy. 2005. Push-pull strategy with trap crops, neem and nuclear polyhedrosis virus for insecticide resistance management in *Helicoverpa armigera* (Hubner) in cotton. *American Journal of Applied Sciences*. 2(6): 1042-1048.
- Dushoff, J. and G. Dwyer. 2001. Evaluating the risks of engineered viruses: modeling pathogen competition. *Ecol. Appl.* 11(6): 1602 – 1609.
- Elvira, S., N. Gorria, D. Munoz, T. Williams, and P. Caballero. 2010. A simplified low-cost diet for rearing *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on *S. exigua* nucleopolyhedrovirus production. *J. Econ. Entomol.* 103(1): 17-24.
- El Salamouny, S., D. Ranwala, M. Shapiro, B.M. Shepard, and B.R. Farrar. 2009. Tea, coffee, and cocoa as ultraviolet radiation protectants for the beet armyworm nucleopolyhedrovirus. *J. Econ. Entomol.*, 102(5):1767-1773.

- Erayya, J. Jagdish, P.K. Sajeesh, and V. Upadhyay. 2013. Nuclear Polyhedrosis Virus (NPV), A Potential Biopesticide: A Review. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 1(8): 30-33.
- Etebari, K., L. Matindoost, S.Z. Mirhoseini, and M.W. Turnbull. 2007. The effect of *BmNPV* infection on protein metabolism in silkworm (*Bombyx mori*) larva. *ISJ*, 4: 13-17.
- Farrar Jr.R.R., M. Shapiro, and I. Javaid. 2004. Photostabilized titanium dioxide and a fluorescent brightener as adjuvants for a nucleopolyhedrovirus. *BioControl* 48(4): 543-560.
- Gasic, S. and B. Tanovic. 2013. Biopesticide Formulations, Possibility of Application and Future Trends. *Pestic. Phytomed.* Belgrade, 28(2): 97-102.
- Glare, T.R., P.J. Walsh, M. Kay, and N.D. Barlow. 2003. Strategies for the eradication or control of gypsy moth in New Zealand. *Agresearch*. 165 p.
- Gothama, A.A.A., G.W. Lawrence, and P.P. Sikorowski. 1996. Activity and persistence of *Steinernema carpocapsae* and *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus against *S. exigua* larvae on soybean. *J. Nematol.* 28(1): 68-74.
- Granados, R.R. and B.K. William. 1986. In Vivo Infection and Replication of Baculoviruses in The Biology of Baculoviruses. CRC Press. Boca Raton, Florida. 90-104.
- Gupta, R.K., M. Gani, P. Jasrotia, K. Srivastava, and V. Kaul. 2014. A comparison of infectivity between polyhedra of the *Spodoptera litura* multiple nucleopolyhedro- virus before and after passage through the gut of the stink bug *Eocanthecona furcellata*. *Journal of Insect Science* 14(96).
- Hamm, J.J., L.D. Chandler, and H.R. Sumner. 1994. Field tests with fluorescent brightener to enhance infectivity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) nuclear polyhedrosis virus. *Florida Entomologist* 77(4): 425-434.
- Hammock, B.D., B.C. Bonning, R.D. Possee, T.N. Hanzlik, and S. Maeda. 1990. Expression and effects of juvenile hormone esterase in a baculovirus vector. *Nature* 344: 458 – 461.
- Hoffmann, M.P. and A.C. Frodsham. 1993. Natural Enemies of Vegetable Insect Pest. Cooperative Extension. Cornell University. Ithaca. New York. 63 p.
- Huger, A.M. 1966. A virus disease of the Indian rhinoceros beetle, *Oryctes rhinoceros* (L.) caused by a new type of insect virus, *Rhabdionvirus oryctes* gen. J. *Invert. Pathol.* 8: 38-51.
- Ignoffo, C.M. and T.L. Cough. 1981. The Nucleopolyhedrosis virus of *Heliothis* spp. as a microbial insecticide In Burges HP (Ed.) *Microbial Control of Pest dan Plant Diseases 1970-1980*. Academic Press London dan New York, NY. 29-362.
- Ignoffo, C.M., B.S. Shasha, and Shapiro. 1991. Sunlight ultraviolet protection of *Heliothis* nuclear polyhedrosis virus through starch-encapsulation technology. *J. Invert. Pathol.* 57: 134-136.
- Inceoglu, A.B., S.G. Kamita, and B.D. Hammock. 2006. Genetically modified baculoviruses: a historical overview and future outlook. *Adven. Vir. Res.* 68: 323- 326.
- Ishikawa, H., M. Ikeda, C.A.F. Alves, S.M. Theim, and M. Kobayashi. 2004. Host range factor 1 from *Lymantria dispar* nucleopolyhedrovirus (NPV) is an essential viral factor required for productive infection of NPVs in IPLB-Ld652Y cells derived from *L. dispar*. *J. Virol.* 78(22):12703 – 12708.
- Jeyarani, S. N. Sathiah, and P. Karuppuchamy. 2005. Influence of *Pseudomonas fluorescens* and a *Nucleopolyhedrovirus* on Cotton Bollworm *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Tropical Agricultural Research*, 17: 221-230.
- Kalmakoff and Ward. 2003. *Baculoviruses*. Univerdity of Otago, Dunedin, New Zealand. <http://www.microbiology-bytes.com/virology>. [Desember 2011].

- Kao, S.S., W.T. Hsia, and L.H. Huang. 1991. Effectiveness of adjuvants for nuclear polyhedrosis virus against the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Chinese J. Entomol. 11: 330-334.
- Kumar, N. S., K. Murugan, and W. Zhang. 2007. Additive interaction of *Helicoverpa armigera* Nucleopolyhedrovirus and Azadirachtin. Biocontrol, 53: 869-880.
- Lacey, L.A., R. Frutos, H.K. Kaya, and P. Vail. 2001. Insect pathogens as biological control agents: do they have a future?. Biol. Cont. 21: 230-248.
- Lasa, R., C. Ruiz-Portero, M.D. Alcazar, J.E. Belda, P. Caballero, and T. William. 2007. Efficacy of optical brightener formulations of *Spodoptera exigua* multiple nucleopolyhedrovirus (SeMNPV) as a biological in greenhouse of Southern Spain. Biol. Cont. 40: 89-96.
- Lasa, R, T. William, and P. Caballero. 2008. Insecticidal properties and microbial contaminants in *Spodoptera exigua* multiple nucleopolyhedrovirus (Baculoviridae) formulation stored at different temperatures. J. Econ. Entomol. 101(1):42-49.
- Li, Z. and G.W. Blissard. 2009. The *Autographa californica* multicapsid nucleopolyhedrovirus GP64 protein: Analysis of transmembrane domain length and sequence requirements. J. Virol. 89(9):4447-4461.
- Maeda, S. 1989. Increased insecticidal effect of a recombinant baculovirus carrying a synthetic diuretic hormone. Biochem. Biophys. Res. Comm. 165: 1177 – 1183.
- Martinez, A.M., O. Simon, T. Williams, and P. Caballero. 2003. Effect of optical brighteners on the insecticidal activity of a nucleopolyhedrovirus in three instars of *Spodoptera frugiperda*. Ent. Exp. App. 109: 139-146.
- McCutchen, B.F., P.V. Choudary, R. Crenshaw, D.W. Maddox, K. Majima, B.D. Hammock, and E. Fowler. 1991. Insecticidal effects of an insect-specific neurotoxin expressed by recombinant baculovirus. Virol. 184: 777 – 780.
- McIntosh, A.H., J.J. Grasela, L. Lua, and S.C. Braunagel. 2004. Demonstration of the effects of fluorescent proteins in baculoviruses exposed to ultraviolet light inactivation. J. Insect. Sci. 4:31-39.
- Mehrvar, A., R.J. Rabindra, K. Veenakumari, and G.B. Narabench. 2008. Evaluation of adjuvants for increased of *HearNPV* against *Helicoverpa armigera* (Hubner) using suntest machine. J. Biol. Sci. 1-8.
- Mondragon, G., S. Pineda, A. Martinez, and A.M. Martinez. 2007. Optical brightener Tinopal C1101 as an ultraviolet protectant for a nucleopolyhedro-virus. Commun. Agric. Appl. Biol. Sci. 72(3): 543-547.
- Monobrullah, Md. 2003. Optical brighteners-pathogenicity enhancers of entomopathogenic viruses. Current Sci., 84(5): 640 – 645.
- Murillo, R., R. Lasa, D. Goulson, T. Williams, D. Munoz, and P. Caballero. 2003. Effect of tinopal LPW on the insecticidal properties and genetic stability of the nucleopolyhedrovirus of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol., 96(6): 841-846.
- Narayanan, K. 2004. Insect defence: its impact on microbial control of insect pests. Current Sci. 86(6): 800-814.
- Okada, M. 1977. Studies on the utilization and mass production of *SINPV* for control of the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* F. Rev. Pl. Protec. Res. 10: 102-128.
- O'Reilly, D.R. and L.K. Miller. 1991. Improvement of a baculovirus pesticide by deletion of the egt gene. Bio/Tech. 9: 1086-1089.
- Pionar, O.G. Jr. and G.M. Thomas. 1984. Laboratory Guide to Insect Pathogens and Parasites. Plenum Press, New York. 392 p.

- Ramle, M., M.B. Wahid, K. Norman, T.R. Glare, and T.A. Jackson. 2005. The incidence and use of *Oryctes* virus for control of rhinoceros beetle in oil palm Plantation in Malaysia. *Journal of Invertebrate Pathology*. 89: 85-90.
- Samsudin. 1999. Karakterisasi virus patogen dari ulat bawang *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) isolat Indonesia. Tesis Program Magister Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 56 h.
- Samsudin. 2001. Keefektifan kombinasi *Anagrapha falcifera* NPV (AfNPV) dengan *Spodoptera litura* NPV (SfNPV) untuk mengendalikan ulat grayak pada kedelai. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Rintisan dan Bioteknologi Tanaman, Bogor, 26-27 Desember 2001. 348-351.
- Samsudin. 2011. Uji patologi dan perbaikan kinerja *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus (SeNPV). Disertasi Program Doktor Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 109 h.
- Samsudin, T. Santoso, A. Rauf, dan Y.M. Kusumah. 2011. Keefektifan bahan pelindung alami dalam mempertahankan infeksi virus *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus (SeNPV). *Berita Biologi*. 10(6): 689-697.
- Samsudin. 2012. Virus patogen serangga sebagai agens hayati pengendali hama tanaman perkebunan yang efektif. *Info Tek*. 4(4): 15.
- Samsudin dan T. Santoso. 2012. Infektifitas *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus (SeNPV) yang diperkaya dengan bahan pengaktif terhadap larva *Spodoptera exigua* Huebner. *Berita Biologi*. 11(3): 297-304.
- Samsudin dan T. Santoso. 2014. Uji Patologi *Spodoptera exigua* Nucleopolyhedrovirus (SeNPV) pada Larva *S. exigua* Huebner (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Biologi Indonesia*. 10(2): 169-178.
- Shapiro, M., and B.M. Shepard. 2008. Relative efficacies of congo red and tinopal LPW on the activity of the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) nucleopolyhedrovirus and cypovirus. *J. Agric. Urban. Entomol*. 25(4): 233-243.
- Shapiro, M., S.E. Salamouny, and B.M. Shepard. 2008. Green tea extracts as ultraviolet protectants for the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, nucleopolyhedrovirus. *Biocon Sci. Tech*. 18: 591-603.
- Shepard, E.F., B.M. Shepard, and A. Rauf. 1996. Virus of *Spodoptera exigua*. *Palawija/Vegetable IPM Newsletter*. 1(1) : 2-3.
- Spenger, A.R., Grabherr, L. Tollner, H. Katinger, and W. Ernst. 2002. Altering the surface properties of baculovirus *Autographa californica* NPV by insertional mutagenesis of envelope protein gp64. *Eur. J. Biochem*. 269: 4458 – 4467.
- Stairs, G.R. and T. Fraser. 1981. Changes in growth dan virulence of nuclear polyhedrosis virus. *J. Inver. Pathol*. 35:230-235.
- Sudharto, A. Susanto, R.Y. Purba, dan B. Drajat. 2011. Teknologi Pengendalian Hama dan Penyakit pada Kelapa Sawit: Siap Pakai dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 3 h.
- Suhas, Y., J.B. Gopali, B.V. Patil, and S. Lingappa. 2009. Effect of different adjuvants in enhancing the efficacy of HaNPV against *Helicoverpa armigera* (Hubner) in pigeonpea. *Karnataka J. Agric. Sci*. 22(3): 502-503.
- Takatsuka, J. and Y. Kunimi. 2002. Lethal effects of *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrovirus isolated in Shiga Prefecture, Japan, on larvae of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Entomol. Zool*. 37(1): 93-101.
- Tanada, Y. and R.T. Hess. 1991. Baculoviridae. Granulosis viruses. In Adam, J.R. and J.R. Bonami (Eds.). *Atlas of Invertebrate Viruses*. CRC Press: Boca Raton, Florida. 227 – 257.

- Tanada, Y. and H.K. Kaya. 1993. Insect Pathology. Academic Press. San Diego. California. p. 78-98.
- Tinsley, T.W. and D.C. Kelly. 1985. Taxonomy and Nomenclatures of Insect Pathogenic Viruses. p. 3-26. *In* Maramorosch, K. and Sherman, K.E. (Eds.). Viral Insecticides for Biological Control. Academic Press. London.
- Treacy, M.F. 1999. Recombinant baculoviruses. *In* Hall, F.R. and J.M. Julius. 1999. Biopesticides Use and Delivery. Humana Press. Totowa, New Jersey. 321 – 340.
- Vilaplana, L., K. Wilson, E.M. Redman, and J.S. Cory. 2010. Pathogen persistence in migratory insects: high levels of vertically-transmitted virus infection in field populations of the African armyworm. *Evol. Ecol.* 24: 147-160.
- Washburn, J.O., D. Trudeau, J.F. Wong, and L.E. Volkman. 2003. Early pathogenesis of *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus and *Helicoverpa zea* single nucleopolyhedrovirus in *Heliothis virescens*: a comparison of the 'M' and 'S' strategies for establishing fatal infection. *J. Gen Virol.*, 84: 343-351.
- Wijarnako, A. 1998. Mengendalikan hama dengan musuh alami. Institute For Science and Technology Studies Chapter Japan. <http://istecs.org/Publication/Dimensi>].
- Woo, S.D., J.Y. Roh, J.Y. Choi, and B.R. Jin. 2007. Propagation of *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus in nonpermissive insect cell lines. *J. Microbiol.*, 45(2): 133-138.
- Young, S.Y. 1989. Problems associated with the production and use of viral pesticides. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 84(3): 67-73.