

POTENSI NEMATODA ENTOMOPATOGEN UNTUK MENGENDALIKAN ULAT GRAYAK PADA TANAMAN KEDELAI

Yuliantoro Baliadi¹

ABSTRAK

Hama merupakan salah satu kendala mempertahankan dan meningkatkan produksi kedelai, khususnya di daerah beriklim tropis. Ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) adalah hama penting pada tanaman kedelai. Strategi pengendalian ulat grayak menggunakan prinsip-prinsip pengendalian hama terpadu (PHT) yang ramah lingkungan. PHT menekankan penggunaan agens hayati dengan tujuan menyeimbangkan antara populasi hama dengan musuh alaminya. Oleh karena itu, musuh alami adalah komponen penting dalam PHT. Nematoda entomopatogen (NEP) dari genus *Steinernema* dan *Heterorhabditis* dengan bakteri simbiotiknya memiliki potensi besar sebagai agens hayati untuk mengendalikan ulat grayak. Dari semua stadia kehidupan NEP, hanya juvenil infektif stadia-3 (IJs) yang mampu bertahan hidup di luar tubuh inang dan membawa bakteri simbiotik (*Xenorhabdus* sp. untuk *Steinernema* dan *Photorhabdus* sp. untuk *Heterorhabditis*). Saat berada di bagian hemokul inang, bakteri dilepaskan, bakteri dengan cepat memperbanyak diri, dan 2–3 hari kemudian serangga inang mati. Mortalitas inang bergantung pada spesies NEP. Mortalitas sebesar 94,6, 90,4, 86,6, dan 58,6%, disebabkan oleh *S. carpocapsae*, *S. glaseri*, *H. bacteriophora*, dan *H. indica* 72 jam setelah inokulasi. Untuk keperluan uji laboratorium dan lapang skala kecil, NEP dibiakkan pada ulat *Galleria mellonella*. Pada satu ekor ulat *G. mellonella* dihasilkan *H. bacteriophora*, *S. carpocapsae*, dan *S. glaseri* masing-masing sebanyak 135.000, 128.000, dan 133.000 IJs.

Kata kunci: bakteri simbiotik, *Heterorhabditis*, musuh alami, *Spodoptera litura*, *Steinernema*.

ABSTRACT

Pest is one constraint in increasing and maintaining soybean production especially in tropical agroecosystem. The common cutworm (*Spodoptera litura* F.) is the major pests of soybean. The integrated pest management (IPM) has been used to control this insect

pest. IPM stressed on biological control to have an equilibrium between pests and their natural enemies. Natural enemies are important component of IPM. The entomopathogenic nematodes in the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis* with their symbiotic bacteria have great potential as biological control agents for *S. litura*. Of all developmental stages of the nematodes, only the 3rd-stage infective juveniles (IJs) can survive outside the host and carry their symbiotic bacteria (*Xenorhabdus* sp. for *Steinernema* and *Photorhabdus* sp. for *Heterorhabditis*) into their host. One inside the host haemocoel, the bacteria is released, and it rapidly proliferates and eventually kills the host by causing septicemia, usually within 2–3 days after nematode infection. The insect mortality was varied among species, i.e. 94.6, 90.4, 86.6, and 58.6% for *S. carpocapsae*, *S. glaseri*, *H. bacteriophora*, and *H. indica*, respectively. For laboratory and small-scale field test, the nematodes can easily multiply in *Galleria mellonella*. A number of 135,000, 128,000, and 133,000 IJs per *G. mellonella* larvae can be produced for *H. bacteriophora*, *S. carpocapsae*, and *S. glaseri*.

Keywords: *Heterorhabditis*, natural enemies, *Spodoptera litura*, *Steinernema*, symbiotic bacteria.

PENDAHULUAN

Hama tanaman merupakan salah satu kendala dalam usaha mempertahankan produksi pertanian. Okada *et al.* (1988) melaporkan bahwa ada 111 jenis serangga yang berstatus hama pada tanaman kedelai di Indonesia, sedangkan pada tahun 1950-an hanya ditemukan 23 jenis serangga hama (Kalshoven 1981). Kompleks hama tersebut mempengaruhi kuantitas dan kualitas produksi kedelai. Luas tambah serangan (LTS) kompleks hama kedelai pada tahun 2002 adalah 6.562 ha, 100 ha di antaranya puso dan pada tahun 2003 LTS-nya adalah 5.878 ha, 8 ha di antaranya puso. Rata-rata LTS selama lima tahun (tahun 1997–2001) adalah 14.662 ha, 275 ha di antaranya puso (Dirjen Bina Produksi Tanaman Pangan 2004). Jenis hama yang mengalami peningkatan luas serangan tinggi adalah penggerek polong (*Etiella zinckenella*

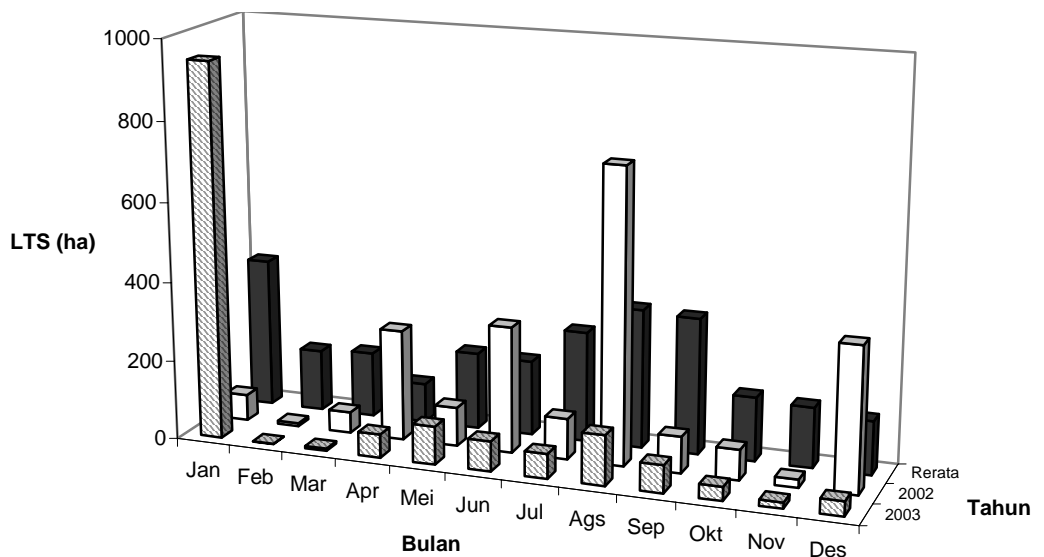
¹ Peneliti Proteksi Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Kotak Pos 66 Malang 65101, Telp. (0341) 801468, e-mail: bliitkabi@telkom.net.

Treit.), kutu hijau (*Aphis glycines* Mats.), ulat buah (*Helicoverpa armigera* Huebner), kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.), kepik hijau (*Nezara viridula* L.), kepik polong (*Riptortus linearis* F.), dan penggerek batang (*Melanagromyza sojae* Zehnt.). Walaupun ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) mengalami penurunan luas serangan, namun hingga saat ini masih menjadi hama utama tanaman kedelai di Indonesia. Ulat ini ditemukan di dataran rendah sampai dengan ketinggian 200 m di atas permukaan laut (Okada *et al.* 1988, Shepard *et al.* 1997). Kajian ekobiologi ulat grayak menginformasikan bahwa perkembangbiakan hama ini berpola polisiklik dengan potensi produksi telur berkisar antara 1186–2965 butir per induk dan total daur hidup rata-rata 32 hari (Noch *et al.* 1983).

LTS ulat grayak pada 2003 mencapai puncak pada bulan Januari (945 ha) dan terendah pada Februari (1 ha). Pada 2002 puncak serangan pada Agustus (739 ha) dan terendah pada Februari (8 ha). Puncak serangan berdasarkan rata-rata lima tahun (1997–2001) terjadi pada Januari (378 ha) dan terendah pada April (99 ha) (Gambar 1) (Dirjen Bina Produksi Tanaman Pangan 2004).

Saat ini ulat grayak dikendalikan dengan teknik budidaya, varietas tahan, insektisida kimia dan nabati, serta agens hayati *S. litura Nuclear Polyhedrosis Virus* (SNPV). Mulanya pengendalian ulat grayak lebih ditekankan pada penggunaan insektisida kimia. Namun belakangan diketahui bahwa penggunaan insektisida kimia dalam waktu lama, terutama insektisida sistemik dan berdaya racun luas dapat menimbulkan masalah resistensi, resurgensi, dan ledakan hama sekunder. Masalah hama yang ditimbulkan bahkan lebih parah daripada sebelum dilakukan pengendalian.

Penggunaan insektisida kimia yang tidak bijaksana tidak selaras dengan tujuan pembangunan pertanian berkelanjutan yang mengedepankan kesehatan manusia dan lingkungan serta kelestarian keanekaragaman hayati (Altieri dan Nicholis 2004). Penurunan penggunaan insektisida saat ini merupakan dampak positif semenjak dikeluarkannya Inpres No. 3 Tahun 1986 mengenai teknologi Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT mengedepankan pengelolaan habitat, seperti pola tanam, tanam serentak, sanitasi, dan pemanfaatan musuh alami (predator, parasitoid, dan agens hayati) (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup 1996).



Gambar 1. Luas tambah serangan (LTS) ulat grayak tahun 2003 dibandingkan dengan tahun 2002 dan rata-rata lima tahun (tahun 1997–2001). Data diolah ulang dari data yang disajikan oleh Dirjen Bina Produksi Tanaman Pangan (2004).

STRATEGI PENGENDALIAN ULAT GRAYAK

Pengendalian ulat grayak sulit karena ulat ini memiliki daerah penyebaran dan kisaran inang luas. Selain itu, petani kurang memahami bioekologi ulat grayak sehingga seringkali terlambat saat pengendaliannya.

Panduan umum pengelolaan tanaman terpadu kedelai (Balitkabi 2007) menegaskan pengendalian hama harus berlandaskan pada strategi PHT. Prinsip operasional PHT adalah: budidaya tanaman sehat, pelestarian musuh alami, pemantauan ekosistem secara rutin dan menyeluruh, dan petani sebagai ahli PHT (Dirjen Perlindungan Tanaman Pangan 1997). PHT mengedepankan pemanfaatan musuh alami sebagai penekan populasi ulat grayak ke tingkat di bawah ambang ekonomi. Saat ini, komponen teknologi yang telah tersedia dan dapat diintegrasikan dalam PHT ulat grayak adalah: varietas tahan, tanam serempak, agens hayati *S/NPV*, dan insektisida kimia (Marwoto *et al.* 2006).

Varietas tahan terhadap ulat grayak belum ada di Indonesia. Jackai *et al.* (1990) melaporkan kedelai PI 171444 tahan terhadap *S. littoralis* dengan tipe ketahanan *antibiosis* dan *antixenosis*. Varietas Ijen dinyatakan toleran terhadap ulat grayak (Suhartina 2005) dan dianjurkan untuk ditanam pada musim puncak populasi ulat grayak, yaitu bulan Januari dan Agustus.

S/NPV merupakan bioinsektisida untuk mengendalikan *S. litura*. Tingkat mortalitas ulat grayak di rumah kaca mencapai 80%, namun di tingkat lapang mortalitasnya menurun hingga 35–40% (Arifin 1988). Kepekaan *S/NPV* terhadap sinar matahari dapat dikurangi dengan penambahan bahan pelindung seperti Tween, kalin, dan tetes tebu (Bedjo 1998), sehingga mortalitas ulat grayak di lapang dapat ditingkatkan hingga 82,5%.

Insektisida yang direkomendasi untuk mengendalikan ulat grayak antara lain berbahan aktif permetrin, dekametrin, etofenproks, sipermetrin, flufenoksuron, klorfluazuron, betasiflutrifin, dan sihalotrin (Marwoto *et al.* 2006). Sulitnya mengendalikan ulat grayak menggunakan insektisida disebabkan oleh banyak faktor, di antaranya: ulat grayak tergolong serangga polifagus antara lain pada kacang tanah, kacang hijau, tembakau, lombok, bawang merah, ubi jalar,

tomat, kapas, dan kubis (Tengkano dan Soehardjan 1985; Marwoto *et al.* 1991). Ulat grayak mempunyai potensi oviposision tinggi yakni mampu meletakkan telur sejumlah 1500 telur per induk pada bagian bawah permukaan daun, telur terlindungi dari tekanan lingkungan dan musuh alami dengan jaring sutra dari tubuhnya (Kamal 1951). Telur ulat grayak menetas cepat, pemakan voracious (rakus), pemakan malam (*nocturnal feeders*), bersembunyi di serasah di siang hari, larva stadia lanjut (4–7) tidak mempan insektisida, dan kepompong ada di tanah (Jackai *et al.* 1990). Selain itu Talekar (1987) melaporkan bahwa ulat grayak resisten terhadap insektisida. Jackai *et al.* (1990) menyatakan perlu kehati-hatian dalam pengendalian ulat grayak, terutama terhadap fenomena resistensi hama terhadap insektisida.

BIOLOGI DAN POTENSI NEMATODA ENTOMOPATOGEN

Nematoda entomopatogen (NEP) genus *Steinernema* dan *Heterorhabditis* dinyatakan sebagai agens hayati yang efektif dan efisien mengendalikan ulat grayak (Woodring dan Kaya 1988). Juvenil stadia tiga (IJs) adalah stadia yang aktif menginfeksi serangga inang melalui anus dan mulut (Poinar 1990; Selvan *et al.* 1993). Di dalam hemokul inang, IJs *Steinernema* melepaskan bakteri simbion *Xenorhabdus* sp. dan IJs *Heterorhabditis* melepaskan *Photorhabdus* sp. Toksin yang dihasilkan oleh nematoda dan bakteri (Boemare dan Givauda 1998) akan membunuh inang 24–48 jam setelah infestasi. Nematoda berkembang menjadi dewasa dengan memakan bakteri simbion dan degradan jaringan inang. Nematoda menghasilkan 2–3 generasi baru di dalam inang. Ribuan IJs baru ke luar meninggalkan tubuh inang untuk mencari inang baru (Johnick dan Ehlers 1999; Baliadi *et al.* 2001).

Ulat grayak yang terinfeksi warnanya menjadi kuning kecoklatan dan jaringan tubuh bagian dalam lunak akibat serangan bakteri simbion (Gambar 2).

Ulat grayak yang terhindar dari kematian pupanya abnormal. Mortalitas ulat grayak bergantung pada spesies NEP (Tabel 1). *Steinernema carpocapsae* dan *Heterorhabditis bacteriophora* patogenisitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan *Steinernema glaseri* dan *Heterorhabditis*

indica, dan empat nematoda pemangsa serangga. Selain itu, daya penetrasi *S. carpocapsae* dan *H. bacteriophora* juga lebih tinggi dibandingkan dengan *S. glaseri* dan *H. indica*. Tipe pencarian inang, *ambusher* (*S. carpocapsae*) dan *cruiser* (*H. bacteriophora*, *S. glaseri*, dan *H. indica*) efektif sebagai strategi pencarian mangsa. Invasi nematoda ke dalam inang umumnya melalui lubang-lubang alami seperti mulut, anus serta kutikula (Baliadi *et al.* 2001; 2003). Kematian serangga inang adalah akibat hasil kerja simbiosis mutualisme antara NEP dan bakteri simbiannya (Strauss 1998).

S. carpocapsae aksenik atau tanpa keikutsertaan bakteri simbiannya memiliki aktivitas insektisidal yang cukup tinggi walaupun masih di bawah kemampuan insektisidal nematoda monoksenik. Sebaliknya *S. glaseri* aksenik tidak mampu mematikan ulat *S. litura* hingga tujuh hari setelah inokulasi. IJs yang dihasilkan melalui jalur reproduksi normal baik pada biakan aksenik maupun monoksenik mempunyai tingkat patogenisitas lebih tinggi dibandingkan dengan IJs yang dihasilkan lewat jalur *endotokia matricida*. Ini membuktikan bahwa bakteri simbiosis sangat dibutuhkan oleh NEP untuk mencapai tingkat patogenisitas tinggi dan reproduksi normal. Efektifitas NEP sangat didukung oleh adanya senyawa metabolit sekunder yang diproduksi oleh bakteri simbiosis seperti antimikotik

Gambar 2. Kadaver *Spodoptera litura* yang terinfeksi *Steinernema carpocapsae*. A: ulat yang mati 24 jam setelah waktu inokulasi. B: ulat berpintal. C: pra-pupa. D: pra-pupa dengan pembentukan kutikula secara parsial. E: pupa tidak normal. F: pupa sehat dengan kurva jelas pada bagian abdomen. Panjang garis adalah 5 mm.

(xenocoumamins, xenorhabdins, nematophin), antibiotik (xenorxides, indoles), nematisida (stilbenes), dan insektisida (Strauss 1998).

Efektifitas senyawa toksik yang dihasilkan oleh NEP dan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri simbiosis telah terbukti mampu mengendalikan beberapa hama penting pada tanaman budidaya (Kondo and Kaya 1998). NEP mungkin akan menjadi pilar penting sebagai salah satu komponen teknologi pada sistem PHT (Ishibashi 1998; Strauss 1998).

Tabel 1. Mortalitas *Spodoptera litura* dan laju invasi nematoda entomopatogen 48 dan 72 jam setelah waktu inokulasi (Baliadi 2004a).

| Nematoda/ Insektisida | Mortalitas <i>S. litura</i> (%) | Jumlah nematoda pada larva <i>S. litura</i> (ekor) ¹⁾ | |
|--------------------------|------------------------------------|--|-------------|
| | | Permukaan ^{tm)} | Dalam tubuh |
| <i>S. carpocapsae</i> | 54,2±3,6 c | 5,1±0,2 | 28,5±3,2 b |
| <i>S. glaseri</i> | 32,4±2,7 bc | 4,4±0,1 | 10,2±2,4 ab |
| <i>H. bacteriophora</i> | 48,8±2,5 c | 7,6±0,8 | 23,4±3,0 b |
| <i>H. indica</i> | 18,6±4,2 b | 6,4±0,2 | 6,8±1,4 a |
| Isolat Malaysia A | 1,7±0,1 a | 10,3±0,8 | 2,5±0,2 a |
| Isolat Malaysia B | 2,8±0,2 a | 19,2±0,4 | 4,2±0,4 a |
| Isolate Saga | 0,0±0,0 a | 1,7±0,2 | 2,4±0,1 a |
| Isolat Kumamoto | 0,0±0,0 a | 1,1±0,1 | 0,0±0,0 a |
| Deltametrin 25 g/l | 82,8±5,6 c | – | – |

Setiap angka adalah nilai rata-rata ± SD dari 50 ulat *Spodoptera litura*. Angka sekolom yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata berdasarkan DMRT 5%. ¹⁾ Jumlah nematoda dihitung 48 jam setelah larva *S. litura* diinokulasi masing-masing dengan 250 IJs. ^{tm)} Tidak berbeda nyata.

PERANAN NEP DALAM PHT

NEP tergolong agens hayati dengan kontribusi tinggi pada PHT (Baliadi 2004b; c), menghindari dampak buruk insektisida kimia terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Ishibashi 1998; Milstead & Poinar 1978), dan dinyatakan sebagai senjata baru untuk mengendalikan serangga hama (Kaya and Stock 1997; Strauss 1998). NEP sebagai agens hayati telah tersedia secara komersial di pasar dunia, di Indonesia telah berhasil diisolasi beberapa spesies NEP lokal baik dari genus *Steinernema* maupun *Heterorhabditis* (deChenon *et al.* 1992; Chaerani dan Suryadi 1999). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan Indonesia sesuai untuk perkembangan NEP. Implikasinya NEP dapat diperbanyak secara *in vitro* dan akan menunjang keberhasilan dalam pengendalian hayati serangga hama, khususnya ulat grayak. Chaerani dan

Suryadi (1999) melaporkan *Heterorhabditis* isolat INA-1 menyebabkan mortalitas *S. litura* sebesar 98%. Mortalitas tersebut lebih tinggi dari yang diperoleh Baliadi (2004a), yaitu masing-masing sebesar 54, 32, 49, dan 19% untuk *S. carpocapsae*, *S. glaseri*, *H. bacteriophora* dan *H. indica*. Lama waktu inkubasi, jumlah IJs yang diinokulasikan, dan spesies NEP mungkin menjadi penyebab perbedaan tingkat mortalitas *S. litura*.

Untuk kebutuhan tingkat laboratorium dan lapang dalam skala kecil, kebutuhan IJs dapat dipenuhi melalui pembiakan NEP secara *in vivo* pada ulat *Galleria mellonella*, ulat bambu, dan *Tenebrio molitor* (Chaerani dan Suryadi 1999, Baliadi 2004a). Baliadi (2004a) memperoleh IJs sebanyak 135.000, 128.000, dan 133.000 IJs per larva *G. mellonella*, masing-masing untuk *H. bacteriophora*, *S. carpocapsae*, dan *S. glaseri* (Tabel 2). Chaerani dan Suryadi (1999)

Tabel 2. Estimasi produksi akhir IJs *H. bacteriophora*, *S. glaseri*, dan *S. carpocapsae* pada larva *G. mellonella* setelah diinokulasi dengan 50 IJs per larva (Baliadi 2004a).

| Generasi nematoda | <i>H. bacteriophora</i> | <i>S. glaseri</i> | <i>S. carpocapsae</i> |
|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Generasi pertama | | | |
| - Total <i>hermaphrodite/female</i> berkembang | 16±5 | 12±6 | 10±4 |
| - Rasio <i>hermaphrodite/female</i> dengan EM | 54-58% | 48% | 52% |
| - Rasio IJs per <i>hermaphrodite/female</i> | 48-54% | 42% | 40% |
| - Jumlah IJs per <i>hermaphrodite/female</i> | 268±56 | 72±20 | 98±30 |
| - Total IJs di semua <i>hermaphrodite/female</i> | 4288±644 | 864±62 | 980±48 |
| - Estimasi kontribusi | 3.2% | 0.7% | 0.7% |
| Generasi kedua | | | |
| - Total <i>female</i> berkembang | 294±64 | 363±52 | 438±60 |
| - Rasio <i>female</i> dengan EM | 68-86% | 58-78% | 56-76% |
| - Rasio IJs berkembang per <i>female</i> | 84-96% | 70-86% | 64-82% |
| - Jumlah IJs per <i>female</i> | 68 ±28 | 12±4 | 38±12 |
| - Total IJs di semua <i>female</i> | 19992±3405 | 4356±984 | 16644±2865 |
| - Kontribusi | 14.8% | 3.4%±5 | 12.5% |
| Generasi ketiga | | | |
| - Total <i>female</i> berkembang | 2038±856 | 3944±580 | 3768±602 |
| - Rasio <i>female</i> dengan EM | 94-100% | 82-94% | 78-88% |
| - Rasio IJs berkembang per <i>female</i> | 100% | 100% | 90-94% |
| - Jumlah IJs per <i>female</i> | 42±14 | 8±2 | 18±4 |
| - Total IJs di semua <i>female</i> | 85344±6088 | 31522±2244 | 95232±7206 |
| - Kontribusi | 63.2% | 24.7% | 50.9% |
| Hasil akhir IJs per <i>G. mellonella</i> | 135,000±14,000 | 128,000±10,000 | 133,000±13,000 |

Ket: Data adalah rata-rata dari 10 kadaver *G. mellonella* dengan standar deviasi. Total *hermaphrodite* dan *female* yang berkembang di setiap generasi diamati pada 5, 8, dan 14 hari setelah inokulasi. Jumlah IJs yang terbentuk diamati di cawan Petri yang berisi larutan *Ringer's*. Hasil akhir IJs dihitung 18 hari setelah inokulasi.

menemukan bahwa pada larva *T. molitor* dapat dihasilkan 2–40 kali lipat IJs dengan kualitas lebih baik dibandingkan dengan ulat bambu dan *S. litura*. Pada ulat grayak, ulat bambu, dan *T. molitor* masing-masing dapat dihasilkan IJs sebanyak 133.000, 1.979.000, dan 715.000 ekor per serangga. Produksi secara massal untuk kebutuhan komersial, NEP diperbanyak pada media buatan dan telah dipasarkan di luar negeri (Woodring dan Kaya 1988; Grewal 1999).

Prakondisi tersebut mempermudah pengintegrasian NEP dalam PHT ulat grayak. NEP merupakan salah satu bagian dari agens hayati, sedangkan agens hayati adalah salah satu komponen PHT. Untuk bisa memanfaatkan agens hayati, khususnya NEP terlebih dahulu memahami PHT. Konsep PHT telah disosialisasikan secara massal melalui program SLPHT (Sekolah Lapang Pengendalian Hama Terpadu) dan telah diterima oleh petani Indonesia. Belum banyak informasi tersedia mengenai pemanfaatan NEP sebagai agens hayati di Indonesia. NEP memiliki kisaran inang yang luas (mampu menginfeksi 25% spesies dari 10 ordo serangga) (Poinar 1990). Sehingga NEP memiliki pilihan lebih dari satu inang untuk keberlangsungan atau mempertahankan spesiesnya. Oleh karena itu NEP yang mampu menurunkan populasi ulat grayak, dapat dikombinasikan dengan komponen pengendalian lainnya seperti penanaman kedelai varietas Ijen yang toleran ulat grayak, tanam serempak, *SNPV* isolat JTM 97C, pengumpulan kelompok telur dan larva stadia 1–2, dan insektisida anjuran berbahan aktif permetrin, dekametrin, etofenproks, sipermetrin, flufenoksuron, klorfluzuron, betasiflutrin, dan sihalotrin.

Berdasarkan potensi yang dimiliki NEP penting untuk dikembangkan untuk mengendalikan ulat grayak. Pengintegrasian NEP dalam PHT ulat grayak bukan untuk menghentikan secara total penggunaan insektisida, karena tujuan penggunaan NEP bukanlah pemusnahan karena keberadaan ulat grayak sebagai inang atau mangsa masih dibutuhkan untuk kelestarian musuh alami khususnya keberadaan predator generalis dan NEP itu sendiri. Pengintegrasian NEP bersama komponen teknologi lainnya dalam PHT diharapkan meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengendalian. Kontribusi masing-masing komponen diharapkan akan saling menambah

dan mendukung efektivitas dan efisiensi pengendalian total.

KESIMPULAN

NEP khususnya *S. carpocapsae*, *H. bacteriophora*, dan *S. glaseri* adalah agens hayati generalis yang berpotensi tinggi untuk mengendalikan ulat grayak. NEP tergolong agens hayati polifag sehingga mampu berkembang biak dan bertahan di kondisi alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri, M.A. and C.I. Nicholis. 2004. Biodiversity and Pest management in Agroecosystems. Food Products Press. An Imprint of the Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford. 236 p.
- Arifin, M. 1988. Pengaruh konsentrasi dan volume *Nuclear Polyhedrosis Virus* terhadap kematian ulat grayak (*Spodoptera litura*). Penelitian Pertanian 8 (1): 12–14.
- Baliadi, Y., T. Yoshiga and E. Kondo. 2001. Development of *endotokia matricida* and emergence of originating infective juveniles of steinernematid and heterorhabditid nematodes. *Jpn. J. Nematol.* 31: 26–32.
- Baliadi, Y., T. Yoshiga and E. Kondo. 2003. Infectivity and-post infection development of infective juveniles originating via *endotokia matricida* in entomopathogenic nematodes. *Appl. Entomol. Zool.* 39: 61–69.
- Baliadi, Y. 2004a. Patogenisitas nematoda entomopatogen terhadap ulat grayak kedelai, *Spodoptera litura* F. *Jurnal Ilmu Pertanian Mapeta* 7 (1): 59–64.
- Baliadi, Y. 2004 b. *Endotokia matricida*: reproduksi dan strategi bertahan alternatif agens hayati hama tanaman pangan, nematoda entomopatogen (*Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema glaseri* dan *S. carpocapsae*). Seminar Hasil Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang, 5 Oktober 2004. 15 hlm.
- Baliadi, Y. 2004c. Peluang pemanfaatan kombinasi nematoda dan agens mikrobial untuk pengendalian penyakit dan hama penghuni tanah, p. 184–197. *Dalam* Tutung Hadi Astono *dkk* (eds) *Prosiding Seminar Nasional PFI, Dengan Bioteknologi Kita Tingkatkan Peran Fitopatologi dalam Membangun Pertanian Indonesia yang Ramah Lingkungan*. FPI Komda Jawa Timur Bagian Barat dan Universitas Brawidjaya Malang.
- Boemare, N. and A. Givaudan. 1998. Pathogenicity of symbionts. In *Pathogenicity of Entomopathogenic Nematodes versus Insect Defence Mechanism: Impact on Selection of Virulent Strains* (N. Simoes, N.

- Boemare and R. U. Ehlers eds.). COST 819, EUR 776 EN, pp. 3–8.
- Balitkabi 2007. Panduan Umum Pengelolaan Tanaman Terpadu Kedelai. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang. 54 hlm.
- Bedjo. 1998. Pengaruh jumlah dan jenis bahan pembawa terhadap efektifitas NPV. Makalah Seminar Hasil Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang. 11 hlm.
- Chaerani dan Y. Suryadi. 1999. Isolasi nematoda patogen serangga *Steinernema* dan *Heterorhabditis* dari daerah di Jawa Barat dan Jawa Tengah, p. 197–206. Dalam Imam Prasadja dkk. (eds) Prosiding Seminar Nasional Peranan Entomologi dalam Pengendalian Hama yang Ramah Lingkungan dan Ekonomis. PEI Cabang Bogor.
- De Chenon., R.D.A., Sipayung, dan P.S. Soedharto. 1992. Use of entomogenous nematodes against *Coptotermes curvignathus* Holmgren, Rhinotermitidae. Buletin Pusat Penelitian Perkebunan Marihat 12 (2): 9–17.
- Dirjen Bina Produksi Tanaman Pangan. 2004. Evaluasi kerusakan tanaman kedelai akibat serangan organisme pengganggu tumbuhan tahun 2003, tahun 2002, dan rerata 5 tahun (1997–2001). Jakarta. 116 hlm.
- Grewal, P.S. 1999. Insecticidal nematode laboratory. P. 51–61 In S. Polaparayu (ed) Optimal Use of Insecticidal Nematodes in Pest management. The State Univ. of New Jersey, USA.
- Hardy, R. W. F. 1996. *Ecologically Based Pest management: New Solutions for a New Century*. National Academy Press. Constitution Avenue, N. W. Wahington, DC 144 p.
- Ishibashi, N. 1998. Possible integration of beneficial nematodes and microbial agents for biocontrol of soil pest. Jpn. J. Nematol. 28: 22–28.
- Johnigk, S. A. and R. U. Ehlers. 1999. Juvenile development and life cycle of *Heterorhabditis bacteriophora* and *H. indica* (Nematoda: Heterorabditidae). *Nematology* 1: 251–260.
- Jackai, L.E.N., A.R. Panizzi, G.G. Kundu, and K.P. Srivastava. 1990. Insect pests of soybean in the tropics, p. 91–156. In S.R. Singh (ed) Insect Pest of Tropical Legumes. John Wiley & Sons. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Kalshoven, L.G.E. 1981. Pests of Crops in Indonesia. (revised and translated from Dutch). PT Ichtiar Bani-van Houve. Jakarta Indonesia, 701 p.
- Kamal, M. 1951. The biological control of the cotton-leaf worm, *Prodenia litura* F. in Egypt. Bulletin Societe Fouad I d'Entomologie, 35, 221–270.
- Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1996. Publikasi Awal Agenda 21 Indonesia. Strategi Nasional untuk Pembangunan Berkelanjutan. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 54 hlm.
- Kaya, H. K. & Stock, P. 1997. Techniques in insect nematology. P. 280–324. In L.A. Lacey (ed) Manual of Techniques in Insect Pathology. Acad. Press, London.
- Kondo, E. and N. Ishibashi. 1987. Comparative infectivity and development of the entomogenous, *Steinernema* spp., on the lepidopterous insect larvae, *Spodoptera litura* (Noctuidae) and *Galleria mellonella* (Galleridae). Jap. J., Nematol. 17: 35–41.
- Kondo, E. & Kaya, H. K. 1998. Recent development of biological control by beneficial nematodes: Synopsis and discussion. Jpn. J. Nematol. 28: 75–78.
- Marwoto, E. Wahyuni, dan K.E. Neering. 1991. Pengelolaan pestisida dalam pengendalian hama kedelai secara terpadu. Monograf Balittan Malang No. 7. Balai Penelitian Tanaman Pangan Malang. 38 hlm.
- Marwoto, S. Hardaningsih, dan A. Taufik. 2006. Hama, penyakit, dan masalah hama pada tanaman kedelai. Puslitbangtan, Bogor. 67 hlm.
- Milstead, J. & Poinar, G. O., Jr. 1978. A new entomogenous nematode for pest management systems. California Agriculture, March 1978, 12.
- Noch, Indah, P., Rahayu, A., Wahyu, A. & Mochida, O. (1983) Bionomi ulat grayak *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lep., Noctuidae) sebagai salah satu hama kacang-kacangan. Kongres Entomologi II, Jakarta, 24–26 januari 1983. 11 p.
- Norris, R.F., Caswell-Chen, E, P. & Kogan, M. 2003. Concept in Integrated Pest Management. Prentice Hall. Upper Sadle River, New Jersey. 586 p.
- Okada, T., W. Tengkanoo, and T. Djuwarso. 1988. An outline on soybean pests in Indonesia in faunistic aspects. One day Seminar at BORIF, 6 December 1988. 36p.
- Poinar, G. O., Jr. 1990. Biology and taxonomy of Steinernematidae and Heterorhabditidae, p. 23–61. In R. Gaugler and H. K. Kaya (eds.) Entomopathogenic Nematodes in Biological Control CRC Press, Boca Raton.
- Selvan, S., J. F. Campbell and R. Gaugler. 1993. Density-dependent effects on entomopathogenic nematodes (Heterorhabditidae and Steinernematidae) within an insect host. *J. Invertebr. Pathol.* 62: 278–284.
- Shepard, M., E..F. Shepard, G.R. Carner, M.D. Hamming A. Rauf, S.G. Turnipseed, and Samsudin. 1997. Prospects for IPM in secondary food crops. Presentation made at the Kongres V dan Simposium Entomologi, PEI. Bandung, June 24–26, 1997. 31 p.

- Strauss, E. 1998. Possible new weapon for insect control. *Science* 280: 205–206.
- Talekar, N.S. 1987. Insect damaging soybean in Asia p, 25–45. *In* Singh, S.R., K.O. Rachi, and K.E. Dashiell (eds) *Soybean for the Tropics: Research, Production and Utilization*. Chichester, John Wiley & Sons.
- Tengkano, W. dan M. Soehardjan. 1985. Jenis hama utama pada berbagai fase pertumbuhan tanaman kedelai, hlm 295–318. *Dalam* Somaatmadja, S., M. Ismunadji, Sumarno, M. Syam, S.O. Manurung, dan Yuswadi (Eds). *Kedelai*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan Bogor.
- Woodring, J. L. and H. K. Kaya. 1988. *Steinernematid and Heterorhabditid Nematodes: A handbook of Biology and Techniques*. Southern Cooperative Series Bulletin. 331. Arkansas Agric. Exp. Sta. Fayetteville, Arkansas. 30 pp.