

PATOGENISITAS DAN KEEFEKTIFAN NEMATODA ENTOMOPATOGEN *Heterorhabditis* sp. TERHADAP PENGGEREK UMBI KENTANG *Phthorimaea operculella* (Zeller) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)

Pathogenicity and Effectiveness of Entomopathogen Nematode Heterorhabditis sp. to Potato Tuber Moth Phthorimaea operculella (Zeller)(Lepidoptera: Gelechiidae)

Lufthi Rusniarsyah¹, Aunu Rauf², Supramana², Samsudin³

¹ Staf Pengajar Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB

² Staf Pengajar Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB

³ Staf Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri

ABSTRACT

Potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zell. (Lepidoptera: Gelechiidae) is one of the important potato pest. Damage occurs in the field as well as in the storage warehouses. If control is not performed well, the potential loss will reach almost 100%. The effectiveness of entomopathogenic nematodes of the *Heterorhabditis* has been studied to control several crop pests. Infective juveniles (IJ's) of nematodes are capable to seek and infect insects that live in soil and in plant tissues. The objectives of the research are to study the pathogenicity of the *Heterorhabditis* sp. against *P. operculella* in the laboratory in direct treatment and in the potato tuber. The experiment was employed a completely randomized design with 6 treatments and 4 replications. The treatment tested are the density level of nematodes *Heterorhabditis* sp. (100, 200, 300, 400, and 500 IJ/ml) and the control. The results showed that *P. operculella* infected by *Heterorhabditis* sp. has symptoms of decreasing motion and feeding activity. Dead insects have change color to dark brown and the body become soft. *Heterorhabditis* sp. can kill *P. operculella* within 12 hours after application (HAA). At density level 100 IJ/ml it can control *P. operculella* by 85% within 24 HAA. The mortality rates of *P. operculella* in the tubers was 35% at doses of 1000 IJ/tubers, although the ANOVA test was not significantly different.

Key words: *Phthorimaea operculella*, entomopathogenic nematodes, *Heterorhabditis* sp.

PENDAHULUAN

Kentang merupakan salah satu dari tiga kelompok sayuran yang menjadi komoditas utama tanaman hortikultura di Indonesia selain cabai dan bawang merah. Kementerian Pertanian RI (2015) melaporkan bahwa produksi kentang pada tahun 2013 mencapai 1.124.282 ton dan angka sementara untuk tahun 2014 mencapai 1.211.400 ton dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 3.77%/tahun. Namun nilai rata-rata pertumbuhan tersebut masih rendah dibandingkan dengan bawang merah dan cabai. Rendahnya produksi kentang ini disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain teknologi dan budidaya yang masih kurang baik, rendahnya penggunaan bibit bermutu, kultur teknis yang kurang tepat, serta faktor organisme pengganggu tanaman (OPT) yang berpengaruh langsung terhadap penurunan produksi.

Salah satu OPT penting yang mengganggu tanaman kentang adalah penggerék umbi/daun kentang, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Selain dapat menyerang tanaman di lapang, hama ini juga dapat menyerang umbi kentang di gudang penyimpanan (Santosa *et al.* 2002). Gejala yang

ditimbulkan pada tanaman yaitu adanya lubang korokan pada daun, kadang-kadang daun kentang menggulung dan larva bersembunyi di dalam gulungan daun. Pada serangan yang berat serangga juga dapat menyerang batang maupun titik tumbuh tanaman. Penurunan produksi akibat dari serangan *P. operculella* di lapang dapat mencapai 36% (Setiawati dan Tobing 1996). Menurut Soeriaatmadja (1988) apabila tidak dilakukan pengendalian dengan menggunakan insektisida maka intensitas kerusakan dapat mencapai 68.33% pada musim hujan dan 100% pada musim kemarau. Gejala serangan *P. operculella* pada umbi lebih sulit diketahui karena larva berada di dalam umbi. Gejala baru dapat terlihat setelah adanya kotoran larva yang timbul di sekitar mata tunas. Bila umbi yang terserang dibelah maka akan terlihat liang gerekkan yang tidak beraturan (CABI 2012). Serangan yang berat sering terjadi pada umbi kentang yang disimpan di gudang penyimpanan selama 3-4 bulan. Kerugian yang ditimbulkan di gudang penyimpanan dapat mencapai 45-90% (Setiawati *et al.* 1998). Umbi yang terserang *P. operculella* bila tetap digunakan untuk bibit, tanaman kentang akan mati pada umur 30-40 hari setelah tanam karena umbi membusuk akibat masuknya air dari bekas lubang gerkkan.

Berbagai usaha pengendalian dilakukan untuk mengendalikan serangan *P. operculella*. Salah satu usaha dalam mengendalikan *P. operculella* yang paling sering dilakukan oleh petani maupun penangkar adalah dengan menggunakan insektisida sintetik. Penggunaan insektisida yang kurang bijaksana dapat berdampak negatif terhadap tanaman, musuh alami dan lingkungan. Selain itu, penggunaan insektisida dirasakan tidak terlalu efektif untuk mengendalikan *P. operculella* karena serangga berada di dalam jaringan tanaman. Untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan insektisida yang tidak bijaksana, maka perlu dicari alternatif pengendalian *P. operculella* yang efektif, lebih ramah lingkungan dan dapat menjangkau serangga yang berada di dalam jaringan tanaman.

Pengendalian hayati merupakan salah satu upaya pengendalian hama dengan memanfaatkan musuh alami sebagai agens hayati untuk menekan kerusakan yang disebabkan oleh OPT. Salah satu agen hayati yang potensial dalam usaha pengendalian hama tanaman yang ramah lingkungan, murah dan mudah dilakukan adalah penggunaan nematoda patogen serangga (NPS). Keunggulan dari penggunaan NPS dalam mengendalikan hama yaitu mampu aktif mencari inang yang berada di dalam tanah maupun di dalam jaringan tanaman (Campbell *et al.* 1993). Selain itu penggunaan NPS tidak memiliki dampak negatif terhadap vertebrata, sehingga aman bagi lingkungan. Menurut Koopenhoefer & Kaya (2002) nematoda dari Famili Heterorhabditidae dan Steinernematidae mampu mematikan serangga inang dalam waktu yang sangat cepat (1-4 hari) karena adanya hubungan mutualistik dengan bakteri simbiosis. Bakteri simbiosis ini tumbuh di dalam tubuh serangga dan mengeluarkan toksin yang dapat meracuni hemolimfa (*septicemia*). Setelah serangga mati, nematoda baru memakan jaringan tubuh serangga dan berkembang biak.

Heterorhabditis sp. merupakan nematoda patogen serangga yang sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai agens pengendali hayati. *H. indicus* INAH17 asal Indonesia mampu mengendalikan penggerek padi kuning di rumah kaca hingga 86% (Chaerani dan Nurbaeti 2007) dan mengendalikan *Cylas formicarius* di rumah kaca mencapai 65% (Chaerani & Waluyo 1996). Nematoda ini menggunakan strategi menjelajah (*cruising*) dan menunggu (*ambushing*) untuk menyerang inangnya.

Penggunaan NPS *Heterorhabditis* sp. untuk mengendalikan *P. operculella* di Indonesia belum banyak dilaporkan. Oleh sebab itu penelitian mengenai keefektifan NPS *Heterorhabditis* sp. untuk mengendalikan *P. operculella* perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan NPS *Heterorhabditis* sp. terhadap *P. operculella* dan mengkaji karakter morfologi dan perilaku *P. operculella* yang terserang NPS *Heterorhabditis* sp.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan dari bulan Maret sampai Juni 2012 di Laboratorium Bionomi dan Ekologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pemeliharaan *P. operculella*

Umbi kentang yang terserang *P. operculella* diambil dari penangkar di daerah Pacet, Cianjur, kemudian dikembangkan di Laboratorium Bionomi dan Ekologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman IPB. Imago yang keluar dipindahkan ke dalam kotak pemeliharaan lain (20 x 20 x 30 cm) berisi kentang yang telah dilukai agar larva yang baru menetas bisa dengan mudah menggerek ke dalam umbi kentang. Kentang yang telah terinfestasi *P. operculella* kemudian dipindahkan ke dalam wadah plastik (diameter 16 x 10 cm) dan dipelihara hingga menjadi imago. Imago yang muncul kemudian dipindahkan kembali ke kotak pemeliharaan berukuran 20 x 20 x 30 cm³ yang berisi kertas tisu untuk meletakkan telur. Imago diberi pakan tambahan berupa madu dengan konsentrasi 10% (Uhan 2008). Untuk pembiakan masal, bibit kentang yang telah terinfestasi *P. operculella* dari penangkar disimpan di dalam kotak pemeliharaan (45 x 45 x 50 cm) hingga muncul imago.

Perbanyak Nematoda *Heterorhabditis* sp.

Isolat NPS diperoleh dari laboratorium Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri (Balitri), Sukabumi. NPS kemudian dibiakan secara *in vivo* pada larva *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) menggunakan metode infeksi kertas saring (Woodring dan Kaya 1988). Suspensi juvenil infeksi (JI) *Heterorhabditis* sp. diinokulasikan secara merata pada cawan Petri berdiameter 17 cm yang telah dilapisi dua lapis kertas saring, kemudian sebanyak 20-30 ekor larva *T. molitor* dimasukkan ke dalam cawan Petri tersebut. Cawan Petri ditutup dan dimasukkan ke dalam kantong plastik transparan untuk menjaga kelembaban di dalam cawan Petri. Larva *T. molitor* yang telah mati karena terinfeksi nematoda kemudian dipindahkan ke dalam perangkap White yang telah dimodifikasi (White 1927 dalam Kaya dan Stock 1997). JI *Heterorhabditis* sp. yang keluar dari bangkai larva *T. molitor* akan bergerak ke dalam air. Selanjutnya *Heterorhabditis* sp. mulai bisa dipanen setiap 2 hari selama 2 minggu (Indriati *et al.* 2011). Nematoda yang dipanen disimpan ke dalam tabung pada suhu 10°C dan digunakan sebelum berumur 1 bulan (Bunga 2004).

Uji *in vitro* *Heterorhabditis* sp. pada *P. operculella*

Sebanyak 5 larva *P. operculella* instar 3 dimasukkan ke dalam cawan Petri yang berisi kertas saring yang telah diinfestasi nematoda *Heterorhabditis* sp. dengan kepadatan populasi sesuai dengan perlakuan. Perlakuan yang digunakan adalah beberapa kepadatan (JI) yang berbeda-beda yaitu 100 JI/ml, 200 JI/ml, 300 JI/ml, 400 JI/ml, dan 500 JI/ml. Larva kemudian dibiarkan selama 3 jam untuk memberi kesempatan kontak dengan nematoda. Setelah itu larva dipindahkan ke dalam cawan Petri yang berisi potongan umbi kentang. Setiap perlakuan dilakukan dalam 4 ulangan. Pengamatan dilakukan setiap 3 jam selama 48 jam, dengan asumsi bahwa larva yang terinfeksi akan mati dalam waktu kurang dari 48 jam. Persentase mortalitas larva *P. operculella* dihitung dengan menggunakan rumus Abbots (Finney 1952) sebagai berikut:

$$Pt = \frac{Po - Pc}{100 - Pc} \times 100\%$$

Keterangan:

Pt = Persentase kematian terkoreksi

Po = Persentase kematian teramati

Pc = Persentase kematian kontrol

Data yang diperoleh dianalisis probit menggunakan program komputer POLO PC untuk mengetahui nilai LC₅₀ dan LC₉₅.

Aplikasi nematoda terhadap *P. operculella* di dalam umbi

Sebanyak 5 ekor larva *P. operculella* yang baru menetas dimasukkan ke dalam wadah plastik yang berisi satu umbi kentang. Ukuran umbi yang digunakan memiliki diameter rata-rata 5 cm dengan bobot 50 g. Aplikasi nematoda dilakukan pada 11 hari setelah infestasi larva *P. operculella* dengan asumsi bahwa larva yang ada di dalam umbi sudah menjadi larva instar 3. Aplikasi dilakukan dengan cara meneteskan 2 ml suspensi nematoda ke umbi kentang yang telah diinfestasi *P. operculella*. Percobaan dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan yaitu: A: 200, B: 400, C: 600, D: 800, E: 1000 JI/umbi, dan F: air (kontrol). Setiap perlakuan terdiri dari satu unit umbi terinfeksi yang disimpan di dalam wadah plastik dan ulang sebanyak 4 kali. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis sidik ragam, dan diuji lanjut menggunakan uji Duncan dengan taraf nyata 5%.

Uji patogenisitas nematoda *Heterorhabditis* sp. terhadap *P. operculella*

Pengamatan dilakukan pada uji *in vitro* meliputi perubahan perilaku dan morfologi larva *P. operculella* yang terinfeksi *Heterorhabditis* sp. sampai mati. Larva *P. operculella* yang mati kemudian dipindahkan ke perangkap White yang telah dimodifikasi untuk melihat kandungan JI yang keluar dari larva.

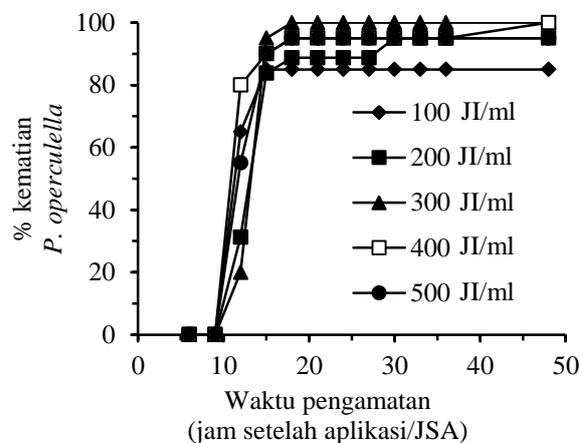
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *in vitro* *Heterorhabditis* sp. terhadap *P. operculella*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *Heterorhabditis* sp. memiliki patogenisitas yang tinggi terhadap *P. operculella*. Hal ini dapat dilihat dari tingkat kematian larva pada uji *in vitro* yang tinggi (Gambar 1). Pada pengamatan 12 jam setelah aplikasi (JSA), aplikasi *Heterorhabditis* sp. telah menyebabkan kematian pada *P. operculella*. Kematian larva *P. operculella* mencapai 80% pada kepadatan 400 JI/ml dan kematian terendah sebesar 20% pada kepadatan 300 JI/ml. Hal ini menunjukkan bahwa waktu infeksi *Heterorhabditis* sp. hingga menyebabkan kematian pada *P. operculella* cukup dalam waktu 12 jam. Waktu yang diperlukan *Heterorhabditis* sp. untuk mematikan larva *P. operculella* lebih cepat dibandingkan dengan infeksi *Steinernema carpocapsae* (Uhan 2008). Hal ini terjadi karena JI *Heterorhabditis* sp. lebih aktif mencari inang

dengan memindai CO₂, senyawa kimia alami, maupun ekskresi yang dihasilkan oleh serangga inang (Indriati *et al.* 2011). Selain itu, *Heterorhabditis* sp. memiliki tonjolan gigi pada ujung kepala sehingga dapat melakukan penetrasi langsung pada integumen inang (Stock dan Hunt 2005, Adams dan Nguyen 2001).

Keberhasilan *Heterorhabditis* sp. menyerang *P. operculella* tidak terlepas dari peran bakteri simbiosis yang terkandung di dalam nematoda. *Photorhabdus* spp. merupakan bakteri yang bersimbiosis dengan *Heterorhabditis* sp.. Setelah nematoda berhasil masuk ke dalam tubuh serangga, bakteri akan dilepaskan dari tubuh nematoda kemudian berkembangbiak dengan cepat dan memproduksi endotoksin dan eksotoksin yang dapat membunuh inang dengan cepat (Forst dan Neilson 1996).



Gambar 1 Tingkat kematian larva *P. operculella* menurut waktu pengamatan

Pada pengamatan 15 JSA, kepadatan nematoda 300 JI/ml telah mampu memberikan persentase mortalitas larva *P. operculella* tertinggi sebesar 95%, sedangkan mortalitas terendah pada kepadatan 200 JI/ml sebesar 83.75%. Namun dari hasil yang diperoleh secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada tiap kepadatan *Heterorhabditis* sp. dalam mengakibatkan mortalitas larva *P. operculella*.

Pada pengamatan 18 JSA, mortalitas larva *P. operculella* mencapai 100% dengan kepadatan 300 JI/ml, sedangkan persentase kematian *P. operculella* terendah terjadi pada kepadatan 100 JI/ml sebesar 85%. Pada kepadatan 300 JI/ml nematoda dalam waktu relatif singkat telah dapat menemukan inang sehingga pada 18 JSA telah mematikan seluruh larva *P. operculella*.

Analisis probit pengaruh *Heterorhabditis* sp. terhadap mortalitas *P. operculella* dilakukan pada 12, 24, 36, dan 48 JSA (Tabel 1). Pada pengamatan 12 JSA nilai LC₉₅ tidak dapat dihitung dengan program POLO PC. Hal ini terjadi karena data pengamatan terlalu bervariasi dan keragamannya tinggi. Kepadatan nematoda yang dibutuhkan untuk mematikan 95% *P. operculella* dalam waktu 24 jam yaitu 328.24 JI/ml, sedangkan bila dalam waktu 48 jam, serangga yang dibutuhkan lebih kecil yaitu sebesar 217.39 JI/ml. Semakin banyak kepadatan JI maka waktu yang diperlukan untuk nematoda dalam mendapatkan inang akan semakin cepat.

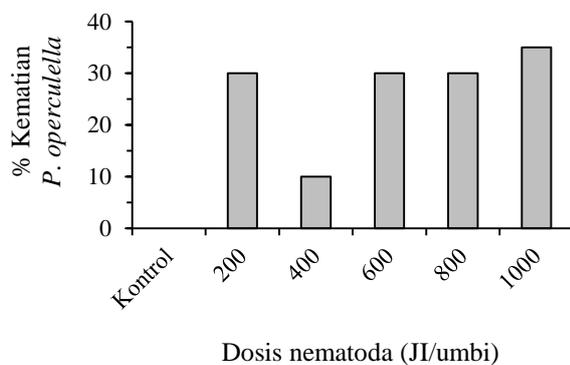
Tabel 1 Nilai LC_{50} dan LC_{95} pengujian nematoda entomopatogen *Heterorhabditis* sp. terhadap larva *P. operculella*

Waktu (JSA) ¹	LC_{50}	LC_{95}
12	178.72	-
24	11.95	328.24
36	9.20	280.64
48	19.28	217.39

¹ JSA = jam setelah aplikasi

Aplikasi nematoda terhadap *P. operculella* di dalam umbi

Pengaruh aplikasi *Heterorhabditis* sp. terhadap larva *P. operculella* di dalam umbi dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat kematian tertinggi terjadi pada dosis 1000 JI/umbi mencapai 35%. Namun secara statistik tidak ada perbedaan yang nyata antar perlakuan terhadap kematian larva *P. operculella*.



Gambar 2 Tingkat kematian larva *P. operculella* oleh *Heterorhabditis* sp.

Pada pengujian keefektifan *Heterorhabditis* sp. terhadap larva *P. operculella*, beberapa larva telah bergerak menuju permukaan umbi untuk menjadi pupa. Larva yang terinfeksi nematoda lebih banyak terjadi pada larva yang berada di permukaan umbi kentang. Larva yang mati di dalam liang gerakan tidak jauh dari permukaan umbi. Beberapa *P. operculella* yang mati terjadi dalam bentuk pupa yang ada di bawah permukaan kulit umbi. Oleh karena itu dari hasil yang diperoleh tidak dapat menunjukkan aktivitas nematoda mencari inangnya hingga ke dalam lubang gerakan. Walaupun secara statistika *Heterorhabditis* sp. belum berpengaruh nyata dalam mengendalikan *P. operculella* di dalam umbi, perlakuan *Heterorhabditis* sp. 1000 JI/umbi mampu mematikan *P. operculella* sebesar 35%.

Keefektifan NPS dalam mengendalikan hama dapat dipengaruhi oleh faktor biotik maupun abiotik. Faktor biotik diantaranya proses antibiosis, kompetisi, dan musuh alami, sedangkan faktor abiotik mencakup kelembaban, radiasi sinar matahari, jenis tanah dan suhu. Faktor suhu dan radiasi sinar matahari merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan, reproduksi dan mobilitas nematoda. Suhu lingkungan yang tidak sesuai dapat menurunkan kemampuan penetrasi nematoda ke dalam tubuh inang (Indriati *et al.* 2011).

Kajian lebih lanjut untuk melihat tingkat kematian *P. operculella* masih perlu dilakukan mengingat data yang diperoleh belum menunjukkan perbedaan mortalitas yang nyata akibat perbedaan kepadatan populasi *Heterorhabditis* sp.

Uji patogenisitas nematoda *Heterorhabditis* sp. terhadap *P. operculella*

Infeksi nematoda patogen serangga *Heterorhabditis* sp. pada *P. operculella* dimulai dengan masuknya nematoda ke dalam tubuh serangga. Setelah nematoda berada di dalam tubuh serangga akan melepaskan bakteri simbiosis yang mengeluarkan senyawa yang beracun bagi serangga. Menurut Tanada dan Kaya (1993) gejala dan tanda serangga yang terinfeksi oleh nematoda entomopatogen dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu gejala internal, gejala eksternal, dan gejala perilaku. Gejala internal hanya dapat dilihat bila serangga yang terinfeksi dibedah sehingga jaringan dalam serangga terlihat hancur tetapi tidak berbau busuk. Pada gejala eksternal larva yang terinfeksi akan terlihat perubahan warna tubuhnya akibat pigmen yang dihasilkan oleh bakteri. Gejala perilaku ditandai dengan aktivitas serangga yang menurun, berhenti bergerak dan tidak makan.

Gejala yang terjadi pada *P. operculella* yang terinfeksi oleh *Heterorhabditis* sp. mulai terlihat pada 9 JSA. Mobilitas larva yang telah terinfeksi sudah mulai menurun, begitu pula dengan aktivitas makannya. Terjadi perubahan warna pada larva yang telah mati menjadi kemerahan hingga menjadi coklat gelap. Selanjutnya tubuh *P. operculella* menjadi lunak karena organ tubuh bagian dalamnya telah hancur.

Proses patogenisitas NPS terhadap serangga tergantung dari tiga faktor yang saling berinteraksi yaitu serangga, nematoda dan bakteri (Griffin *et al.* 2005). Proses ini dipengaruhi oleh kemampuan resistensi serangga, dan virulensi nematoda dan bakteri, baik bekerja secara individu maupun bersama-sama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Heterorhabditis sp. mempunyai patogenisitas yang tinggi terhadap *P. operculella*. Dalam 24 jam *Heterorhabditis* sp. dengan kepadatan paling rendah telah dapat mematikan *P. operculella* sebesar 85%. *Heterorhabditis* sp. dapat mengendalikan *P. operculella* di dalam umbi sebesar 35%. *P. operculella* yang terinfeksi *Heterorhabditis* sp. menunjukkan gejala penurunan aktivitas gerak dan aktivitas makan. Serangga yang mati mengalami perubahan warna menjadi coklat gelap dan tubuhnya menjadi lunak.

Saran

Pengujian pengendalian *P. operculella* di dalam umbi dengan metode tetes tidak terlalu memberikan hasil yang maksimal dalam mengendalikan *P. operculella*. Oleh karena itu perlu penyempurnaan metode perlakuan yang dapat lebih menggambarkan kondisi sebenarnya di gudang penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams BJ, Nguyen KB. 2002. Taxonomy and systematics. Di dalam: Gauler R, editor. *Entomopathogenic Nematology*. UK: CABI Publishing. hlm 1-34.
- Bunga J. 2004. Eksplorasi nematoda entomopatogen dari Kupang, Nusa Tenggara Timur dan pengujian keefektifannya terhadap *Cylas formicarius* Fabr. (Coleoptera: Curculionidae) [Tesis]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Campbel JF, Gaugler R. 1993. Nictation behavior and its ecological implication in the host search strategies of entomopathogenic nematodes (Heterorhabditidae and Steinernematidae). *Behaviour* 126(3-4):155-169.
- Chaerani, Nurbaeti B. 2007. Uji efektivitas nematoda entomopatogen (Rhabditida: *Steinernema* dan *Heterorhabditis*) sebagai musuh alami non-endemik penggerek batang padi kuning (*Scirpophaga incertulas*). *J. HPT Tropika* 7(2):71-79.
- Chaerani, Waluyo. 1996. Potensi nematoda patogen serangga *Steinernema* dan *Heterorhabditis* (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) sebagai pengendali hayati hama lanas ubi jalar (*Cylas formicarius*) F. (Coleoptera: Apionidae). Seminar Nasional Pengendalian Hayati Yogyakarta, 25-26 November 1996.
- [CABI] Crop Protection Compendium International. 2007. Crop protection compendium [CD-ROM]. Wallingford (UK): CAB International. 2 CD-ROM dengan penuntun di dalamnya.
- Finney DJ. 1952. *Probit Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Frost S, Nealson K. 1996. Molecular biology of the symbiotic-pathogenic bacteria *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp.. *Microbiol Rev* 60:21-43.
- Griffin CT, Boemare NE, Lewis EE. 2005. Biology and behaviour. Di dalam: Grewal PS, Ehlers RU, Shapiro-Ilan DI, editor. *Nematodes as Biocontrol Agents*. CABI UK. p. 47-64.
- Indriati G, Samsudin, Soesanthi F. 2011. *Nematoda Heterorhabditis spp. Sebagai Agens Hayati Pengendali Hama Tanaman*. Sukabumi (ID): Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri.
- Kaya HK, Stock P. 1997. Techniques in insect nematology. Di dalam: Lacey LA, editor. *Manual of Techniques in Insect Pathology*. California (US): Academic Press. hlm 281-324.
- [Kementan] Kementerian Pertanian RI. 2015. Rencana Strategis Kementerian Pertanian RI tahun 2015-2019. Jakarta: Biro Perencanaan Kementerian Pertanian RI. hlm 21.
- Koppenhofer AM, Kaya HK. 2002. Entomopathogenic nematodes and insect pest management. Di dalam: Koul O, Dhaliwal GS, editor. *Microbial Biopesticides*. London (UK): Taylor & Francis. hlm 277-305.
- Santosa E, Permana AD, Susanto, Setiawati W. 2002. Identifikasi feromon sex serangga penggerek umbi kentang *Phthorimaea operculella* Zell (Lepidoptera: Gelechiidae). *J. Bionatura* 4(1): 9-16.
- Setiawati W, Tobing MC. 1996. Penggunaan feromonoid seks dan insektisida Imidaklorpid 200 SC terhadap populasi *Phthorimaea operculella* Zell. dan kehilangan hasil kentang pada musim hujan dan musim kemarau. *J. Hort.* 7(4):892-898.
- Setiawati W, Soeriaatmadja RE, Rubiati T, Chujoy E. 1998. *Pengendalian Hama Penggerek Umbi/Daun Kentang (Phthorimaea operculella Zell.) dengan Menggunakan Insektisida Mikroba Granulosis Virus (PoGV)* (monograf). Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Soeriaatmadja RE. 1988. Pengendalian terpadu penggerek daun dan umbi kentang (*Phthorimaea operculella* Zeller). *Jurnal Litbang Pertanian* 7(1):16-20.
- Stock SP, Hunt DJ. 2005. Morphology and Systematics of Nematodes Used in Biocontrol. Di dalam: Grewal PS, Ehlers RU, Shapiro-Ilan DI, editor. *Nematodes as Biocontrol Agents*. UK: CABI. hlm 3-43.
- Tanada, Kaya HK. 1993. *Entomopatogeneus Nematodes for Insect Control in IPM System*. New York: Academic Press. hlm 238.
- Uhan TS. 2008. Kemangkusan nematoda entomopatogen *Steinernema carpocapsae* terhadap hama penggerek umbi/daun kentang (*Phthorimaea operculella* Zell.). *J Hort* 18(1):46-54.
- Woodring J, Kaya H. 1988. *Steinernematid and Heterorhabditid Nematodes: a Handbook of Biology and Techniques*. Southern Cooperative Series Bulletin 331. Arkansas (US): Arkansas Agricultural Experiment Station Fayetteville.