

Alternatif Baru Patogenisitas Hama *Oryctes rhinoceros* pada *Elaeis guineensis* Jacq Menggunakan Nematoda *Steinernema* sp.

Velma Nabila Rivera, Rini Susanti^{*)}, Adhika Septa Eliza, Muhammad Dermawan,
Muhammad Dandi Ari Setiawan, Nur Malatika

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara, 20238,
Indonesia

^{*)}Correspondence author: rinisusanti@umsu.ac.id

Abstrak

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) adalah salah satu komoditas perkebunan yang paling penting di Indonesia. Permasalahan yang sering terjadi pada tanaman kelapa sawit yaitu adanya organisme pengganggu tanaman salah satunya yaitu hama *Oryctes rhinoceros* dimana tingkat serangannya sangat tinggi pada tanaman yang belum menghasikan hingga tanaman menghasilkan mencapai 80%. Salah satu alternatif dalam menekan populasi hama *O. rhinoceros* yaitu menggunakan musuh alami *Steinernema* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *Steinernema* sp. dalam menekan populasi hama *O. rhinoceros* pada tanaman kelapa sawit. Penelitian ini dilakukan di Lapangan dengan menggunakan pot. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) non faktorial dengan 4 taraf perlakuan yaitu dengan mengaplikasikan larutan yang mengandung juvenil infektif *Steinernema* sp. Adapun perlakuannya sebagai berikut: N0: Kontrol, N1: 30.000 ji/0,1 m³, N2: 60.000 ji/0,1 m³ dan N3: 120.000 ji/0,1 m³ dengan 6 ulangan. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian hama *O. rhinoceros* dengan menggunakan *Steinernema* sp. mampu menekan populasi hama dengan menimbulkan gejala tubuh hama berwarna coklat kehitaman dan mengkerut. Tingkat daya persentasi terbaik pada mortalitas larva dengan perlakuan N3 (120.000 ji/0,1 m³) mendapatkan hasil 9.56%. *Steinernema* sp. terbukti mampu menekan populasi *O. rhinoceros* pada kelapa sawit, meskipun tingkat mortalitas masih rendah, sehingga perlu optimalisasi aplikasi dan penelitian lanjutan agar lebih efektif sebagai agens hayati ramah lingkungan dalam pengendalian hama.

Kata kunci: Kelapa sawit, *Oryctes rhinoceros*, *Steinernema* sp.

An Alternative Approach to the Pathogenicity of *Oryctes rhinoceros* on *Elaeis guineensis* Jacq Using *Steinernema* sp. Nematodes

Abstract

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) is one of the most important plantation commodities in Indonesia. A common problem with oil palm plants is the presence of plant pests, one of which is the *Oryctes rhinoceros* beetle, which has a very high attack rate on plants that have not yet produced fruit and plants that have produced fruit, reaching 80%. One alternative to suppressing the population of *O. rhinoceros* is to use the natural enemy *Steinernema* sp. This study aims to determine the ability of *Steinernema* sp. to suppress the population of *O. rhinoceros* in oil palm plants. This study was conducted in the field using pots. This study used a non-factorial randomized block design (RBD) with 4 levels of treatment, namely by applying a solution containing infectious juveniles of *Steinernema* sp. The treatments were as follows: N0: Control, N1: 30,000 ji/0.1 m³, N2: 60,000 ji/0.1 m³, and N3: 120,000 ji/0.1 m³) with 6 replicates. The

research data showed that controlling O. rhinoceros pests using Steinernema sp. was able to suppress the pest population by causing the pests' bodies to turn blackish brown and shrivel. The best mortality rate for larvae was achieved with treatment N3 (120,000 ji/0.1 m³), which resulted in 9.56%. Steinernema sp. has been proven to suppress the O. rhinoceros population in oil palm, although the mortality rate is still low, so further research is needed, so it is necessary to optimize the application and further research to be more effective as an environmentally friendly biological agent in pest control.

Keywords: Oil Palm, *Oryctes rhinoceros*, *Steinernema sp.*

Received: 24 October 2023; **Revised:** 22 July 2025; **Accepted:** 10 October 2025

PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) adalah salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia yang menghasilkan CPO (Crude Palm Oil) dan berbagai produk turunan lainnya yang sangat berharga dan merupakan salah satu penyumbang devisa terbesar di Indonesia. Hingga saat ini masyarakat Indonesia banyak yang menggantungkan hidup dari tanaman kelapa sawit baik itu pada perkebunan swasta yang besar, perkebunan negara ataupun perkebunan rakyat (Rosa dan Sofyan, 2017).

Nematoda entomopatogen, seperti *Steinernema* dan *Heterorhadditi*, mampu mengendalikan hama. Nematoda ini biasanya tidak memiliki stilet. Nematoda *Steinernema sp.* merupakan agen hayati yang dapat digunakan sebagai cara alternatif untuk mengendalikan hama. Nematoda ini lebih baik daripada bahan kimia yang digunakan sebagai senjata biologis. Mereka juga berkembang biak dengan mudah, sangat menular (membunuh dengan sangat cepat), memiliki kisaran inang aktif untuk membunuh serangga di seluruh wilayahnya. Mereka mudah direplikasi, aman bagi lingkungan, dan tidak menimbulkan resistensi jaringan. (Putera et al., 2018a).

Hingga saat ini, hama, salah satu yang menyerang tanaman kelapa sawit, adalah masalah yang paling sering terjadi pada tanaman kelapa sawit *O. rhinoceros* (Hayata et al., 2021). Menurut Ginting et al. (2022) serangan *O. rhinoceros* pada perkebunan kelapa sawit dapat menyebabkan kerugian secara langsung atau tidak langsung. Terjadi karena pelepah daun rusak, yang mengurangi fotosintesis tanaman dan menyebabkan hasil yang lebih rendah. Kerugian tidak langsung kedua adalah perpanjangan masa panen TBM dari 4 tahun menjadi 5 – 7 tahun, bahkan ada tanaman yang sudah tidak mampu pemulihan lagi serta tidak menghasilkan buah. Sedangkan kerugian secara langsung adalah matinya tanaman kelapa sawit akibat serangan hama ini yang sudah mematikan pucuk tanaman. Hal ini sejalan dengan pernyataan Santi et al. (2021) bahwa bagian yang terserang kumbang biasanya adalah pupus daun atau daun tombak.

O. rhinoceros memiliki sayap depan yang kasar dan keras serta bewarna coklat hitam. Panjang tubuh kumbang 3-5 cm dan lebar ± 2 cm. serta kumbang betina memiliki antena lebih panjang dari jantan, yakni $8,962 \pm 1.642$ sensillum/mm² dan $8,665 \pm 1.254$ sensillum/mm² untuk kumbang jantan. Kerusakan *O. rhinoceros* pada tahap TBM dapat menghasilkan penurunan hasil sebesar 40-92% pada musim panen pertama (Indriyanti et al., 2018).

Pengendalian *O. rhinoceros* masih dilakukan secara konvensional sampai saat ini, dengan mengutip kumbang di lubang gerakan tanaman, mengumpulkan larva dan kepompong di tempat perkembangbiakan, dan menggunakan insektisida kimiawi. Penggunaan insektisida kimiawi tidak hanya mahal, tetapi juga menghasilkan sisa yang dapat membunuh serangga bukan sasaran.

Meskipun tanaman masih pendek, pengutipan kumbang akan lebih sulit ketika tanaman sudah tinggi. Pengendalian dengan feromon juga telah dicoba, tetapi tidak menghasilkan hasil yang memuaskan, yang berarti pengendalian yang lebih baik, lebih hemat biaya, dan lebih ramah lingkungan diperlukan (Santi et al., 2021).

Untuk mengendalikan hama *O. rhinoceros* dengan baik, harus memperhatikan aspek biologi dan ekologi hama. Meskipun penggunaan insektisida kimiawi secara teknis cukup mudah, efeknya signifikan negatif, sehingga diperlukan metode pengendalian alternatif. Kelemahan penggunaan perangkap feromon adalah kumbang yang datang tidak hanya dari kebun tersebut tetapi juga dari tempat lain, sehingga lebih banyak kumbang yang datang dan inang, mengontrol serangga dalam jaringan tanaman dengan lebih baik dan resistensi.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hama Penyakit Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang berlokasi di Medan, dan berlangsung selama empat bulan, yaitu mulai dari Juni hingga September 2023.

Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan sampel tanah dari tiga lokasi yang terdiri dari tanah mineral dan organik. Sampel ini dikumpulkan di perkebunan kelapa sawit dan mengandung ulat hongkong. *Tenebrio molitor*, nematoda *Steinernema* sp., larva *O. rhinoceros*, alkohol, akuades dan kertas tisu. Alat yang digunakan adalah termometer, talam plastik merk twin pan ukuran 36 cm x 27 cm x 67,5 cm, kotak plastik ukuran 12x12 cm, cawan petri, mesin shaker merk Barnstead thermolyne Maxi Mix II type 37600 (100-300 rpm), mesin semprot merk Tanika seri TNK 900 kapasitas 25 liter, handsprayer, tutup kontainer ukuran 4,71 cm, jarum pemancing nematoda, bor tanah, hand counter dan kertas label.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial dengan 4 taraf dan 6 ulangan. Perlakuan berupa pengaplikasian larutan yang mengandung juvenil infeksi *Steinernema* sp. yaitu: N_0 = Kontrol, N_1 = 30.000 jji/0,1 m³, N_2 = 60.000 jji/0,1 m³, N_4 = 120.000 jji/0,1 m³

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan larva *Tenebrio molitor* sebagai umpan untuk isolasi nematoda entomopatogen (NEP), yang diperoleh melalui proses perbanyakan atau pemeliharaan di laboratorium dengan menggunakan media pakan berupa polar jagung, yaitu limbah penggilingan jagung yang kaya nutrisi dan umum digunakan dalam budidaya serangga. Proses budidaya dilakukan dalam kondisi lingkungan laboratorium yang terkontrol agar menghasilkan larva dengan kondisi optimal untuk menarik nematoda dari sampel tanah (Chaerani *et al.*, 2007).

Sementara itu, untuk menguji virulensi nematoda entomopatogen yang berhasil, larva *O. rhinoceros* digunakan sebagai serangga target diisolasi. Larva *O. rhinoceros* diperoleh dari pohon kelapa sawit yang telah tumbang dan mengalami pembusukan, karena kondisi tersebut merupakan habitat alami dari larva tersebut. Selanjutnya, larva diperbanyak secara rearing di laboratorium menggunakan media berupa serabut pohon kelapa sawit yang sudah busuk guna mempertahankan kesesuaian lingkungan hidup dan ketersediaan nutrisi bagi larva. Penentuan dosis aplikasi juvenil infeksi nematoda dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan nilai LD50 (*lethal dose* 50) yang telah diperoleh dari hasil penelitian awal berupa tahap penapisan. Nilai LD50 tersebut memberikan gambaran mengenai tingkat dosis yang mampu menyebabkan kematian pada 50% populasi larva uji, sehingga dijadikan sebagai dasar acuan dalam menentukan dosis perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghasilkan hasil representative dan optimal. Penelitian dilaksanakan dalam kotak plastik berukuran seragam yang berfungsi sebagai media budidaya uji, di mana masing-masing kotak diisi dengan 300 gram jankos kelapa sawit. Jumlah tersebut setara dengan 3/4 dari tinggi kotak plastik.

Setelah media jankos dimasukkan, selanjutnya dilakukan infestasi dengan cara memasukkan 10 ekor larva *O. rhinoceros* ke dalam setiap kotak plastik. Kemudian, larva dan media diberikan perlakuan berupa penyemprotan larutan yang mengandung juvenil infeksi nematoda sesuai dosis yang telah ditetapkan, dengan volume semprot sebanyak 175 ml per kotak. Pengamatan terhadap jumlah larva yang mengalami kematian dimulai sejak satu hari setelah aplikasi (1 hsa) dan terus dilakukan setiap hari hingga seluruh larva pada setiap unit perlakuan menunjukkan kematian total (100%). Selain pengamatan terhadap kematian larva, dilakukan pula pengamatan tambahan yang meliputi pengukuran ketebalan kutikula larva serta pencatatan parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban ruang secara berkala, tepatnya pada jam 08.00, 12.00, dan 16.00 WIB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penapisan dan Identifikasi Nematoda *Steinernema* sp.

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, ditemukan keberadaan Nematoda Entomopatogen (NEP) dari genus *Steinernema* sp. Nematoda ini berhasil diisolasi dan diidentifikasi berdasarkan ciri-ciri morfologi khas yang sesuai dengan karakteristik genus tersebut. NEP *Steinernema* sp. yang ditemukan memiliki morfologi tubuh yang memanjang, transparan dan agak silindris (Gambar 1). Morfologi tersebut sejalan dengan pernyataan Putera *et al.* (2018b) yang menyatakan Nematoda Entomopatogen umumnya tidak memiliki stilet, tubuh nematoda tertutup oleh kutikula, berbentuk seperti cacing, panjang, agak silindris, dan berwarna coklat kehitaman.



Gambar 1. Identifikasi Nematoda *Steinernema* sp.

Lebih lanjut NEP *Steinernema* sp. merupakan mikroorganisme mikroskopis yang hidup di dalam tanah dengan tubuh yang transparan, panjang, agak silindris, berbentuk seperti cacing, berukuran 700-1.200 mikrometer sehingga hanya dapat diamati menggunakan mikroskop. Tubuhnya dilindungi oleh kutikula non-seluler yang fleksibel, yang berfungsi untuk menjaga nematoda dari kondisi lingkungan yang ekstrem seperti kekeringan, pH tanah yang bervariasi, serta predasi oleh organisme lain. Kutikula ini juga memungkinkan nematoda bergerak aktif di dalam pori-pori tanah dalam mencari inang serangga untuk diserang. Selain menjadi musuh alami hama serangga, nematoda yang ditemukan di tanah memiliki berbagai peran ekologi, tergantung pada jenisnya. Menurut Nugrohorini (2010), nematoda tanah dapat dikelompokkan menjadi nematoda bebas (*free-living nematodes*) yang hidup dengan memakan mikroorganisme atau bahan organik, nematoda parasit tanaman yang menyerang akar dan jaringan tanaman, serta nematoda entomopatogen yang memiliki kemampuan untuk menginfeksi dan membunuh serangga hama. Khususnya, nematoda entomopatogen seperti *Steinernema* sp. berperan penting dalam mengendalikan populasi serangga hama secara alami, sehingga sangat potensial dikembangkan sebagai agen hayati (*bio-agent*) dalam program pengendalian hama terpadu (PHT).

Keberadaan NEP *Steinernema* sp. ini menjadi sangat penting mengingat kemampuannya dalam mencari dan mengenali inang di dalam tanah melalui respons terhadap jejak kimia (kairomon) yang dilepaskan oleh serangga yang hidup di dalamnya. Nematoda ini dapat dengan cepat memasuki tubuh inang serangga untuk menginfeksi dan melepaskan bakteri simbiosis yang mematikan karena mereka dapat bergerak aktif dan memasuki lubang alami pada tubuh serangga seperti spirakel, anus, dan mulut. Oleh karena itu, penemuan NEP *Steinernema* sp. dalam penelitian ini membuka peluang besar untuk pengembangan strategi pengendalian hama yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, khususnya dalam mengatasi serangan hama-hama penting seperti *O. rhinoceros* pada tanaman perkebunan kelapa dan kelapa sawit.

Nematoda entomopatogen dari genus *Steinernema* memiliki ciri-ciri morfologi dan anatomi yang khas yang membedakannya dari nematoda lainnya. Tubuhnya yang memanjang dan transparan memungkinkan mereka untuk bergerak dengan lincah di dalam tanah dalam mencari inang. Kutikula non-seluler yang melapisi tubuhnya memberikan perlindungan terhadap kondisi lingkungan yang tidak baik, seperti kekeringan dan perubahan pH tanah. Selain itu, kutikula ini juga berfungsi sebagai pelindung dari serangan predator dan patogen lainnya.

Secara anatomi, *Steinernema* sp. memiliki sistem pencernaan yang sederhana namun efektif. Mereka tidak memiliki stilet, alat penusuk yang biasanya ditemukan pada nematoda parasit tanaman, yang menunjukkan bahwa mereka tidak bergantung pada penusukan jaringan inang untuk infeksi. Sebagai

gantinya, mereka memasuki tubuh inang melalui lubang alami dan melepaskan bakteri simbiosis yang akan menembus dan menginfeksi tubuh inangnya sehingga akhirnya membunuh inang yang dia serang, kemudian nematoda akan bereproduksi dan menciptakan lingkungan yang cocok untuk perkembangan hidup nematoda tersebut.

Nematoda entomopatogen seperti *Steinernema* sp. memainkan peran penting dalam ekosistem tanah sebagai pengendali alami populasi serangga hama. Mereka berfungsi sebagai agen pengendali hayati yang efektif, mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Kemampuan mereka untuk secara spesifik menargetkan serangga hama tanpa mempengaruhi organisme non-target menjadikan mereka pilihan yang ideal dalam program pengendalian hama terpadu.

Selain itu, penggunaan *Steinernema* sp. dalam pengendalian hama juga dapat membantu dalam mengelola resistensi hama terhadap pestisida kimia. Dengan mekanisme infeksi yang berbeda, nematoda ini dapat digunakan dalam rotasi atau kombinasi dengan metode pengendalian lainnya untuk meningkatkan efektivitas dan mencegah perkembangan resistensi pada populasi hama.

Proses infeksi oleh *Steinernema* sp. dimulai ketika nematoda infeksi juvenil (IJ) mencari dan menemukan inang yang sesuai. Mereka tertarik pada inang melalui sinyal kimia yang dilepaskan oleh serangga, seperti karbon dioksida dan kairomon lainnya. Setelah mencapai inang, nematoda memasuki melalui lubang alami serangga seperti mulut, anus, atau spirakel.

Nematode mengeluarkan bakteri simbiosis *Xenorhabdus* setelah berada di dalam hemocoel (rongga tubuh) inang. Bakteri ini berkembang biak dengan cepat dan menghasilkan toksin yang menyebabkan septicemia, yang membunuh inang dalam waktu 24 – 48 jam.

Gejala pada larva *O. rhinoceros* yang terinfeksi NEP *Steinernema* sp. menunjukkan adanya perubahan fisiologis yang khas dan signifikan sebagai akibat dari infeksi yang berlangsung di dalam tubuh inang. Salah satu gejala paling mencolok yang dapat diamati secara visual adalah perubahan warna pada saluran pencernaan larva yang sebelumnya berwarna putih menjadi coklat kehitaman. Selain itu, kutikula larva kutikula larva yang awalnya tampak cerah, lentur, dan utuh, perlahan-lahan berubah menjadi kusam, menghitam, dan mengalami proses dekomposisi internal. Pergerakan larva yang semula aktif dan responsif terhadap rangsangan eksternal, secara bertahap menjadi lambat, lesu, hingga akhirnya berhenti total. Tubuh larva menjadi lembek, kehilangan elastisitasnya, dan jika disentuh atau ditekan, jaringan tubuh larva akan hancur. Ini sesuai dengan pernyataan Djamilah *et al.* (2010) yang berpendapat bahwa *O. rhinoceros* terinfeksi dengan menunjukkan gejala Steinernema, seperti pergerakan larva menjadi tidak aktif atau perlahan-lahan. Larva yang sakit menanggapi sentuhan dengan cara yang berbeda dari larva yang sehat. Lemah dan larva akan menjadi lebih besar, lembek, dan berubah warna dengan waktu, menghitamkan seluruh tubuhnya. Jika larva ditekan, tubuhnya pecah dan mengeluarkan bau busuk khas dekomposisi jaringan oleh aktivitas bakteri simbiosis, dan kulit larva akan tampak berwarna coklat kehitaman disertai cairan putih kekuningan (Gambar 2).

Menurut penelitian Haryanto *et al.* (2018), bakteri simbiosis *Xenorhabdus* sp. yang dilepaskan oleh *Steinernema* sp. berperan penting dalam proses pembunuhan inang dengan menghasilkan toksin dan enzim seperti protease dan chitinase yang mampu melarutkan jaringan ikat serta kutikula larva, sehingga tubuh larva menjadi lembek dan mudah pecah. Kondisi ini diperparah oleh proses fermentasi anaerob dalam tubuh larva yang menghasilkan gas dan senyawa volatil, sehingga tubuh larva yang mati akan mengeluarkan bau busuk menyengat, indikasi adanya dekomposisi intensif.

Selain perubahan morfologis dan fisiologis larva, infeksi NEP juga menyebabkan kerusakan organ internal larva seperti hemolimfa, jaringan otot, dan saluran pencernaan. Hemolimfa larva yang biasanya jernih akan berubah menjadi keruh dan terkontaminasi oleh koloni bakteri simbiosis. Saluran pencernaan yang sehat juga akan tampak rusak akibat aktivitas enzim dan racun yang dilepaskan selama proses infeksi. Seiring berjalannya waktu, seluruh bagian tubuh larva menjadi tempat berkembang biaknya nematoda, yang akhirnya menggunakan tubuh larva sebagai sumber nutrisi untuk berkembang biak hingga menghasilkan nematoda generasi baru yang siap menyerang inang berikutnya.

Fenomena ini sesuai dengan kajian Widjayanti *et al.* (2017) yang berpendapat bahwa proses infeksi NEP terjadi dalam tiga fase, yaitu fase invasi, fase multiplikasi, dan fase keluar. Pada fase invasi, nematoda masuk ke dalam tubuh larva dan melepaskan bakteri simbiosis. Pada fase multiplikasi, terjadi perkembangan koloni bakteri dan nematoda generasi baru di dalam tubuh larva. Sedangkan pada fase keluar, nematoda generasi baru keluar dari tubuh larva yang sudah mati dan mulai mencari inang baru.

Berdasarkan uraian tersebut, bahwa infeksi yang disebabkan oleh nematoda *Steinernema* sp. terhadap larva *O. rhinoceros* tidak hanya bentuk dan fisiologi tubuh larva, tetapi juga meningkatkan tingkat kematian larva. Perubahan ini mengindikasikan bahwa *Steinernema* sp. memiliki mekanisme infeksi yang

kompleks dan efektif. Dengan demikian, *Steinernema* sp. layak untuk mengontrol populasi hama *O. rhinoceros* secara alami dengan menggunakan pengendali hayati yang ramah lingkungan dan aman bagi keseimbangan ekosistem.



Gambar 2. Larva *O. rhinoceros* yang Terinfeksi

Mekanisme patogenisitas *Steinernema* sp. terhadap inangnya, khususnya larva *O. rhinoceros*, melibatkan proses kompleks yang terdiri dari berbagai langkah, termasuk penetrasi, pelepasan bakteri simbiosis, multiplikasi, dan kematian inang.

Pada Gambar 2 memperlihatkan larva *O. rhinoceros* yang terinfeksi dimana proses infeksi yang dilakukan oleh nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. terhadap larva *Oryctes rhinoceros* dimulai dengan penetrasi atau masuknya nematoda memasuki tubuh larva melalui lubang alami dalam tubuh larva yang terdapat pada tubuh inang. Untuk memasuki rongga tubuh larva serangga, nematoda infeksi juvenil (IJ) menggunakan lubang alami seperti spirakel atau lubang pernapasan, mulut, anus, dan stigma. Penetrasi nematoda menggunakan lubang fisiologis yang sudah ada secara alami pada tubuh larva. Dengan demikian infeksi *Steinernema* sp. berlangsung dengan sukses tanpa menyebabkan luka mekanis, yang dapat memicu reaksi pertahanan langsung dari inang sebelum infeksi selesai.

Dugaan bahwa nematoda *Steinernema* sp. masuk ke dalam tubuh inang melalui jalur alami ini diperkuat oleh hasil penelitian sebelumnya oleh Putera *et al.* (2018b). Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa *Steinernema* sp. tidak memiliki alat tajam berupa stilet seperti yang dimiliki oleh nematoda parasit tanaman, sehingga tidak mampu menembus jaringan keras inang secara paksa. Oleh karena itu, untuk menginfeksi inangnya, nematoda ini sangat bergantung pada lubang-lubang tubuh yang secara fisiologis terbuka dan dapat dimanfaatkan untuk akses masuk ke dalam tubuh larva sebagai target infeksi.

Setelah berhasil masuk ke dalam rongga tubuh larva, juvenil infeksi *Steinernema* sp. akan melepaskan bakteri simbiosis yang hidup di dalam sistem pencernaannya, yaitu *Xenorhabdus* spp. Bakteri ini segera berkembang biak dalam hemolimfa dengan cepat (cairan tubuh serangga) dan menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder, termasuk toksin, enzim proteolitik, lipolitik, dan chitinase, yang berperan penting dalam melumpuhkan dan membunuh larva inang. Menurut Kaya dan Gaugler (1993), pelepasan bakteri simbiosis ini menyebabkan kematian larva dalam waktu relatif singkat, berkisar antara 24 hingga 48 jam setelah infeksi.

Selain menghasilkan toksin yang merusak jaringan dan sistem imun larva, bakteri *Xenorhabdus* juga menghasilkan enzim-enzim pencernaan yang menguraikan jaringan inang menjadi nutrisi yang dapat diserap baik oleh bakteri maupun nematoda. Dengan demikian, larva yang terinfeksi tidak hanya mati karena toksin, tetapi juga mengalami degradasi jaringan internal yang intensif sehingga seluruh rongga tubuhnya menjadi tempat berkembang biak bagi nematoda dan bakteri. Proses ini menghasilkan kondisi hemolimfa yang keruh, bau busuk, serta perubahan warna larva yang menjadi coklat kehitaman dan tubuhnya menjadi lembek (Djamilah *et al.*, 2010).

Setelah bakteri simbiosis bekerja efektif dan jaringan larva mengalami kerusakan parah, nematoda *Steinernema* sp. mulai berkembang biak secara masif di dalam tubuh inang. Nematoda memanfaatkan jaringan tubuh larva yang telah dihancurkan sebagai sumber nutrisi. Dalam fase ini, nematoda dapat berkembang menjadi ribuan individu baru. Ketika sumber makanan dalam tubuh inang mulai habis, nematoda generasi baru yang telah memasuki tahap juvenil infeksi akan keluar dari tubuh larva yang mati untuk mencari inang baru (Widjayanti *et al.*, 2017).

Efektivitas *Steinernema* sp. dalam menyebabkan kematian inang tidak lepas dari peran krusial bakteri simbiosis *Xenorhabdus* sp. Seperti dikemukakan oleh Sicard *et al.* (2006), keberhasilan infeksi dan

kematian inang sangat bergantung pada kemampuan bakteri simbion yang dibawa oleh nematoda. Semakin banyak bakteri simbion yang dilepaskan ke dalam hemolimfa, semakin cepat dan efektif proses pembunuhan larva inang. Oleh karena itu, nematoda dengan populasi simbion yang memiliki banyak simbion akan memiliki tingkat virulensi yang lebih tinggi daripada nematoda dengan sedikit simbion.

Selain itu, mekanisme patogenisitas *Steinernema* sp. terhadap *O. rhinoceros* juga dipengaruhi oleh komponen lingkungan seperti tingkat kelembaban tanah, tingkat suhu, dan ketersediaan inang. Menurut penelitian Haryanto *et al.* (2018), kondisi lingkungan yang mendukung seperti kelembaban tinggi sangat penting bagi mobilitas dan kelangsungan hidup nematoda. Juvenil infektif *Steinernema* sp. memerlukan media tanah yang lembab untuk dapat bergerak aktif menuju inangnya. Oleh karena itu, aplikasi nematoda sebagai agen hayati untuk mendapatkan hasil terbaik, ada beberapa faktor-faktor yang harus dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil optimal.

Gejala fisiologi inang *Steinernema* sp. yang terinfeksi termasuk perubahan warna menjadi coklat kehitaman, tubuh lembek, dan berhenti makan dan pasif. Menurut Djamilah *et al.* (2010), larva yang terinfeksi tidak lagi menanggapi rangsangan dari luar, membengkak, dan akhirnya mati. Jika larva dipegang, tubuhnya mudah pecah, mengeluarkan cairan busuk kekuningan, yang dirusak oleh nematode dan bakteri simbion.

Secara keseluruhan, mekanisme patogenisitas *Steinernema* sp. Terhadap *O. rhinoceros* melibatkan interaksi kompleks antara nematoda dan bakteri simbiotiknya yang secara sinergis bekerja untuk melumpuhkan dan mematikan inang. Penggunaan *Steinernema* sp. sebagai agen pengendali hayati sangat potensial diterapkan pada perkebunan kelapa sawit dan pertanian lainnya sebagai alternatif ramah lingkungan untuk mengendalikan hama *O. rhinoceros* yang selama ini sulit dikendalikan dengan pestisida kimia. Dengan kemampuannya untuk menyebabkan kematian inang dalam waktu singkat dan proses infeksi yang efisien, *Steinernema* sp. merupakan pilihan unggul dalam program pengendalian hayati serangga hama.

Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* (%)

Hasil penelitian dan analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi juvenil nematoda entomopatogen (*Steinernema* sp.) memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap tingkat mortalitas larva *O. rhinoceros*. Hasil ini memperkuat peran penting nematoda entomopatogen sebagai agens hayati dalam pengendalian hama serangga, khususnya larva kumbang tanduk yang dikenal sebagai salah satu hama utama tanaman kelapa dan kelapa sawit di Indonesia. Data persentase mortalitas larva dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Mortalitas Larva

Perlakuan	Mortalitas Larva				
	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	120 Jam
N0	1,25 c	2,23 c	4,25 bc	6,57 c	7,85 bc
N1	1,66 bc	2,5 bc	4,25 bc	6,84 bc	7,68 c
N2	1,83 b	2,75 b	4,84 b	6,94 b	7,98 b
N3	2,23 a	3,2 a	6,25 a	8,68 a	9,56 a
Rataan	1,74	2,67	4,90	7,26	8,27

Keterangan: Angka- angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang berbeda tidak sama menurut uji DMRT 5%.

Berdasarkan Tabel 1 di atas, terlihat bahwa perlakuan N3 menunjukkan hasil yang paling tinggi dalam menyebabkan kematian larva *O. rhinoceros*. Perlakuan N3 yang merupakan dosis tertinggi dari aplikasi juvenil *Steinernema* sp. menghasilkan tingkat mortalitas sebesar 2,23% pada 24 jam pertama, meningkat menjadi 3,2% setelah 48 jam, dan terus naik hingga mencapai 9,56% pada pengamatan 120 jam. Nilai ini secara konsisten lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, menunjukkan efektivitas dosis tinggi nematoda dalam mengendalikan populasi larva hama.

Efektivitas *Steinernema* sp., dalam membunuh inang serangganya sangat bergantung pada keberadaan dan peran aktif bakteri simbion yang hidup di dalam tubuh nematoda tersebut, yaitu *Xenorhabdus* spp. Bakteri simbion ini memiliki peran utama dalam mekanisme patogenisitas terhadap serangga inang. Pada saat juvenil infektif (JI) nematoda berhasil masuk ke dalam tubuh serangga melalui lubang-lubang alami seperti spirakel (lubang pernapasan), mulut, dan anus, nematoda kemudian

melepaskan bakteri simbiosis ke dalam hemolimfa atau cairan tubuh serangga. Setelah berada di dalam rongga tubuh, bakteri *Xenorhabdus* spp. segera berkembang biak dan mulai menghasilkan berbagai senyawa toksik yang sangat mematikan, seperti enzim proteolitik, lipase, dan senyawa sekunder lainnya yang menyerang serta merusak sistem imun serangga. Proses ini menyebabkan inang lumpuh dan akhirnya mati dalam waktu relatif singkat. Selain berperan dalam mematikan inang, bakteri simbiosis ini juga memproduksi senyawa antibakteri dan antijamur yang berfungsi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme kompetitor, sehingga menciptakan lingkungan steril yang mendukung kelangsungan hidup dan reproduksi nematoda di dalam tubuh inang.

Menurut Kaya dan Gaugler (1993), mekanisme patogenisitas *Steinernema* sp. dimulai ketika nematoda masuk ke dalam tubuh serangga. Bakteri simbiosis dilepaskan ke dalam hemolimfa oleh sistem pencernaan nematoda yang sebelumnya tertutup. Bakteri biasanya mati dalam waktu 24–48 jam setelah infeksi. Fakta ini sesuai dengan peningkatan mortalitas larva yang diamati dalam penelitian ini, terutama pada perlakuan dengan dosis tinggi.

Selain itu, daya tahan nematoda *Steinernema* sp. terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti desikasi (kekeringan), juga menjadi faktor penting dalam keberhasilan aplikasi di lapangan. Surrey dan Wharton (1995) menyatakan bahwa *Steinernema* sp. memiliki ketahanan terhadap desikasi yang lebih tinggi dibandingkan nematoda entomopatogen lainnya. Hal ini membuatnya lebih adaptif dalam kondisi tanah yang kering dan fluktuatif, menjadikannya kandidat yang ideal untuk digunakan sebagai agens hayati di berbagai ekosistem pertanian.

Lebih lanjut, bakteri simbiosis *Steinernema* sp. diduga memiliki kandungan enzim dan racun yang lebih efektif dalam menghancurkan jaringan tubuh inang dibandingkan dengan simbiosis pada jenis nematoda lain. Koppenhofer dan Kaya (1996) menyatakan bahwa isolat tertentu dari *Steinernema* sp. memiliki kemampuan membunuh serangga inangnya lebih cepat karena efektivitas enzim dan racun yang diproduksi oleh bakteri simbiosisnya. Ini memberikan keunggulan tambahan bagi penggunaan *Steinernema* sp. sebagai agen pengendali biologis.

Dalam studi yang dilakukan oleh Sicard *et al.* (2006), disebutkan bahwa efektivitas kematian inang oleh nematoda entomopatogen sangat dipengaruhi oleh jumlah dan virulensi bakteri simbiosis yang dilepaskan ke dalam hemolimfa inang. Semakin banyak jumlah simbiosis yang dilepaskan, maka semakin cepat inang akan mati. Oleh karena itu, keberhasilan infeksi tidak hanya tergantung pada jumlah nematoda yang diaplikasikan, tetapi juga kualitas simbiosis yang dibawanya.

Temuan ini sangat penting dalam pengembangan strategi pengendalian hama yang berkelanjutan. Dalam konteks pertanian modern yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan, penggunaan agens hayati seperti *Steinernema* sp. menjadi solusi potensial untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Aplikasi nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. juga memiliki keuntungan lain, antara lain sifatnya yang spesifik terhadap inang target sehingga tidak membahayakan organisme non-target, serta kemampuannya untuk berkembang biak dalam tubuh inang yang mati, menghasilkan generasi baru nematoda yang siap menginfeksi serangga lainnya. Dengan demikian, siklus infeksi dapat berlangsung secara alami di lingkungan, memperpanjang efek pengendalian tanpa perlu aplikasi berulang dalam jangka pendek.

Dalam implementasi di lapangan, efektivitas pengendalian oleh nematoda *Steinernema* sp. juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembaban tanah, tekstur tanah, dan ketersediaan inang. Oleh karena itu, strategi aplikasi harus mempertimbangkan kondisi agroekologi setempat agar efektivitas pengendalian tetap optimal. Penggunaan formulasi yang tepat, seperti nematoda dalam bentuk suspensi cair atau granul, juga dapat meningkatkan keberhasilan infeksi di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Steinernema* sp. merupakan agens hayati yang sangat efektif dalam mengendalikan populasi larva *O. rhinoceros*, khususnya ketika diaplikasikan pada dosis tinggi. Keunggulan nematoda ini terletak pada kemampuan patogeniknya yang tinggi, ketahanannya terhadap kondisi lingkungan yang beragam, serta sifat ekologisnya yang ramah lingkungan dan aman bagi organisme non-target, sehingga sangat layak dijadikan alternatif dalam program Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang berkelanjutan.

KESIMPULAN

Pengaplikasian nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. mengakibatkan mortalitas mulai 24 jam setelah aplikasi dengan tingkat mortalitas tertinggi sebesar 9,56% ada perlakuan N3 (120.000 jji/0,1 m³).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi Republik Indonesia.
2. Direktorat Jendral Pembelajaran dan Kemahasiswaan Republik Indonesia.
3. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).
4. Student Research and Creativity Center Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

DAFTAR PUSTAKA

- Chaerani, Y. Suryadi, T.P. Priyatno, D. Koswanudin, U., Rahmat., Sujatmo, Yusuf., dan Griffin, C.T. (2007). Isolasi Nematoda Patogen Serangga Steinernema dan Heterorhabditis. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 7(1): 1-9.
- Djamilah, D., Widjayanti, T., dan Nurbaity, A. (2010). Patogenisitas Nematoda Entomopatogen terhadap Larva *Oryctes rhinoceros*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 16(2): 84-90.
- Ginting, M.S., Eka. B.F., dan Guntoro.A.P. (2022). Pengaruh Ketinggian Fruit-Trap pada Pengendalian Hama Kumbang Tanduk (*Oryctes rhinoceros*) di Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *J. Ilmu Pertanian*. 10(1): 64-67.
- Hayata., Nasamsir, dan Beni. A. (2021). Populasi Kumbang Tanduk (*Oryctes rhinoceros* L.) Pada Kebun Kelapa Sawit Peremajaan Sistem Sisipan dan Tumbang Serempak di Kecamatan Bahar Utara Kabupaten Muaro Jambi. *J. Media Pertanian*. 6(1): 52-56.
- Haryanto, E., Susilowati, A., dan Fitriani, S. (2018). Potensi Nematoda Entomopatogen Steinernema sp. Sebagai Agensia Hayati Pengendali *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) pada Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Agrotek Tropika*, 6(1), 10-18.
- Indriyanti, D. R., Rahmawati, R., Priyono, B., Slamet, M., dan Huyop, F. Z. (2018). Ecological Studies of *Oryctes rhinoceros* Larvae Controlled by *Metarhizium Anisopliae* and Entomopathogenic Nematodes. *J. Pendidikan IPA Indonesia*. 7(3): 286-292.
- Koppenhofer, A. M., & Kaya, H. K. (1996). Coexistence of entomopathogenic nematodes with other natural enemies. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 357-372.
- Kaya, H. K. dan Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic Nematodes. *Annual Review of Entomology*, 38(1): 181–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001145>.
- Nugrohorini, P. (2010). Peran nematoda entomopatogen (NEP) dalam pengendalian hayati hama serangga. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 16(2): 53–59.
- Putera, T.E., Syahrial. O., dan Mukhtar, I.P. (2018a). Uji Efektifitas Nematoda Entomopatogen Steinernema sp. pada Hama Penggerek Buah Kopi *Hypothenemus Hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) di Laboratorium. *J. Aroekoteknologi*. 6(1): 54-60.
- Putera, R. K., Dwinata, B., dan Ambarwati, S. (2018b). Karakteristik Nematoda Entomopatogen dan Potensinya dalam Pengendalian Hama Serangga. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 18(1): 1-12.
- Rosa, R. N. dan Z. Sofyan. (2017). Pengelolaan Pembibitan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kebun Bangun Bandar, Sumatera Utara. *J. Agrohorti*. 5(3): 325-333.
- Santi, I.S., Elizabeth. N.K., dan Kelvin. R.S. (2021). Efektifitas Orynet Trap Terhadap Hasil Tangkapan Kumbang Tanduk pada Tanaman Kelapa Sawit Belum Menghasilkan. *J. Agroista*. 5(2): 83-93.

- Sicard, M., Brugirard-Ricaud, K., Pagès, S., Lanois, A., Boemare, N., dan Brehelin, M. (2006). Stimulation of the Immune Response of the Insect *Spodoptera littoralis* by the Endotoxin of the Entomopathogenic Bacterium *Xenorhabdus nematophila*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 91(1): 43-50.
- Surrey, M.R. dan Wharton, D.A. (1995). Water Relations of Entomopathogenic Nematodes (*Steinernema* spp. and *Heterorhabditis* spp.). *Parasitology*, 111(3): 271-277.
- Widjayanti, T., Djamilah, D., dan Rahmawati, D. (2017). Infeksi Nematoda Entomopatogen pada Larva *Oryctes rhinoceros*: Sebuah Alternatif Pengendalian Hayati. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 14(2): 85-94.