

Dampak Sedimentasi dan Sifat Tanah terhadap Keberadaan Nematoda Entomopatogen dalam Rizosfer Kelapa Sawit di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

The Sedimentation and Soil Properties Effect on the Existence of Entomopathogenic Nematodes in the Palm Oil Rhizosphere in Kutai Kartanegara District, East Kalimantan Province

SUYADI^{1*}, ANDI SURYADI^{2**}, ROSFIANSYAH^{3***}, SOFIAN^{4****}

¹²³⁴Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, Jl Paser Balengkong Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75123, email : ^{*}suyadi@faperta.unmul.ac.id

Manuscript received: 12 oktober 2020, Revision accepted: 26 oktober 2020.

Abstrak: Nematoda Entomopatogen (NEP) umumnya hidup bebas di dalam tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sedimentasi akibat kegiatan penambangan batubara serta sifat tanah terhadap keberadaan genera NEP pada rizosfer kelapa sawit di Kabupaten Kutai Kartanegara. Keberadaan NEP yang diamati berdasarkan pengambilan sepuluh kelompok sampel tanah (KST) pada areal 1 yang terdampak sedimentasi sekitar 2 cm, dan areal 2 yang terdampak sedimentasi sekitar 7 cm, dengan susunan KTS sebagai berikut, yaitu 1) KST dari areal 1 dan areal 2 tanpa dampak sedimentasi sebagai kontrol (KST1, KST2, KST3, dan KST4), 2) KST dari areal terdampak sedimentasi dengan kedalaman sekitar 2 cm (KST5, KST6, dan KST7), dan 3) KST dari areal terdampak sedimentasi dengan kedalaman sekitar 7 cm (KST8, KST9, dan KST10). Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah populasi NEP, sifat tanah, dan keberadaan mikroba tanah. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan populasi NEP hingga pada level tidak terdeteksi di bawah lapisan sedimentasi 7 cm. Keberadaan NEP ditemukan pada lapisan sedimen kedua area, pada tanah kedalaman 0-30 cm di bawah lapisan sedimen 2 cm, dan pada tanah kedalaman 0-30 cm di kedua areal control. Ada dua genera NEP yang ditemukan di wilayah studi, yaitu: *Steinernema* sp. and *Heterorhabditis* sp.

Kata kunci: Heterorhabditis; Kelapa sawit; Nematoda entomopatogen; Sediment; Steinernema.

Running title: Dampak Sedimentasi Terhadap Nematoda Entomopatogen

Abstract: Entomopathogenic nematodes (NEP) generally live freely in the soil. The purpose of this study was to determine the effects of sedimentation due to coal mining activities as well as soil properties on the existence of the NEP genera in the palm oil rhizosphere in Kutai Kartanegara District. The existence of NEP observed based on the ten soil sampling group (KST) with the following arrangement, i.e., 1) KTS from non-sediment impact area 1 and area 2 as controls (KST1, KST2, KST3, and KST4), 2) KTS from area 1 with sediment layer about 2 cm depth (KST5, KST6, dan KST7), and 3) KTS from area 1 with sediment layer about 7 cm depth (KST8, KST9, dan KST10). The measured variables in this study were NEP population, soil properties, and soil microbial existence. The results showed that NEP population decreased become undetectable level under 7 cm sediment layer depth. The existence of NEP determined on both area sediment layer, at 0-30 cm soil depth under 2 cm sediment layer, and on both of control area at 0-30 cm soil layer depth. There are two genera of NEP observed in the study area, i.e., *Steinernema* sp. and *Heterorhabditis* sp.

Keywords: Entomopathogenic nematodes; Heterorhabditis; Palm oil; Sediment; Steinernema.

PENDAHULUAN

Ketersediaan musuh alami sebagai agen pengendali hayati merupakan elemen penting dalam implementasi pengelolaan organisme pengganggu tanaman (orpet) terpadu (Naranjo et al., 2015), dan pengelolaan orpet terpadu (POT) dianggap sebagai pendekatan yang paling tepat dalam strategi pengendalian orpet di agroekosistem (Barzman et al., 2015; Pretty & Bharucha, 2015). Ada beberapa musuh alami hama tanaman, dan NEP merupakan salah satu musuh alami yang umum digunakan di beberapa negara karena sangat mudah ditemukan di berbagai ekosistem dan diperangkap dengan cara yang sederhana (Chaerani et al., 2007; de Brida, 2017).

Pengelolaan orpet terpadu (POT) merupakan strategi ideal untuk mengurangi dampak gangguan orpet pada produksi tanaman, dan POT merupakan bagian integral dari sistem pertanian terpadu (Barzman et al., 2015). Tujuan

pelaksanaan POT adalah menciptakan sistem budidaya tanaman yang ramah lingkungan dan meningkatkan kualitas hasil tanaman serta meningkatkan produktivitas agroekosistem. Perencanaan dan implementasi POT sangat diperlukan untuk kegiatan usahatani skala besar dengan investasi besar, seperti perkebunan kelapa sawit.

Kelapa sawit merupakan komoditas pertanian yang diusahakan secara besar-besaran di Kalimantan Timur, luas areal perkebunan kelapa sawit di provinsi ini pada tahun 2018 telah mencapai >1 juta hektar. Pelaksanaan POT untuk komoditas ini masih sangat terbatas, dan di beberapa areal perkebunan telah terjadi ledakan serangan hama. Ledakan serangan hama di perkebunan sawit menyebabkan kerusakan tanaman dan kehilangan hasil, serta menurunkan pendapatan petani. Oleh karena itu, perlu disiapkan pelaksanaan POT untuk perkebunan kelapa sawit, khususnya untuk perkebunan kelapa sawit rakyat di Kalimantan Timur.

Unsur POT mencakup semua taktik pengendalian, yaitu pengendalian biologis, fisik, mekanis, dan budidaya, serta kimiawi. Keberadaan musuh alami sebagai agen pengendali hayati merupakan elemen yang sangat penting dalam pelaksanaan POT. Penggunaan isolat lokal musuh alami sangat dianjurkan untuk pengembangan pengendalian hayati (de Brida, 2017; Liu & Berry, 1995) karena agen pengendali hayati endemik ini telah beradaptasi dengan baik dengan lingkungannya dan relatif aman bagi organisme non-target (Blackshaw, 1988; Hara *et al.*, 1991). Oleh karena itu, jika NEP akan dikembangkan dan diimplementasikan di Kalimantan Timur, maka NEP yang dikembangkan haruslah isolat Kalimantan Timur. Secara alami, NEP mudah diisolasi dari setiap tempat atau wilayah Kalimantan Timur.

Nematoda entomopatogen (NEP) merupakan musuh alami hama tanaman yang potensial berkembang di Kalimantan Timur, termasuk di perkebunan kelapa sawit. Karena NEP sangat mudah ditemukan di berbagai agroekosistem di Kalimantan Timur, dan dapat mengendalikan berbagai jenis hama serangga. Pengamatan keberadaan NEP di perkebunan kelapa sawit merupakan langkah awal untuk mengetahui potensi agen pengendali hayati sebagai unsur POT di perkebunan sawit dengan kondisi agroekosistemnya yang bervariasi.

Kondisi agroekosistem perkebunan kelapa sawit bervariasi, dipengaruhi oleh pengelolaan perawatan kebun dan kegiatan pengelolaan lahan di sekitar perkebunan, termasuk perladangan berpindah dan kegiatan penambangan batubara. Jadi ada perkebunan sawit yang memiliki agroekosistem alami, dengan berbagai tingkatan pengendalian gulma, dan ada juga perkebunan sawit yang tertimbun oleh sedimen dari operasi penambangan batubara di sekitar perkebunan. Temuan baru dari studi ini adalah menentukan konsistensi keberadaan NEP di berbagai kondisi agroekosistem kelapa sawit, untuk memastikan peran NEP sebagai elemen penerapan POT.

Nematoda entomopatogen (NEP) sebagai agen pengendali hayati memiliki beberapa keunggulan, yaitu memiliki reseptor kimiawi dan mampu bergerak secara aktif mencari inang, virulensinya tinggi terhadap inang, sehingga NEP dapat menemukan dan membunuh inang dengan cepat (Kaya & Gaugler, 1993). Nematoda juga dapat digunakan dengan biaya yang relatif rendah dan mudah diaplikasikan dengan sprayer standar (Shannag & Capinera, 1995).

Diketahui dua genera NEP yang umumnya digunakan sebagai agen pengendali hayati hama tanaman, yaitu genus *Steinernema* (Rhabditida: Steinernematidae) dan *Heterorhabditis* (Rhabditida: Heterorhabditidae). Kedua genera nematoda ini mudah diisolasi dari tanah pada berbagai wilayah di dunia dengan menggunakan perangkap larva serangga, seperti yang dilakukan di Australia, Irlandia, Inggris, Kanada, Amerika Serikat, Sri Lanka, dan Malaysia (Chaerani *et al.*, 2007).

Cara kerja NEP bersifat patogen terhadap serangga, sehingga menjadi prospektif sebagai agen pengendali hayati (Kaya & Gaugler, 1993). Stadium infeksi NEP pada larva instar ketiga atau biasa disebut larva infeksi (LI), yang biasanya hidup dorman atau bebas di dalam tanah saat berada di luar tubuh serangga. Larva infeksi secara aktif mencari inang dengan menggunakan organ sensorik sebagai respons terhadap arahan yang dikeluarkan oleh inang. Larva infeksi memasuki tubuh serangga melalui pori-pori alami dan membran antar kerangka. Selanjutnya dalam hemocoelom serangga, larva infeksi melepaskan bakteri simbiosis dari *Enterobacteriaceae* (*Xenorhabdus* spp. atau *Photorhabdus luminescens*) yang sebelumnya disimpan di saluran pencernaannya. Bakteri simbiosis tersebut berkembang biak dan membunuh inang dengan menyebabkan keracunan darah (*septicemia*) dan memberikan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan dan reproduksi mereka (NEP) dalam tubuh serangga.

Larva infeksi NEP sangat mobil dan aktif mencari serangga inang, sangat mematuhi bagi inang dan memiliki kisaran inang yang luas, dan mudah diaplikasikan di lapangan serta kompatibel dengan beberapa jenis pestisida kimia (Gaugler dan Kaya, 1990). Meskipun NEP hidup di dalam tanah, musuh alami ini efektif menyerang hama di atas tanah seperti pemakan daun, penggerek batang, dan penggrogok daun (Gaugler & Kaya, 1990; Fallon, 1998; Gauraha *et al.*, 2018).

Memahami peran NEP yang prospektif sebagai agen pengendali hayati, maka tujuan penelitian ini adalah untuk melihat keberadaan NEP di areal perkebunan kelapa sawit dan untuk mengetahui faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi keberadaan NEP di lapangan, khususnya dampak sedimentasi akibat kegiatan penambangan batubara dan sifat tanah. Selanjutnya isolat lokal NEP yang ditemukan dapat digunakan sebagai elemen POT untuk perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Timur.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Studi dan Pengambilan Sampel Tanah

Penelitian dilakukan selama enam bulan (Maret-Agustus 2018). Kegiatan studi lapangan berlokasi di areal perkebunan kelapa sawit yang terkena dampak sedimentasi akibat aktivitas penambangan batubara di Desa Muara Kembang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Dua kedalaman lapisan sedimen yang berbeda menjadi dasar penentuan dua

lokasi pengambilan sampel, yaitu lokasi pengambilan sampel 1 (S1) yang mengalami sedimentasi dengan kedalaman lapisan sedimen sekitar 2 cm (S1L2), dan lokasi pengambilan sampel 2 (S2) yang mengalami sedimentasi dengan kedalaman lapisan sedimen sekitar 7 cm (S2L7), dan pada masing-masing lokasi pengambilan sampel (S1 dan S2) dilakukan pengambilan sampel tanah pada areal yang tidak terdampak sedimentasi dan digunakan sebagai pembanding atau kontrol. Pengambilan sampel tanah dari kedua lokasi perkebunan kelapa sawit dilakukan secara acak, dan ditetapkan sebagai kelompok sampel tanah (KST) dengan pengaturan sebagai berikut:

- 1) S130 (KST₁) = sampel tanah S1, kedalaman 0-30 cm, tanpa dampak sedimentasi (sebagai kontrol);
- 2) S160 (KST₂) = sampel tanah S1, kedalaman 30-60 cm, tanpa dampak sedimentasi (sebagai kontrol);
- 3) S230 (KST₃) = sampel tanah S2, kedalaman 0-30 cm, tanpa dampak sedimentasi (sebagai kontrol);
- 4) S260 (KST₄) = sampel tanah S2, kedalaman 30-60 cm, tanpa dampak sedimentasi (sebagai kontrol);
- 5) S1L2 (KST₅) = sampel tanah dari S1, sampel tanah hanya berupa lapisan sedimen dengan kedalaman sekitar 2 cm;
- 6) S1L230 (KST₆) = sampel tanah dari S1, pengambilan sampel tanah tepat di bawah lapisan sedimen sampai dengan kedalaman 0-30 cm;
- 7) S1L260 (KST₇) = sampel tanah S1, kedalaman pengambilan sampel tanah 30-60 cm di bawah lapisan sedimen;
- 8) S2L7 (KST₈) = sampel tanah dari S2, sampel tanah hanya berupa lapisan sedimen dengan kedalaman sekitar 7 cm;
- 9) S2L730 (KST₉) = sampel tanah dari S2, pengambilan sampel tanah tepat di bawah lapisan sedimen sampai dengan kedalaman 0-30 cm;
- 10) S2L760 (KST₁₀) = sampel tanah S2, kedalaman pengambilan sampel tanah 30-60 cm di bawah lapisan sedimen.

Sepuluh sampel tanah seberat sekitar 500 g dikumpulkan untuk setiap KST, sepuluh sampel tanah per KST tersebut dicampur dalam satu komposit dan didapatkan tiga sampel tanah darinya. Sehingga total sampel tanah untuk kesepuluh (10) KST adalah 30 sampel. Sampel tanah ditangani dengan baik dimasukkan dalam kantong plastik dan diberi keterangan label sampel. Selanjutnya, digunakan untuk kegiatan penelitian laboratorium, yaitu untuk analisis sifat tanah, dan isolasi nematoda.

Aktivitas Laboratorium

Isolasi dan identifikasi NEP merupakan kegiatan utama di laboratorium. Selanjutnya, kegiatan identifikasi mikroba tanah dan analisis sifat tanah (Tabel 1) dilakukan untuk mengumpulkan data pendukung. Mikroba sampel tanah seperti cendawan, bakteri, dan nematoda juga diisolasi dan diidentifikasi. Nematoda tanah diekstraksi dengan menggunakan metode Corong Baermann (EPPO, 2013), jamur dan bakteri diisolasi dari pengenceran sampel tanah dan dimurnikan secara bertahap pada media umum (PDA). Identifikasi nematoda, cendawan, dan bakteri dilakukan berdasarkan karakter morfologinya, termasuk penentuan gram untuk bakteri.

Tabel 1. Kriteria Evaluasi untuk Beberapa Sifat Kimia Tanah

Sifat Kimia Tanah	Unit	Nilai	Kriteria
Karbon organik	%	>5,00	Sangat Tinggi (ST)
		3,01-5,00	Tinggi (T)
		2,01-3,00	Sedang (S)
		1,00-2,00	Rendah (R)
		<1,00	Sangat Rendah (SR)
Nitrogen total	%	> 0,75	Sangat Tinggi (ST)
		0,51-0,75	Tinggi (T)
		0,21-0,50	Sedang (S)
		0,10-0,20	Rendah (R)
		< 0,10	Sangat Rendah (SR)
P tersedia (Bray1)	ppm	>15	Sangat Tinggi (ST)
		11-15	Tinggi (T)
		8-10	Sedang (S)
		5-7	Rendah (R)
		<4	Sangat Rendah (SR)
K tersedia (Morgan)	ppm	>60	Sangat Tinggi (ST)
		41-60	Tinggi (T)
		21-40	Sedang (S)
		10-20	Rendah (R)
		<10	Sangat Rendah (SR)
Kapasitas Tukar Kation (KTK)	meq/100 g	>40	Sangat Tinggi (ST)
		25-40	Tinggi (T)

		17-24	Sedang (S)
		5-16	Rendah (R)
		<5	Sangat Rendah (SR)
Kejenuhan Basa	%	>70	Sangat Tinggi (ST)
		51-70	Tinggi (T)
		36-50	Sedang (S)
		20-35	Rendah (R)
		<20	Sangat Rendah (SR)
Kejenuhan Al	%	>40	Sangat Tinggi (ST)
		20-40	Tinggi (T)
		11-20	Sedang (S)
		5-10	Rendah (R)
		<5	Sangat Rendah (SR)
pH	–	> 8,5	Basa
		7,6-8,5	Agak Basa
		5,6-7,5	Asam lemah-netral
		4,6-5,5	Asam
		< 4,5	Sangat Asam

Sumber: PPT (1995)

Nematoda entomopatogen (NEP) diisolasi dan diperbanyak dengan menggunakan ulat Hongkong (*Tenebrio molitor* L.) (Woodring & Kaya, 1988). NEP diperangkap, kemudian diisolasi dengan menggunakan metode ekstraksi perangkap putih (Gaugler & Han, 2001). Identifikasi nematoda dilakukan dengan metode perbandingan dengan gambar standar berdasarkan karakter morfologi nematoda pada tingkat genus (Gaugler, 2002).

Analisis Data

Analisis ragam dilakukan untuk mengetahui pengaruh sedimentasi dan kedalaman lapisan tanah terhadap populasi NEP yang diamati dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil jika ANOVA menunjukkan perbedaan yang nyata (5%). Analisis korelasi dan regresi juga dilakukan untuk menjelaskan hubungan beberapa sifat tanah dengan status populasi NEP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Areal Studi

Studi lapangan dilakukan pada perkebunan kelapa sawit di Desa Muara Kembang Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Dua lokasi pengambilan sampel ditetapkan dalam penelitian ini berdasarkan tingkat keparahan sedimentasi, lokasi pengambilan sampel 1 dengan kedalaman lapisan sedimentasi sekitar 2 cm terletak pada 00° 41' 39,9" E 117° 15' 52,2", dan lokasi pengambilan sampel 2 dengan lapisan sedimentasi kedalaman 7 cm terletak pada 00° 41' 39,5" E 117° 15' 53,1". Karakteristik umum lokasi penelitian adalah beriklim hutan hujan tropis, dengan curah hujan >2000 mm per tahun, dengan tanah yang dominan adalah jenis *clay-loam*.

Keberadaan NEP

Berdasarkan data isolasi NEP dari semua sampel tanah, terlihat bahwa NEP ditemukan di semua areal pengamatan kebun sawit, yaitu lokasi pengambilan sampel 1, lokasi pengambilan sampel 2 dengan dan tanpa dampak sedimentasi. Namun keberadaan NEP tidak terdeteksi sama sekali pada KST dengan kedalaman 30-60 cm dan KST9, NEP hanya teramati pada kedua lapisan sedimen dari lokasi pengambilan sampel 1 (KST5) dan lokasi pengambilan sampel 2 (KST8) serta pada KST dengan kedalaman lapisan tanah 0-30 cm, yaitu, KST1, KST3, dan KST6, kecuali KST9. Data tersebut menjelaskan bahwa NEP hanya beradaptasi pada lapisan dangkal (kedalaman tanah 0-30 cm); relevan dengan temuan Salame & Glazer (2015). Sedangkan populasi NEP menurun hingga tidak terdeteksi pada kedalaman lapisan tanah 30-60 cm (KST2, KST4, dan KST7).

Analisis varian menunjukkan bahwa sedimentasi yang parah dari penambangan batubara secara signifikan mengurangi populasi NEP. Sedimentasi dengan kedalaman lapisan 7 cm telah mengurangi populasi NEP (KST9 dan KST10) hingga tidak terdeteksi, tetapi populasi NEP di bawah kedalaman lapisan sedimentasi 2 cm (KST6) masih bertahan dan terdeteksi (Tabel 2). Fakta tersebut menunjukkan bahwa sedimentasi dengan ketebalan lapisan 7 cm mempengaruhi beberapa faktor lingkungan dalam tanah yang dapat mengendalikan pertumbuhan populasi NEP, seperti suhu (Ali *et al.*, 2007; Raheel *et al.*, 2017), kelembaban tanah (Rahoo *et al.*, 2016) dan pH (Canhilal & Carner, 2006). Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kejadian sedimentasi menyebabkan penurunan nilai pH, pH tanah di bawah lapisan sedimen lokasi

pengambilan sampel 1 (KST6 dan KST7) dan lokasi pengambilan sampel 2 (KST9 dan KST10) lebih rendah dibandingkan dengan pH tanah yang berasal dari lapisan sedimentasi lokasi pengambilan sampel (KST1 dan KST3). Kepadatan populasi NEP dalam sampel tanah dinyatakan dalam persentase ulat Hongkong yang terinfeksi sebagai metode perangkap untuk mengisolasi NEP. Hal ini menunjukkan bahwa angka infeksi tertinggi pada ulat Hongkong adalah 60% (KST6 dan KST8), dan terendah 0% (KST2, KST4, KST7, KST9, dan KST10) (Tabel 2).

Tabel2. Persentase mortalitas ulat Hongkong setelah diinfeksi oleh NEP dan setelah diinkubasi selama 7 hari.

Kelompok Sampel Tanah (KST)	Ulat Hongkong terinfeksi (%)
KST ₁ (S130)	30 ^{ab}
KST ₂ (S160)	0 ^a
KST ₃ (S230)	10 ^a
KST ₄ (S260)	0 ^a
KST ₅ (S1L2)	30 ^{ab}
KST ₆ (S1L230)	60 ^b
KST ₇ (S1L260)	0 ^a
KST ₈ (S2L7)	60 ^b
KST ₉ (S2L730)	0 ^a
KST ₁₀ (S2L760)	0 ^a

Note: Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata ($p < 0.05$) Berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) (KK = 11.63 %)

Ada dua genera NEP yang ditemukan di areal sampel perkebunan kelapa sawit, yaitu *Steinernema* dan *Heterorhabditis*. Genus *Heterorhabditis* hanya ditemukan pada sampel tanah sedimen (KST8), sedangkan genus *Steinernema* ditemukan di semua areal sampling (lokasi pengambilan sampel 1 dan lokasi pengambilan sampel 2) perkebunan kelapa sawit (Tabel 3). Informasi penting dari penelitian ini adalah bahwa kedua genera NEP tersebut berada pada lapisan sedimen, yang merupakan kondisi jenis tanah marjinal, fakta demikian menunjukkan keunggulan adaptasi kedua genera NEP tersebut untuk dikembangkan menjadi agensia pengendali hayati di Kalimantan Timur.

Tabel 3. Keberadaan NEP pada areal sampling di perkebunan kelapa sawit.

Areal Sampling	Status Sedimentasi	NEP Genera
KST ₁ (S130)	Tanpa sedimentasi	<i>Steinernema</i>
KST ₂ (S160)	Tanpa sedimentasi	TanpaNEP
KST ₃ (S230)	Tanpa sedimentasi	<i>Steinernema</i>
KST ₄ (S260)	Tanpa sedimentasi	TanpaNEP
KST ₅ (S1L2)	Kedalaman sedimentasi 2 cm	<i>Steinernema</i>
KST ₆ (S1L230)	Kedalaman sedimentasi 2 cm	<i>Steinernema</i>
KST ₇ (S1L260)	Kedalaman sedimentasi 2 cm	TanpaNEP
KST ₈ (S2L7)	Kedalaman sedimentasi 7 cm	<i>Heterorhabditis</i>
KST ₉ (S2L730)	Kedalaman sedimentasi 7 cm	Tanpa NEP
KST ₁₀ (S2L760)	Kedalaman sedimentasi 7 cm	TanpaNEP

Determinasi keberadaan kedua genera NEP dapat dibedakan berdasarkan warna bangkai ulat Hongkong yang terinfeksi NEP. Bangkai ulat Hongkong yang terinfeksi *Steinernema* sp. tampak berwarna coklat kehitaman (Griffin, 2012), sedangkan jika terinfeksi *Heterorhabditis* sp. bangkai ulat Hongkong berubah menjadi merah kehitaman (Griffin, 2012; Mohan *et al.*, 2017). Perubahan warna yang terjadi pada bangkai serangga tersebut disebabkan oleh simbiosis mutualisme antara nematoda dan bakteri penghasil toksin. NEP dalam membunuh serangga didukung oleh bakteri

simbiotik dari famili *Enterobacteriaceae* yaitu *Photorhabdus* untuk *Heterorhabditis* sp. dan *Xenorhabdus* untuk *Steinernema* sp. yang terbawa dalam saluran pencernaan NEP (Grewal dan Ruisheng, 2007).

Hubungan Mikrobia Tanah dengan NEP

Keberadaan NEP pada semua sampel tanah relatif tidak berhubungan langsung dengan mikroba tanah yang berupa cendawan, bakteri, dan nematoda (Tabel 4). NEP masih ada pada lingkungan yang banyak ditumbuhi berbagai jenis jamur (seperti pada KST3) dan pada kondisi lingkungan yang hanya ditumbuhi oleh satu jenis jamur (seperti KST6 dan KST8). Lebih lanjut, kecenderungan hubungan yang sama juga terjadi antara NEP dengan bakteri, serta dengan genera nematoda tanah selain NEP.

Tabel 4.Keberadaan mikroba yang berasosiasi dengan NEP pada areal sampling dengan dan tanpa sedimentasi.

Kode Sampel	Fungi CFU/g	Identikasi	Bacteria CFU/g	Identifikasi	Populasi Nematoda (per kg Tanah)	Identifikasi
Komposit S130 dengan S230	1,8 x 10 ⁵	<i>Aspergillus</i> <i>Trichoderma</i> <i>Penicillium</i>	7,3x10 ⁵	- Bacil, gram (+): <i>Bacillaceae</i> - Coccus, gram: (+): <i>Micrococcaceae</i> - Oval, gram (+): <i>Azotobacteraceae</i>	1,8 x 10 ⁴	<i>Steinernema</i> <i>Rotylenchulus</i>
Komposit S160 dengan S260	3,2 x 10 ⁵	<i>Aspergillus</i> <i>Trichoderma</i> <i>Penicillium</i>	4,4x10 ⁵	- Bacil, gram (+): <i>Bacillaceae</i> - Coccus, gram: (+): <i>Micrococcaceae</i> - Bacil panjang, gram (+): <i>Lactobacillaceae</i> - Oval, gram (+): <i>Azotobacteraceae</i>	7 x 10 ²	<i>Aphelenchus</i> <i>Tylenchus</i> <i>Pratylenchus</i>
S1L230	2,6 x 10 ⁵	<i>Trichoderma</i>	6,1x10 ⁵	- Oval, gram: (+): <i>Azotobacteraceae</i> - Basil, gram (-): <i>Achromobacteraceae</i>	2,8 x 10 ⁴	<i>Steinernema</i> <i>Tylenchus</i> <i>Longidorus</i>
S1L260	4 x 10 ⁶	<i>Aspergillus</i> <i>Trichoderma</i>	2,2x10 ⁶	- Oval, gram: (+) <i>Azotobacteraceae</i>	3 x 10 ³	<i>Helicotylenchus</i> <i>Rotylenchulus</i> <i>Tylenchus</i>
S1L2	1,6 x 10 ⁵	<i>Aspergillus</i> <i>Trichoderma</i>	7,4x10 ⁵	- Basil, gram (+): <i>Bacillaceae</i> - Oval, gram (+): <i>Azotobacteraceae</i>	2 x 10 ⁴	<i>Tylenchus</i> <i>Meloidogyne</i> <i>Hoplolaimus</i> <i>Rotylenchulus</i> <i>Steinernema</i>
S2L730	1,3 x 10 ⁵	<i>Trichoderma</i> <i>Aspergillus</i>	1,2x10 ⁶	- Basil, gram (+): <i>Bacillaceae</i> - Oval, gram (+): <i>Azotobacteraceae</i>	1,3 x 10 ³	<i>Tylenchus</i>
S2L760	7,3 x 10 ⁵	<i>Trichoderma</i> <i>Phytium</i>	1,8x10 ⁵	- Oval, gram: (+) <i>Azotobacteraceae</i>	8 x 10 ²	<i>Pratylenchus</i> <i>Dorylaimus</i> <i>Tylenchus</i> <i>Rotylenchulus</i>
S2L7	1,1 x 10 ⁵	<i>Aspergillus</i>	1,6x10 ⁶	- Basil, gram (+): <i>Bacillaceae</i> - Oval, gram (+): <i>Azotobacteraceae</i>	5 x 10 ²	<i>Dorylaimus</i> <i>Heterorhabditis</i>

Berdasarkan data mikroba yang diisolasi dari semua sampel tanah, diketahui bahwa areal perkebunan kelapa sawit masih memiliki variabilitas mikroba yang baik, walaupun jumlah spesies mikroba tersebut sudah berkurang pada beberapa sampel tanah, dan terdapat variasi jumlah spesies mikroba pada berbagai kedalaman lapisan tanah (Tabel 4). Hubungan antagonis antara NEP dan mikroba tanah kemungkinan besar terjadi dengan jamur dan bakteri, karena jamur yang teridentifikasi dapat bertindak sebagai pengurai dan parasit terhadap nematoda, termasuk NEP. Selain itu, bakteri yang ditemukan juga dapat berperan sebagai parasit untuk NEP. Sedangkan hubungan NEP dengan nematoda yang ditemukan di daerah penelitian relatif tidak berpengaruh negatif, karena sebagian besar genera nematoda yang ditemukan adalah nematoda parasit tumbuhan, kecuali genus *Dorylaimus*.

Nematoda yang hidup bebas dalam tanah, termasuk NEP, memiliki peran penting dalam siklus hara tanah seperti perbaikan rantai makanan, pemulihan gangguan lingkungan, dan pemulihan rantai makanan. Selain itu juga berperan

sebagai bioindikator kesehatan lingkungan yaitu pencemaran lingkungan dan kajian kualitas tanah (Karaborklu *et al.*, 2015).

Dampak Sifat Kimia Tanah pada NEPs

Ada dua dari delapan parameter tanah yang memiliki hubungan positif dengan keberadaan NEP, yaitu kandungan C-organik dan kandungan Kalium dalam tanah, sedangkan enam parameter lainnya (Total nitrogen, P Tersedia, KTK, Saturasi basa, Saturasi Al, dan pH) tidak memiliki pengaruh atau hubungan dengan keberadaan NEP. Status pH sampel tanah yang tergolong asam dan menurut Canhilal & Carner (2006) berpengaruh terhadap keberadaan NEP, karena untuk perkembangan normal NEP membutuhkan nilai pH sekitar netral.

Data analisis tanah menunjukkan bahwa kandungan nitrogen tanah pada semua sampel tergolong rendah sampai sedang, berkisar antara 0,17 sampai 0,35%. Status kandungan nitrogen dalam tanah sepertinya tidak mempengaruhi keberadaan NEP di dalam tanah. Sebagaimana status nitrogen tanah, status fosfor tanah pada semua sampel berkisar antara 0,61-17,46 ppm yang tergolong sangat rendah sampai sangat tinggi. Keberadaan NEP berdasarkan analisis tanah tidak bergantung pada status kandungan fosfor tanah (Tabel 5). Terkait dengan status fosfor tanah, bahwa fosfor di dalam tanah ditemukan dalam berbagai bentuk senyawa, dan sebagian besar fosfor tidak tersedia bagi tumbuhan. Sebagian besar pupuk fosfor yang diaplikasikan pada tanah tidak dapat digunakan oleh tanaman, karena bereaksi dengan bahan tanah lainnya, sehingga nilai efisiensi pemupukan P umumnya rendah sampai sangat rendah.

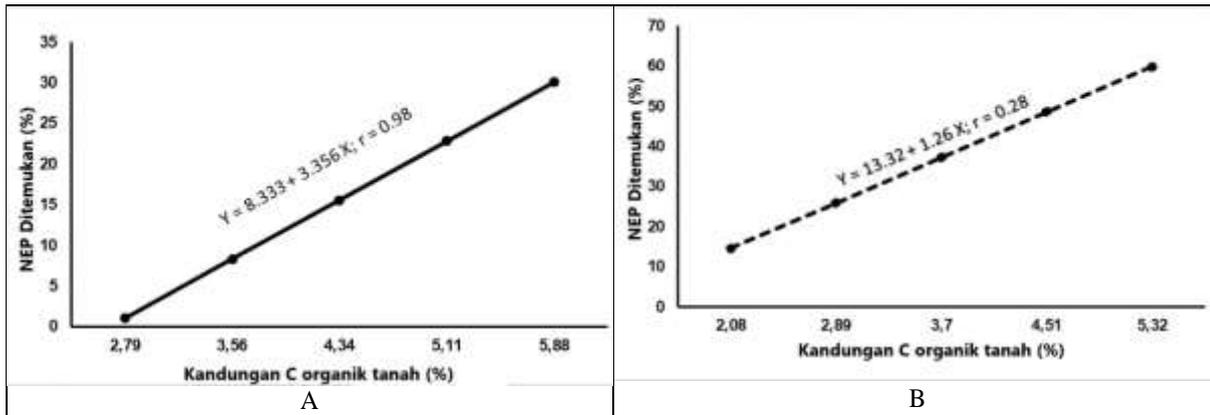
C-organik. Berdasarkan data analisis tanah diketahui bahwa kandungan C-organik tanah di wilayah studi dipengaruhi oleh kejadian sedimentasi. Kandungan C-organik tanah di daerah sedimen cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan di daerah non-sedimen (Tabel 5). Sebab, material sedimen terdiri dari residu limpasan yang kaya akan bahan organik yang berasal dari bagian atas areal perkebunan kelapa sawit. Sedangkan di daerah non-sedimen, C-organik tanah hanya berasal dari hasil dekomposisi bahan organik lokal.

Table 5. Dampak kesuburan tanah terhadap keberadaan NEP di areal sampling perkebunan kelapa sawit.

No.	Parameter	Unit	Hasil Pengukuran							
			Sedimentasi (0-2 cm)			Sedimentasi (0-7 cm)			Tanpa Sedimentasi	
			KST ₅	KST ₆	KST ₇	KST ₈	KST ₉	KST ₁₀	KST ₁	KST ₃
1.	Karbon organik	%	5,88	4,86	1,30	5,32	9,16	2,08	3,01	0,76
2.	Total Nitrogen	%	0,33	0,19	0,17	0,35	0,30	0,17	0,27	0,17
3.	P tersedia (Bray1)	ppm	0,96	4,82	0,61	1,67	3,07	2,71	17,46	7,28
4.	K tersedia (Morgan)	ppm	173,13	108,96	47,76	205,97	53,73	34,32	102,98	28,36
5.	KTK	meq/100 g	4,55	10,73	11,98	5,29	8,75	12,35	10,93	10,43
6.	Kejenuhan Basa	%	57,6	18,4	16,9	70,5	11,3	11,3	17,1	8,3
7.	Kejenuhan Al	%	22,82	41,94	56,76	17,77	44,57	59,92	66,79	71,91
8.	pH	–	4,31	3,64	3,74	4,24	3,96	3,71	4,25	4,48
9.	NEP		S	S	-	H	-	-	S	S

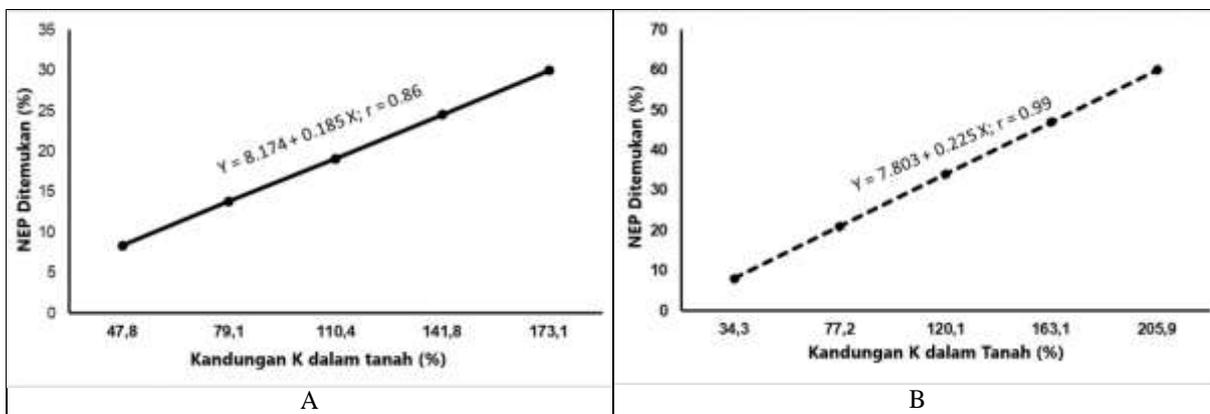
Keterangan: NEP (Nematoda entomopatogen), S (*Steinernema* sp.), H (*Heterorhabditis* sp.)

Kandungan C-organik tanah di bawah lapisan sedimen maupun pada tanah yang tidak tertutup sedimen bervariasi, kandungan C-organik yang lebih tinggi terjadi pada lapisan tanah 0-30 cm, dan relatif berkurang pada lapisan tanah 30-60 cm. Peningkatan populasi NEP berkorelasi positif dengan kandungan C-organik tanah (Gambar 1). Koefisien korelasi untuk lokasi pengambilan sampel 1 lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi pengambilan sampel 2, hal ini disebabkan oleh faktor pembatas lain yang secara drastis mengurangi populasi NEP di KST₉. NEP memanfaatkan bahan organik dan serangga atau organisme lain yang sangat terkait dengan tanah yang mengandung bahan organik tinggi. Hal tersebut dijelaskan dengan pola sebaran NEP yang selalu terkonsentrasi pada tanah yang mengandung bahan organik tinggi (Tabel 1).



Gambar 1. Hubungan antara kandungan karbon organik tanah dengan NEP teramati di areal sampling 1 (A) dan areal sampling 2 (B) perkebunan kelapa sawit.

Kalium. Berdasarkan data analisis tanah diketahui bahwa, kadar kalium tanah di areal penelitian berkisar antara 28,36-205,97 ppm yang tergolong sedang sampai sangat tinggi. Selain itu, kandungan kalium tanah sangat tinggi pada lapisan tanah bagian atas dan cenderung semakin rendah di lapisan yang lebih dalam. Kondisi tersebut berkorelasi positif (Gambar 2) dengan keberadaan NEP, karena populasi NEP cenderung lebih tinggi di lapisan tanah bagian atas mengikuti kecenderungan kandungan kalium (Tabel 5).



Gambar 2. Hubungan antara kandungan Kalium tanah dengan NEP teramati di areal sampling 1 (A) dan areal sampling 2 (B) perkebunan kelapa sawit.

Tekstur Tanah

Berdasarkan analisis tekstur tanah diketahui bahwa, sampel tanah sedimen memiliki tekstur lempung liat, sedangkan tanah asli di daerah pengambilan sampel memiliki tekstur lempung liat atau lempung. NEP dapat ditemukan di semua jenis tanah (Tabel 6), baik di tanah ringan maupun tanah berat. Fakta ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Kung *et al.* (1990) dan Neher (2010). Pada percobaan sebelumnya, Kung *et al.* (1990) menemukan bahwa NEP beradaptasi di tanah ringan hingga tanah berat; kondisi itu tidak mempengaruhi kelangsungan hidup dan patogenesis NEP. Selain itu, tanah ringan cenderung lebih menguntungkan daripada tanah berat untuk pengembangan dan reproduksi NEP.

Tabel 6. Dampak tekstur tanah terhadap keberadaan NEP pada lokasi sampel perkebunan kelapa sawit.

No.	Parameter	Unit	Measurement results							
			Sedimentasi (0-2 cm)			Sedimentasi (0-7 cm)			Tanpa Sedimentasi	
			KST ₅	KST ₆	KST ₇	KST ₈	KST ₉	KST ₁₀	KST ₁	KST ₃
1.	Clay	%	60,63	30,56	31,50	53,48	17,54	29,63	22,93	28,69
2.	Silt	%	35,93	29,27	33,17	42,38	39,03	42,43	35,70	30,93
3.	Sand	%	3,44	40,17	35,33	4,14	43,43	27,94	41,37	40,38
4.	Tekstur		C	SiC	CL	C	L	CL	CL	CL
5.	NEP		S	S	-	H	-	-	S	S

Keterangan: NEP (Nematoda entomopatogen), S (*Steinernema* sp.), H (*Heterorhabditis* sp.), C = clay, L = loam, SiC = silty-clay, CL = clay loam.

Prospek NEPs untuk Pengendalian Hama

Berdasarkan pemahaman terhadap NEP dan informasi yang dibahas di atas, sangat memungkinkan untuk mengembangkan NEP sebagai agen pengendali hayati, sebagai unsur POT di perkebunan kelapa sawit. Keberhasilan penggunaan NEP dapat lebih terjamin dengan menggunakan NEP isolat lokal yang tersedia, yang telah adaptif dengan lingkungan perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Timur.

Keberhasilan pengendalian hama pada kelapa sawit memiliki arti yang sangat penting bagi perkembangan perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Timur, yang saat ini telah mencapai lebih dari satu juta hektar. Jadi, risiko serangan hama yang semakin besar tentunya bisa diatasi dengan tepat. Keberhasilan penggunaan NEP dalam pengendalian hama pada kelapa sawit memiliki beberapa keunggulan, antara lain ketersediaan isolat secara lokal, relatif membutuhkan teknologi yang sederhana, pengendalian hama menjadi ramah lingkungan, dan kualitas hasil minyak sawit menjadi lebih tinggi dan prospektif digunakan untuk berbagai hilirisasi industrinya.

KESIMPULAN

Sedimentasi tambang batubara dengan ketebalan lapisan sekitar 7 cm secara signifikan mereduksi keberadaan NEP hingga pada tingkat yang tidak terdeteksi. NEP terdapat pada lapisan sedimen di kedua wilayah pengambilan sampel, yaitu pada ketebalan lapisan sedimen 7 cm dan ketebalan lapisan sedimen 2 cm. NEP cenderung beradaptasi di dalam tanah sampai kedalaman lapisan 30 cm, hal ini berkaitan dengan sifat tanah dengan kandungan C-organik dan Kalium yang tinggi. Terdapat dua genera NEP yang ditemukan di wilayah penelitian, yaitu *Steinernema* dan *Heterorhabditis*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S.S., Pervez, R., Hussain, M.A. & Ahmad, R. (2017). Effect of temperature on survival of *Steinernema seemae*, *S. masoodi* and *S. carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) and their subsequent infectivity to prepupa of *Helicoverpa armigera* (Hubner). Archives of Phytopathology and Plant Protection 40(3), 183-187
- Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.L., & Sattin, M. (2015). Eight principles of integrated pest management. Agron. Sustain. Dev. 35, 1199-1215. DOI 10.1007/s13593-015-0327-9
- Blackshaw, R.P. (1988) A survey of insect parasitic nematodes in Northern Ireland. Nematologica 21, 109-110.
- Canhilal, R. & Carner, G.R. (2006). Efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Herorhabditidae) against squash vine borer, *Melittia cucurbitae* (Lepidoptera: Sesiidae) in South Carolina. J. Agric. Urban Entomo. 23(1), 27-39.
- Chaerani, Y., Suryadi, T.P., Priyatno, D., Koswanudin, U., Rahmat, Sujatmo, Yusuf, & Griffin, C.T. (2007). Isolasi Nematoda patogen serangga *Steinernema* dan *Heterorhabditis*. JHPT Tropika 7(1), 1-9. <http://jhaptropika.fp.unila.ac.id>
- de Brida, A.L., Rosa, J.M., de Oliveira, C.M., de Castro e Castro, B.M., Serrão, J.E., Zanoncio, J.C., Leite, L.G. & Silvia Renata Siciliano Wilcken, S.R.S. (2017). Entomopathogenic nematodes in agricultural areas in Brazil. Scientific Reports, 7:45254, 1-7. DOI: 10.1038/srep45254
- EPPO. (2013). PM 7/119 (1) Nematode extraction. Bulletin OEPP/EPPO. 43(3), 471-495. DOI: 10.1111/EPP.12077
- Fallon, D.J. (1998). The use of indigenous entomopathogenic nematodes (*Heterorhabditis indica* and *Steinernema* spp.) to control rice stem borer in West Java, Indonesia. Ph.D. thesis, National University of Ireland, Maynooth.
- Gaugler, R. & Han, R. (2001). Production Technology. In: R. Gaugler. Entomophthogenic Nematology. Pp.291-312. CABI Publ.
- Gaugler, R. & Kaya, H. (1990). Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor, Boston.
- Gaugler, R. (2002). Entomophthogenic Nematology. CABI Publishing: Wallingford, UK. 388 p.
- Gauraha, R., Ganguli, J. & Deole, S. (2018). Entomopathogenic nematodes and their efficiency in different host. Journal of Plant Development Sciences 10 (7), 367-373

- Grewal, P.S. & Ruisheng, A.N. (2007). Differences in the virulence of *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema scarabaei* to three white grub species: The relative contribution of the nematodes and their symbiotic bacteria. Department of Entomology, The Ohio State University, 1680 Madison Avenue, Wooster, OH 44691, USA.
- Griffin, T.C. (2012). Perspectives on the Behavior of Entomopathogenic Nematodes from Dispersal to Reproduction: Traits Contributing to Nematode Fitness and Biocontrol Efficacy. *Journal of Nematology* 44(2), 177–184.
- Hara, A.H., Gaugler, R., Kaya, H.K. & Lebeck, L.M. (1991). Natural populations of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae, Steinernematidae) from the Hawaiian Islands. *Environmental Entomology* 20, 211–216
- Imanadi, L. (2012). Kajian pengendalian hama dengan nematoda entomopatogen (*Steinernema* spp. Dan *Heterorhabditis* spp.). Balai besar karantina pertanian Surabaya. Surabaya.
- Karabörklü, S., Ayvaz, A., Yilmaz, S. & Azizoglu, U. (2015). Fungi associated with free-living soil nematodes in Turkey. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 67(4) 1173-1183
- Kaya, H.K. & Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38, 181-206.
DOI: 10.1146/annurev.en.38.010193.001145
- Kung, S., Gaugler, R. & Kaya, H.K. (1990). Soil type and entomopathogenic persistence. *J. Invert. Pathol.* 55, 401-406.
- Liu, J. & Berry, R.E. (1995) Natural distribution of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) in Oregon soils. *Environmental Entomology* 24, 159-163. <https://doi.org/10.1093/ee/24.1.159>
- Mohan, S., Upadhyay, A., Srivastava, A. & Sreedevi, K. (2017). Implantation of *Heterorhabditisindica*-infected *Galleria* cadavers in the soil for biocontrol of white grub infestation in sugarcane fields of western Uttar Pradesh, India. *Current Science: 112(10)*, 2016-2020. <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/112/10/2016.pdf>
- Naranjo, S.E., Ellsworth, P.C. & Frisvold, G.B. (2015). Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Ann. Rev. Entomology* 60, 621-645.
- Neher, D.A. (2010). Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural Soil. *Ann. Rev. Phytopathology* 48(1), 371-94
- PPT. (1995). Petunjuk teknis evaluasi kesuburan Tanah. Laporan Teknis No.14. Versi 1,0.1. REP II Project, CSAR, Bogor.
- Pretty, J. & Bharucha, Z.P. (2015). Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* 6, 152-182; doi 10.3390/insects6010152
- Raheel, M., Javed, N., Khan, S.A., Aatif, H.M. & Ahmed, S. (2017). Effect of temperature on the reproductive potential of indigenous and exotic species of entomopathogenic nematodes inside *Galleriamellonella* L. larvae.
- Rahoo, A.M., Mukhtar, T., Abro, S.I., Gowen, S.R. & Bughio, B.A. (2016). Effect of temperature on emergence of *Steinernema feltiae* from infected *Galleria mellonella* cadavers under moist and dry conditions. *Pakistan Journal of Nematology* 34 (2), 171-176
- Salame, L. & Glazer, I. (2015). Stress avoidance: vertical movement of entomopathogenic nematodes in response to soil moisture gradient. *Parasitica* 43 (5), 647-655.
- Shannag, H.K. & Capinera, J.L. (1995). Evaluation of entomopathogenic nematodes species for the control of mealworm (Lepidoptera: Pyralidae). *Environ. Entomol.* 24(1), 143-148. <https://doi.org/10.1093/ee/24.1.143>
- Smart, G. C. (1995). Entomopathogenic nematodes for the biological control of insects. *Journal of Nematology* 27, 529-534.
- Wodring, J.L. & Kaya, H.K. (1988). Steinernematid and Heterorhabditid nematodes: A handbook of biology and techniques. Southern Cooperative Series Bull. Arkansas Agric.