

Populasi Nematoda Tanah pada Perlakuan Limbah Tanaman Brassicaceae

Population of Soil Nematodes in The Treatment of Brassicaceae Plant Waste

Ahmad Yusuf Ibrahim, Supramana*, Giyanto
Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680

ABSTRAK

Tanaman famili Brassicaceae diketahui mengandung glukosinolat yang dapat terhidrolisis menjadi senyawa yang bersifat biofumigan. Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae terhadap dinamika populasi nematoda tanah. Percobaan rumah kaca dilakukan pada empat jenis limbah tanaman Brassicaceae, yaitu limbah daun lobak (*Raphanus sativus*), brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), kubis (*Brassica oleracea* var. *capitata*), dan seluruh bagian gulma kamanilan (*Roripa indica*) dalam pot berisi 5 L tanah terinfestasi nematoda. Limbah tanaman dicacah berukuran ± 1 cm, sebanyak 117 g per pot dicampurkan dalam tanah terinfestasi nematoda, disiram air hingga basah, dan ditutup rapat untuk proses biofumigasi selama 14 hari. Pot dibiarkan terbuka selama 3-5 hari, ditanami bibit mentimun varietas Roberto 92 berumur 7 hari, dan dipelihara di rumah kaca hingga 8 minggu setelah tanam. Pengamatan jenis dan populasi nematoda tanah dilakukan tiga kali, yaitu sebelum perlakuan, setelah perlakuan, dan 8 minggu setelah tanam. Percobaan ini disusun dalam rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan nematoda *free-living* (nematoda bakteriovora dan nematoda fungivora) pada seluruh perlakuan limbah tanaman Brassicaceae. Sebaliknya, terjadi penurunan populasi fitonematoda secara nyata pada perlakuan limbah daun brokoli. Semua jenis limbah tanaman Brassicaceae dapat menekan populasi fitonematoda *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., dan *Xiphinema* sp., secara nyata. Limbah daun brokoli menunjukkan nilai penghambatan tertinggi terhadap seluruh genus fitonematoda dengan penghambatan mencapai 100%.

Kata kunci: bakteriovora, biofumigasi, fungivora, nematoda *free-living*, nilai penghambatan

ABSTRACT

Brassicaceae plants are known to contain glucosinolates which can be hydrolyzed into biofumigant compounds. This research was conducted to examine the effect of biofumigant derived from Brassicaceae plants waste on soil nematode population dynamics. Greenhouse experiment was carried out on 4 types of Brassicaceae plants waste, consisting of leaf waste of radish (*Raphanus sativus*), broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), and whole parts kamanilan weed (*Roripa indica*) in polybags containing 5 L of nematode infested soil. Plant waste was chopped ± 1 cm in size, then as much as 117 g per polybag was mixed in nematode infested soil, doused with water until wet and tightly closed for the biofumigation process for 14 days. At the end of biofumigation step, the polybags were opened for 3-5 days, then 7 day - old cucumber seedlings of var. Roberto 92 were planted and the plants were maintained in greenhouse for up to 8 weeks. Observation of the type and population of soil nematodes was carried out three times, i.e. before treatment, after treatment, and 8 weeks after planting.

Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.
Tel: +62251 8629364, Surel: supramana@apps.ipb.ac.id

This experiment was designed in a completely randomized design with 6 treatments and 5 replications. The results of the study showed that the population of free-living nematodes (bacteriovorous nematodes and fungivorous nematodes) was increased in all treatment of Brassicaceae plants waste. On the other hand, there was a significant decrease in the phytonematodes population in the treatment of broccoli leaf waste. All Brassicaceae wastes was able to suppress population of *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., and *Xiphinema* sp., significantly. Leaf waste of broccoli leaves showed the highest inhibition value against all phytonematodes genera with inhibition reached 100%.

Keywords: bacteriovorous, biofumigation, free-living nematode, fungivorous, inhibition value

PENDAHULUAN

Kelompok tanaman kubis-kubisan merupakan salah satu produk hortikultura yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Pada tahun 2021 luas panen kubis dan kembang kol masing-masing sebesar 63 909 dan 15 149 ha. Total produksi dari luas panen tersebut masing-masing sebesar 1 434 670.5 dan 203 384.7 ton (BPS 2022). Jumlah produksi yang tinggi tersebut akan menghasilkan banyak limbah tanaman.

Limbah tanaman Brassicaceae dianggap sebagai biofumigan karena mengandung turunan senyawa volatil isotiosianat dari senyawa glukosinolat yang dapat menekan per-kembangan patogen tular tanah (Sarwar dan Kirkegaard 2004). Salah satu patogen tular tanah yang dapat dikendalikan oleh biofumigan asal limbah tanaman Brassicaceae ialah fitonematoda.

Tingkat kerusakan yang disebabkan oleh fitonematoda bervariasi, bergantung pada jenis tanaman dan fitonematoda yang menginfeksi. Pada tanaman tomat, kerusakan akibat infeksi fitonematoda penyebab puru akar (*Meloidogyne* spp.) mencapai 68.3% (Khotimah *et al.* 2020). Keparahan penyakit akibat *Meloidogyne* spp. pada tanaman mentimun dapat mencapai 76.1% (Prihatin 2019). Tingginya kerusakan yang ditimbulkan membuat serangan fitonematoda menjadi perhatian dan strategi pengendalian yang tepat terus dieksplorasi, salah satunya melalui pemanfaatan limbah tanaman Brassicaceae.

Sifat nematisidal limbah tanaman Brassicaceae telah diteliti beberapa kali di Indonesia. Limbah daun lobak, brokoli, dan kubis berpotensi sebagai alternatif pengendalian

fitonematoda yang ramah lingkungan (Daulay 2013; Rosya 2015; Nur *et al.* 2016; Prihatin 2019). Penelitian tersebut masih terbatas pada fitonematoda penyebab puru akar saja. Dampak limbah tanaman Brassicaceae terhadap nematoda lainnya belum diteliti, walaupun Riga (2011) menyebutkan tidak terdapat efek buruk aplikasi limbah tanaman Brassicaceae terhadap nematoda nonparasit. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengaruh perlakuan limbah tanaman Brassicaceae terhadap populasi fitonematoda lain dan nematoda yang hidup bebas (*free-living*) tanah, termasuk dinamika populasinya.

BAHAN DAN METODE

Perlakuan Limbah Tanaman Brassicaceae

Limbah daun lobak (*Raphanus sativus*), brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), kubis (*Brassica oleracea* var. *capitata*), dan seluruh bagian gulma kamanilan (*Roripa indica*) dicacah hingga berukuran ± 1 cm, dimasukkan sebanyak 117 g ke dalam pot berisi 5 L tanah terinfestasi nematoda, disiram dengan air, dan ditutup rapat untuk proses biofumigasi selama dua minggu. Pot dibuka, dibiarkan selama 3-5 hari, lalu ditanami bibit mentimun varietas Roberto 92 berumur seminggu setelah semai. Kontrol (+) menggunakan nematisida berbahan aktif fluopiram 400 g L⁻¹ (dilarutkan 10 mL dalam 16 L air) dengan dosis 30 mL per pot. Kontrol (-) disiapkan tanpa penambahan bahan apa pun. Pengamatan selanjutnya dilakukan 8 minggu setelah pindah tanam (MSPT).

Analisis Populasi Nematoda

Ekstraksi nematoda dilakukan sebelum perlakuan, setelah perlakuan, dan 8 minggu

setelah tanam menggunakan metode flotasi-sentrifugasi (EPPO 2013). Sebanyak 100 mL tanah sampel yang telah dikompositkan dimasukkan ke dalam 800 mL air bersih, dihomogenkan, dan dibiarkan selama ± 20 detik. Campuran tersebut selanjutnya disaring menggunakan saringan bertingkat ukuran 20, 100, dan 400 mesh. Suspensi yang tertahan pada saringan 400 mesh selanjutnya dimasukkan ke dalam botol sentrifugasi berukuran 15 mL untuk disentrifugasi dengan kecepatan 1700 rpm selama 5 menit.

Setelah proses sentrifugasi, supernatan pada tabung dibuang dan endapan yang berada di dasar tabung ditambahi larutan gula 40%, dihomogenkan, dan disentrifugasi kembali pada kecepatan 1700 rpm selama satu menit. Supernatan pada tabung disaring dengan saringan 400 mesh. Suspensi yang tertahan pada saringan 400 mesh dimasukkan ke dalam tabung koleksi lalu ditambahi formaldehida 2% pada suhu ruang dengan volume 1:1 untuk menghasilkan suspensi nematoda yang mengandung formaldehida 1%. Penambahan formaldehida bertujuan agar sampel suspensi berisi nematoda dapat disimpan pada suhu ruang tanpa menyebabkan kerusakan/lisis pada tubuh nematoda.

Proses penghitungan kelimpahan nematoda menggunakan metode *sampling*. Penghitungan secara *sampling* dilakukan sebanyak 3 kali untuk tiap ulangan. Sebanyak 1 mL suspensi diambil, diletakkan pada cawan hitung dan dihitung menggunakan mikroskop stereo. Komunitas nematoda tanah yang diamati adalah nematoda bakteriovora, fitonematoda, dan nematoda fungivora. Nematoda bakteriovora memiliki bentuk mulut seperti corong yang berfungsi untuk mengisap bakteri, fitonematoda memiliki alat mulut seperti jarum (stilet) untuk mengisap cairan sitoplasma tanaman, sedangkan nematoda fungivora memiliki alat mulut stilet (seperti fitonematoda) tanpa adanya bagian knob pada pangkal stilet tersebut yang berfungsi untuk mengisap hifa cendawan dan memiliki *median bulb* dengan ukuran yang cukup besar (Mulyadi 2009; Li *et al.* 2017). Populasi total jenis nematoda dihitung menggunakan rumus:

$$N_i = \sum_{i=1}^n \frac{V}{v} \times n_i, \text{ dengan}$$

N_i , populasi total jenis nematoda i , n_i , populasi jenis nematoda i teramati pada cawan hitung; V , volume suspensi nematoda hasil ekstraksi (mL); dan v , volume suspensi nematoda di dalam cawan hitung (mL).

Pengamatan lebih mendalam dilakukan terhadap komunitas fitonematoda. Penghitungan populasi diawali dengan pengidentifikasian fitonematoda hingga tingkat genus berdasarkan panduan yang disusun oleh Li *et al.* (2017). Proses identifikasi dilakukan dengan mengamati ciri khas posisi tubuh fitonematoda saat fase istirahat, bentuk annulasi, bentuk bibir, tipe stilet, tumpang tindih antara usus dan esofagus, serta ukuran tubuh. Identifikasi fitonematoda menggunakan sampel segar dari suspensi hasil ekstraksi yang ditempatkan pada kaca preparat dan diamati menggunakan mikroskop cahaya. Hasil populasi tiap genus fitonematoda yang didapatkan dihitung tingkat hambatan relatifnya untuk menentukan persentase keefektifan perlakuan limbah tanaman Brassicaceae dengan menggunakan rumus:

$$\text{THR} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100\%, \text{ dengan}$$

THR, tingkat hambatan relatif; P_0 , populasi awal; P_1 , populasi setelah perlakuan.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian disusun menggunakan rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan. Parameter yang diamati ialah keranekagaman dan kelimpahan populasi nematoda. Data yang diperoleh ditabulasi untuk kemudian dianalisis ragam (ANOVA) menggunakan IBM SPSS Statistik versi 22 dan dilanjutkan dengan analisis lanjut menggunakan uji Tukey pada taraf nyata 5%.

HASIL

Populasi Nematoda Tanah

Hasil ekstraksi populasi awal sebelum perlakuan limbah tanaman Brassicaceae ditemukan fitonematoda dengan kelimpahan yang tinggi, sedangkan komunitas nematoda

bakteriovora menunjukkan kelimpahan yang rendah. Pengaruh biofumigasi selama 2 minggu menunjukkan bahwa limbah tanaman Brassicaceae, terutama limbah daun brokoli, menekan populasi komunitas fitonematoda. Sebaliknya komunitas nematoda bakteriovora meningkat populasinya dengan terjadi peningkatan populasi yang signifikan pada seluruh perlakuan limbah tanaman Brassicaceae (Tabel 1).

Pada pengamatan 8 MSPT, seluruh perlakuan yang diaplikasikan tidak berdampak secara signifikan terhadap penurunan populasi komunitas fitonematoda (Tabel 2). Pada komunitas nematoda bakteriovora, populasinya tetap tinggi pada seluruh perlakuan limbah tanaman Brassicaceae. Populasi komunitas nematoda bakteriovora pada periode pengamatan ini tidak setinggi pada periode pengamatan 2 minggu setelah biofumigasi. Selain itu, pada

periode pengamatan ini ditemukan komunitas nematoda fungivora yang populasinya tidak berbeda secara signifikan pada tiap perlakuan yang diaplikasikan.

Pengaruh Limbah tanaman Brassicaceae terhadap Fitonematoda Tanah

Terdapat 4 genus fitonematoda tanah yang dominan ditemukan pada penelitian ini, yaitu *Criconemoides* sp., *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., dan *Xiphinema* sp. (Gambar 1). Pengaruh biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae selama 2 minggu terhadap populasi fitonematoda tanah dapat dilihat pada Tabel 3. Seluruh jenis limbah tanaman Brassicaceae pada dosis yang diuji dapat menekan populasi *Helicotylenchus* sp. secara signifikan dibandingkan dengan populasi awal. Populasi *Rotylenchulus* sp. dapat diturunkan pada perlakuan limbah daun brokoli, lobak, dan kubis.

Tabel 1 Populasi komunitas nematoda tanah setelah perlakuan biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae selama dua minggu¹

| Perlakuan | Populasi Nematoda (per 100 mL tanah) ² | |
|----------------------------|---|--------------|
| | Fitonematoda | Bakteriovora |
| Populasi awal ³ | 277.33 b | 56.00 ab |
| Kontrol (+) | 250.67 b | 29.33 ab |
| Kontrol (-) | 322.67 b | 16.00 a |
| Lobak | 146.67 ab | 5576.00 c |
| Brokoli | 106.67 a | 6381.33 c |
| Kubis | 133.33 ab | 2832.00 c |
| Kamanilan | 173.33 ab | 426.67 bc |

¹Data telah ditransformasi dengan transformasi logaritma.

²Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada taraf α 5%.

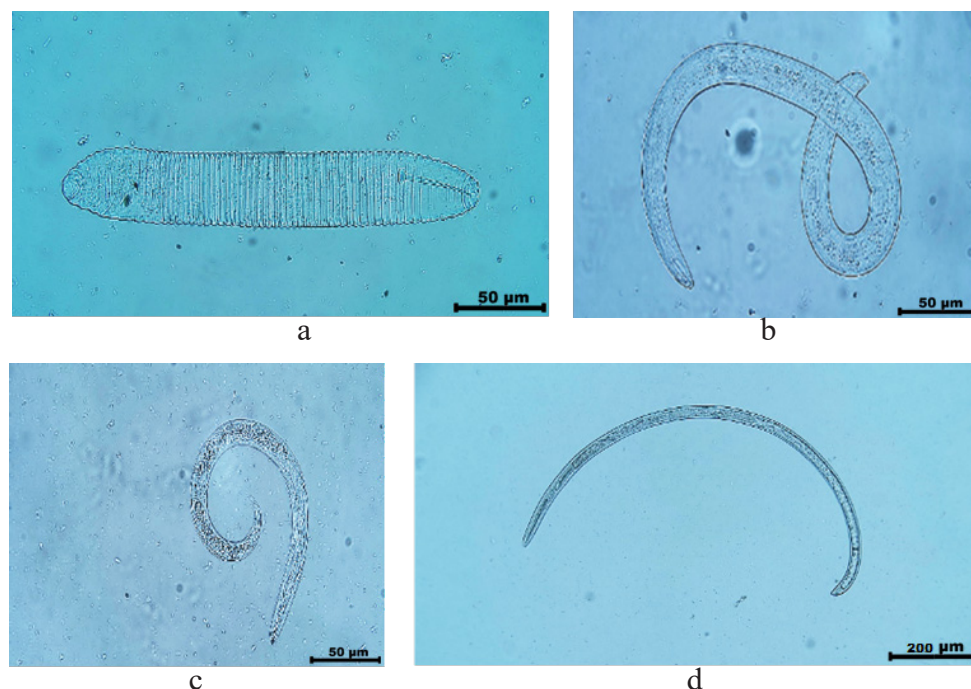
³Populasi sebelum biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae.

Tabel 2 Populasi komunitas nematoda tanah setelah delapan minggu pindah tanam mentimun¹

| Perlakuan | Populasi Nematoda (per 100 mL tanah) ² | | |
|-------------|---|--------------|-----------|
| | Fitonematoda | Bakteriovora | Fungivora |
| Kontrol (+) | 90.67 a | 53.33 a | 8.00 a |
| Kontrol (-) | 28.27 a | 66.67 a | 0.00 a |
| Lobak | 138.67 a | 2130.67 b | 34.67 a |
| Brokoli | 90.67 a | 2338.67 b | 8.00 a |
| Kubis | 149.33 a | 1797.33 b | 32.00 a |
| Kamanilan | 221.33 a | 557.33 b | 18.67 a |

¹Data telah ditransformasi dengan transformasi logaritma.

²Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada taraf α 5%.



Gambar 1 Fitonematoda yang ditemukan pada sampel tanah penelitian. a, *Criconemoides* sp. (400×); b, *Helicotylenchus* sp. (400×); c, *Rotylenchulus* sp. (400×); dan d, *Xiphinema* sp. (100×).

Tabel 3 Populasi fitonematoda setelah perlakuan biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae selama dua minggu¹

| Perlakuan | Populasi Fitonematoda (per 100 mL tanah) ² | | | |
|----------------------------|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | <i>Criconemoides</i> | <i>Helicotylenchus</i> | <i>Rotylenchulus</i> | <i>Xiphinema</i> |
| Populasi awal ³ | 10.67 ab | 13.33 b | 184.00 bc | 5.33 a |
| Kontrol (+) | 13.33 ab | 2.67 a | 202.67 bc | 8.00 a |
| Kontrol (-) | 5.33 a | 5.33 ab | 245.33 c | 13.33 a |
| Lobak | 34.67 b | 0.00 a | 66.67 a | 2.67 a |
| Brokoli | 5.33 a | 0.00 a | 69.33 a | 0.00 a |
| Kubis | 2.67 a | 0.00 a | 64.00 a | 0.00 a |
| Kamanilan | 5.33 a | 0.00 a | 120.00 abc | 0.00 a |

¹Data telah ditransformasi dengan transformasi logaritma.

²Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada taraf α 5%.

³Populasi sebelum biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae.

Seluruh perlakuan tidak signifikan terhadap populasi genus *Criconemoides* sp. dan *Rotylenchulus* sp. pada pengamatan 8 MSPT, namun menurunkan populasi *Xiphinema* sp. secara signifikan dibandingkan dengan kontrol (-). Selain itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa perlakuan limbah tanaman Brassicaceae memiliki keefektifan yang setara dengan kontrol (+) dalam menekan populasi *Xiphinema* sp (Tabel 4).

Perlakuan limbah tanaman Brassicaceae dapat menekan populasi fitonematoda, *Criconemoides* sp. antara 50.05% dan 74.98%, *Helicotylenchus* sp. 100%, *Rotylenchulus* sp. antara 17.39% dan 66.67%, dan *Xiphinema* sp. antara 49.91% dan 100% (Tabel 5). Limbah brokoli merupakan perlakuan yang terbaik karena secara konsisten meningkatkan penghambatan seluruh genus fitonematoda antara pengamatan setelah biofumigasi dan

Tabel 4 Populasi fitonematoda setelah delapan minggu pindah tanam mentimun¹

| Perlakuan | Populasi Fitonematoda (per 100 mL tanah) ² | | |
|-------------|---|----------------------|------------------|
| | <i>Criconemoides</i> | <i>Rotylenchulus</i> | <i>Xiphinema</i> |
| Kontrol (+) | 8.00 a | 69.33 a | 2.67 ab |
| Kontrol (-) | 13.33 a | 101.33 a | 10.67 b |
| Lobak | 10.67 a | 85.33 a | 0.00 a |
| Brokoli | 2.67 a | 61.33 a | 0.00 a |
| Kubis | 13.33 a | 77.33 a | 0.00 a |
| Kamanilan | 5.33 a | 152.00 a | 0.00 a |

¹Data telah ditransformasi dengan transformasi logaritma.

²Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut Tukey pada taraf α 5%.

Tabel 5 Tingkat hambatan relatif fitonematoda pada tiap periode pengamatan setelah perlakuan limbah tanaman Brassicaceae¹

| Perlakuan | Tingkat hambatan relatif fitonematoda (%) | | | |
|---|---|------------------------|----------------------|------------------|
| | <i>Criconemoides</i> | <i>Helicotylenchus</i> | <i>Rotylenchulus</i> | <i>Xiphinema</i> |
| Sebelum perlakuan | | | | |
| Populasi awal | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Setelah biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae selama dua minggu | | | | |
| Kontrol (+) | -24.93 | 79.97 | -10.15 | -50.09 |
| Kontrol (-) | 50.05 | 60.02 | -33.33 | -150.09 |
| Lobak | -224.93 | 100.00 | 63.77 | 49.91 |
| Brokoli | 50.05 | 100.00 | 62.32 | 100.00 |
| Kubis | 74.98 | 100.00 | 65.22 | 100.00 |
| Kamanilan | 50.05 | 100.00 | 34.78 | 100.00 |
| Setelah delapan minggu pindah tanam mentimun | | | | |
| Kontrol (+) | 25.02 | 100.00 | 62.32 | 49.91 |
| Kontrol (-) | -24.93 | 100.00 | 44.93 | -100.19 |
| Lobak | 0.00 | 100.00 | 53.63 | 100.00 |
| Brokoli | 74.98 | 100.00 | 66.67 | 100.00 |
| Kubis | -24.93 | 100.00 | 57.97 | 100.00 |
| Kamanilan | 50.05 | 100.00 | 17.39 | 100.00 |

¹Nilai negatif (-) menunjukkan tidak adanya penghambatan terhadap fitonematoda dan terjadi kecenderungan peningkatan kelimpahannya dibandingkan dengan populasi awal sebelum perlakuan.

setelah delapan MSPT. Selain itu, limbah brokoli juga memiliki tingkat hambatan relatif tertinggi untuk semua genus fitonematoda pada pengamatan 8 MSPT.

PEMBAHASAN

Aplikasi biofumigasi dengan limbah tanaman Brassicaceae memberikan pengaruh yang berbeda terhadap komunitas nematoda parasit tumbuhan (fitonematoda) dan nematoda yang hidup bebas (nematoda bakteriovora dan nematoda fungivora). Komunitas nematoda tersebut dibedakan

berdasarkan jenis makanannya sehingga dapat diketahui peranannya di lingkungan pertanian (Stirling 2014). Dua minggu setelah perlakuan perlakuan, peningkatan populasi yang signifikan sudah terjadi pada nematoda yang hidup bebas dan penurunan populasi yang juga signifikan pada fitonematoda, terutama pada perlakuan limbah daun brokoli. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Hu dan Qi (2010) yang memaparkan bahwa perlakuan bahan organik dapat meningkatkan kelimpahan nematoda bakteriovora dan nematoda fungivora dengan jumlah yang tinggi. Peningkatan kelimpahan

nematoda bakteriovora yang tinggi dapat dikaitkan dengan tingginya populasi bakteri tanah sebagai dampak dari pemberian bahan organik ke dalam tanah.

Penurunan kepadatan populasi fitonematoda terjadi setelah pemberian bahan organik pada tanah (Atandi *et al.* 2017). Salah satunya ialah *Meloidogyne* spp. yang mengalami penurunan populasi setelah perlakuan bahan organik sebagai biofumigan (Sari *et al.* 2018). Penambahan bahan organik juga dapat meningkatkan perkembangan agens antagonis seperti *Trichoderma* sp. yang dapat memarasit *Meloidogyne* spp. (TariqJaveed *et al.* 2021). Penelitian mengenai keefektifan *Trichoderma* sp. sebagai agens antagonis fitonematoda lainnya belum dilakukan. Beberapa agens antagonis lainnya seperti khamir dan bakteri juga dapat meningkatkan kelimpahannya setelah penambahan bahan organik. Agens antagonis tersebut dapat menekan fitonematoda dan fitopatogen lainnya dengan beragam mekanisme, baik secara langsung maupun tidak langsung (Poorniammal dan Prabhu 2022; Lahlali *et al.* 2022).

Nematoda yang hidup bebas memiliki peran utama dalam kesuburan tanah karena terlibat dalam proses siklus nutrisi, mineralisasi, dekomposisi, dan penekanan terhadap fitonematoda (Matute 2013). Nematoda bakteriovora dan nematoda fungivora dimasukkan ke dalam kelompok *nitrogen releasing nematodes* (NRN) karena berperan dalam proses mineralisasi N. Nematoda bakteriovora berkontribusi lebih dalam proses mineralisasi N dan dapat menyediakan unsur N terlarut hingga 19% melalui proses ekskresi yang dikeluarkan olehnya (Mulyadi 2009).

Nematoda bakteriovora memiliki siklus hidup yang pendek sehingga digunakan sebagai indikator kesehatan tanah karena dapat merespons perubahan lingkungan dengan cepat. Kelimpahan nematoda bakteriovora yang tinggi dapat dikaitkan dengan kesuburan tanah karena dapat mengakselerasi ketersediaan unsur hara yang diperlukan tanaman (Mulyadi 2009). Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah

tanah yang secara intensif diberi pupuk kimia anorganik dan pestisida kimia sintetik dalam kegiatan budi dayanya. Penelitian ini menunjukkan terjadinya peningkatan kesehatan tanah setelah pemberian limbah tanaman Brassicaceae dengan meningkatnya kelimpahan nematoda bakteriovora walaupun pengaplikasiannya baru dilakukan satu kali.

Secara umum, penambahan bahan organik ke dalam tanah dapat meningkatkan toleransi tanaman maupun menurunkan populasi fitonematoda. Toleransi tanaman terhadap fitonematoda terjadi karena dekomposisi bahan organik dapat meningkatkan tekstur dan kemampuan tanah dalam menahan air dan nutrisi untuk tanaman sehingga memberikan kesempatan bagi tanaman untuk dapat menyerapnya. Dekomposisi bahan organik tertentu yang dapat melepaskan senyawa kimia volatil seperti yang terkandung pada limbah tanaman Brassicaceae dapat bersifat toksik bagi fitonematoda. Senyawa kimia tersebut dapat secara langsung menurunkan populasi fitonematoda. Riga (2011) menyatakan bahwa limbah tanaman Brassicaceae dapat menurunkan kelimpahan fitonematoda tanpa memberikan pengaruh buruk terhadap nematoda yang hidup bebas di dalam tanah. Selain itu, aplikasi limbah tanaman Brassicaceae sebagai bahan organik dapat meningkatkan keranekagaman dan kelimpahan mikrob tanah yang dapat memberikan banyak manfaat bagi tanaman (Crow dan Dunn 2019).

Pengamatan kelompok fitonematoda pada dua minggu setelah biofumigasi menunjukkan bahwa limbah brokoli memberikan hasil paling baik dan berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kontrol (+) yang merupakan nematisida kimia sintetik. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan limbah brokoli dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam menekan fitonematoda tanah dibandingkan dengan nematisida kimia sintetik. Hasil yang diperoleh juga sejalan dengan penelitian Rosya (2015) yang menyatakan bahwa biofumigasi limbah brokoli selama dua minggu dapat menekan populasi fitonematoda, khususnya *Meloidogyne* spp.

Berbeda dengan periode pengamatan setelah biofumigasi, pada delapan MSPT kelompok fitonematoda menunjukkan hasil yang tidak berbeda signifikan pada seluruh perlakuan. Kemungkinan hal ini terjadi karena efek biofumigan limbah tanaman Brassicaceae sudah berkurang atau menghilang. Senyawa volatil isotiosianat (ITS) masih ada dan terdeteksi 8-12 hari setelah perlakuan dengan efikasi 26%-56% (Gimsing dan Kirkegaard 2006).

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi komposisi komunitas nematoda tanah. Suhu berkorelasi negatif terhadap kelompok nematoda tanah. Pengaplikasian limbah tanaman Brassicaceae dapat meningkatkan suhu tanah antara 4 dan 6 °C sehingga dapat memengaruhi kelompok nematoda pada tanah (Matute 2013; Rosya 2015). Faktor pH juga menunjukkan korelasi negatif dengan rentang pH 5-6 yang ideal untuk seluruh kelompok nematoda tanah.

Pengaruh limbah tanaman Brassicaceae yang diuji terhadap genus fitonematoda yang ditemukan cukup beragam. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perlakuan yang diuji dapat menjadi alternatif pengendalian *Rotylenchulus* sp. yang merupakan fitonematoda semi-endoparasit yang penting secara ekonomi dan dapat membentuk sinitium pada sel endodermis akar (Polomares-Rius *et al.* 2017). Serangan fitonematoda tersebut menyebabkan kompleks penyakit karena dapat berinteraksi dengan patogen lain seperti layu verticillium dan layu fusarium (Roughley dan Smith 2015). Keefektifan perlakuan yang diuji terhadap *Xiphinema* sp. juga sejalan dengan hasil penelitian Avato *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa kandungan glukosinolat (GSL) limbah tanaman Brassicaceae yang terhidrolisis menjadi ITS dapat mengendalikan *X. index* sebagai vektor virus *Grapevine fanleaf virus*. Selain itu, *Xiphinema* sp. juga diketahui dapat menjadi vektor virus *Tomato ringspot virus*, *Tobacco ringspot virus*, dan *Cherry rasp leaf virus* (Heve *et al.* 2015).

Criconemoides sp. dan *Helicotylenchus* sp. merupakan fitonematoda ektoparasit yang

bersifat kosmopolit, baik pada tanah yang ditanami maupun tidak. Kedua fitonematoda tersebut tidak terlalu menimbulkan kerusakan saat populasinya rendah, bahkan populasi *Helicotylenchus* sp. yang tinggi pun tidak menimbulkan kerusakan yang parah (Dana 2003). Kemungkinan *Helicotylenchus* sp. rentan terhadap limbah tanaman Brassicaceae yang diaplikasikan atau memang karena populasinya rendah pada tanah yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian oleh Lopez-Lima *et al.* (2014) menunjukkan adanya cendawan antagonis yang berhasil diisolasi dari *Criconemoides* sp. dan dapat menurunkan populasi *Criconemoides* sp. serta *Helicotylenchus* sp. masing-masing sebesar 40% dan 50%.

Tingkat mortalitas yang berbeda terhadap fitonematoda setelah pengaplikasian limbah tanaman Brassicaceae ditentukan oleh pelepasan senyawa ITS dari reaksi enzimatik senyawa GSL. Saat pengujian *in vitro*, senyawa GSL utuh yang belum terhidrolisis tidak menunjukkan aktivitas biosidal apa pun terhadap *M. incognita*. Jenis ITS yang berbeda juga memengaruhi efektivitasnya dalam menekan spesies nematoda tertentu. Diketahui bahwa *Allyl-ITS* dari sinigrin dan sintetik *acryoyl-ITS* sangat bersifat nematisidal dan efikasinya berkorelasi positif dengan konsentrasi yang diaplikasikan (Lazzeri *et al.* 2004; Avato *et al.* 2013).

Glukosinolat ditemukan pada vakuola sel tanaman. Bentuk dasar GSL mengandung sulfur yang umumnya menunjukkan aktivitas biosidal yang rendah dan akan menjadi toksik apabila sudah berinteraksi dengan enzim mirosinase untuk membentuk senyawa volatil ITS (konsentrasi tinggi), nitril, dan tiosianat (konsentrasi rendah). Situs aktif ITS akan bereaksi dengan *biological nucleophiles* nematoda target, terutama kelompok gugus tiol dan grup amina dari berbagai enzim yang menjadi alkali secara irreversibel. Selain itu, mekanisme oksidatif kerusakan DNA juga diinduksi oleh ITS (Dutta *et al.* 2019).

Struktur GSL dapat menunjukkan aktivitas biosidalnya. Glukosinolat yang memiliki rantai samping *alkyl* yang mengandung

sulfur (glukoerusin dan glukoiberin) atau grup *hydroxyfunctional* (epi-progoitrin dan progoitrin) menunjukkan sifat toksisitas tertinggi terhadap nematoda. Cara kerja kedua jenis GSL tersebut telah diduga pada penelitian Avato *et al.* (2013) untuk menjelaskan sifat biosidal GSL dan pembentukan ITS setelah proses hidrolisisnya.

Senyawa ITS dikarakterisasi oleh adanya gugus N=C=S dengan aktivitas biologinya yang termasuk *electrophilic central carbon* dan merupakan situs aktif yang berinteraksi dengan situs nukleofilik nematoda. Glukoerusin, glukoiberin, epi-progoitrin, progoitrin, dan asal ITS-nya mengandung tambahan pusat reaksi nukleofilik yang kemungkinan dapat menginduksi jenis interaksi biologi lainnya sehingga dapat menjadi jawaban atas tingginya efek nematisidal yang diberikan. Potensi biofumigan limbah tanaman Brassicaceae sangat bergantung pada kandungan GSL dan profil kimia yang dipengaruhi oleh spesies/genotipe tanaman, lingkungan, stadium fenologi, dan jaringan tanaman (Avato *et al.* 2013).

Berdasarkan penelitian secara *in vitro*, mortalitas nematoda diperkirakan secara signifikan terjadi selama paparan ITS yang berasal dari tanaman *Brassica*. Studi isolasi menunjukkan adanya potensi eksudat dari spesies *Brassica* yang dapat mereduksi ukuran *dorsal pharyngeal gland nucleus* pada NSK (*G. rostochiensis*) sehingga memengaruhi parasitasnya pada kentang. Kemudian, studi dengan penggunaan RT-PCR juga menunjukkan bahwa ekstrak daun *Brassica* dapat mereduksi viabilitas telur sista *G. pallida* secara signifikan. Studi yang telah dilakukan tersebut membuat munculnya indikasi bahwa efek dari biofumigan *Brassica* dapat menembus lapisan kutikula sista yang keras. Efek ovisidal dari *Brassica* juga ditunjukkan pada pengujian terhadap *M. incognita* (Dutta *et al.* 2019).

Efek biofumigan dari limbah tanaman Brassicaceae juga dapat menekan patogen tular tanah lainnya seperti cendawan, Oomycetes, bakteri, dan protozoa (Santos *et al.* 2021). Oleh karena itu, pengaplikasian limbah tanaman Brassicaceae sebagai biofumigan dapat

menekan patogen tular tanah secara simultan. Selain itu, limbah tanaman Brassicaceae juga dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman pertanian (Nur *et al.* 2016).

Perlakuan limbah tanaman Brassicaceae yang diuji pada penelitian ini dapat menurunkan populasi *Helicotylenchus* sp., *Rotylenchulus* sp., dan *Xiphinema* sp. secara signifikan. Limbah brokoli memberikan hasil terbaik dengan tingkat hambatan relatif tinggi pada tiap genus fitonematoda yang ditemukan. Selain itu, gulma kamanilan memiliki potensi sebagai alternatif biofumigan dari tanaman famili Brassicaceae sehingga penelitian lebih lanjut perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia sebagai pemberi dana dan juga kepada Laboratorium Nematologi Tumbuhan, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian IPB yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Atandi JG, Haukeland S, Kariuki GM, Coyne DL, Karanja EN, Musyoka MW, Fiaboe KKM, Bautze D, Adamtey N. 2017. Organic farming provides improved management of plant parasitic nematodes in maize and bean cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 247:265–272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.002>.
- Avato P, D'Addabbo T, Leonetti P, Argentieri MP. 2013. Nematicidal potential of *Brassicaceae*. *Phytochemistry Reviews*. 12:791–802. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9303-7>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Hortikultura 2021. Jakarta (ID): BPS-Statistics Indonesia.
- Crow WT, Dunn RA. 2019. Soil Organic Matter, Green Manures, and Cover Crops for

- Nematode Management. Florida (FL): The Institute of Food and Agriculture Science.
- Dana P. 2003. Effect of soil factors on parasitic nematodes of sugarcane in KwaZulu Natal, South Africa [disertasi]. Durban (RSA): School of life and Environmental Sciences University of Natal.
- Daulay NS. 2013. Sisa tanaman Cruciferae sebagai biofumigan untuk mengendalikan nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) [skripsi]. Bogor (ID): IPB University.
- Dutta TK, Khan MR, Phani V. 2019. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: current status and future prospects. *Current Plant Biology*. 17:17–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>.
- [EPPO] European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2013. PM 7/119 (1) nematode extraction. *EPPO Bulletin*. 43(3):471–495. DOI: <https://doi.org/10.1111/epp.12077>.
- Gimsing AL, Kirkegaard JA. 2006. Glucosinolate and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of *Brassica* biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(8):2255–2264. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.024>.
- Heve WK, Crow WT, Mengistu T. 2015. Dagger nematodes – *Xiphinema* spp. https://entnemdept.ufl.edu/creatures/nematode/dagger_nematode.htm. [diakses 3 Okt 2022]. DOI: <https://doi.org/10.32473/edis-in1097-2015>.
- Hu C, Qi Y. 2010. Effect of compost and chemical fertilizer on soil nematode community in a Chinese maize field. *European Journal of Soil Biology*. 46(3-4):230–236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.04.002>.
- Ibrahim AY, Kurniawati F. 2020. The efficacy of chitosan to control nematode *Aphelenchoides besseyi* Christie through seed treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 468:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012025>.
- Khotimah N, Wijaya IN, Sritamin M. 2020. Perkembangan populasi nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) dan tingkat kerusakan pada beberapa tanaman familia Solanaceae. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 9(1):23–31. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>.
- Lahlali R, Ezrari S, Radouane N, Kenfaoui J, Esmaeel Q, Hamss HE, Belabess Z, Barka EA. 2022. Biological control of plant pathogenes: a global perspective. *Microorganisms*. 10:1–33. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>.
- Lazzeri L, Leoni O, Manici LM. 2004. Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Industrial Crops and Products*. 20(1):59–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.018>.
- Li Q, Liang W, Zhang X, Mahamood M. 2017. *Soil Nematodes of Grasslands in Northern China*. London (UK): Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813274-6.00001-6>.
- Lopez-Lima D, Carrion G, Nunez-Sanchez AE. 2014. Isolation of fungi associated with *Criconeoides* sp. and their potential use in the biological control of ectoparasitic and semiendoparasitic nematodes in sugar cane. *Australian Journal of Crop Science*. 8(3):389–396. ISSN:1835-2707.
- Matute MM. 2013. Soil nematodes of *Brassica rapa*: influence of temperature and pH. *Advances in Natural Science*. 6(4):20–26.
- Mulyadi. 2009. *Nematologi Pertanian*. Yogyakarta (ID): UGM Press.
- Nur MJ, Supramana, Munif A. 2016. Keefektifan limbah tanaman Brassicaceae untuk pengendalian nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada mikroplot di lapangan. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 16(2):99–106. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.21699-106>.
- Polomares-Rius JE, Cantalapiedra-Navarrete C, Archidona-Yuste A, Tzortzakakis EA, Birmopilis IG, Vovlas N, Subbotin SA, Castillo P. 2017. Prevalence and molecular diversity of reniform nematodes of the genus *Rotylenchulus* (Nematoda: Rotylenchulinae) in the Mediterranean

- Basin. *Europe Journal of Plant Pathology*. 150:439–455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1292-8>.
- Poorniammal R, Prabhu S. 2022. Plant growth promoting activity and biocontrol potential of soil yeast. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 15(1):75–80. DOI: <https://doi.org/10.30954/0974-1712.01.2022.9>.
- Prihatin. 2019. Keefektifan biofumigasi limbah tanaman Brassicaceae untuk pengendalian nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada tanaman mentimun [tesis]. Bogor (ID): IPB University.
- Riga E. 2011. The effects of *Brassica* green manures on plant parasitic and free living nematodes used combination with reduced rates of synthetic nematicides. *Journal of Nematology*. 43(2):119–121.
- Rosya A. 2015. Keefektifan limbah *Brassica* sebagai biofumigan dalam pengendalian nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada tanaman tomat [tesis]. Bogor (ID): IPB University.
- Roughley N, Smith L. 2015. Integrated disease management for: Reniform nematode. www.cottoninfo.com.au/publications. [diakses 24 Sep 2022].
- Santos CA, Abboud ACS, Carmo MGF. 2021. Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. *Ciencia Rural*. 51(1):1–17. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2020040>.
- Sari DIP, Lisnawita, Oemry S, Safni I, Lubis K, Tantawi AR. 2018. Use of organic waste as biofumigant for controlling root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on potato. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 122:1–5. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012065>.
- Sarwar M, Kirkegaard JA. 2004. Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil*. 201(1):71–89. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004333230899>.
- Stirling GR. 2014. *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes*. Australia (AU): CABI. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781780644158.0280>.
- TariqJaveed M, Farooq T, Al-Hazmi AS, Hussain MD, Rehman AU. 2021 Role of *Trichoderma* as biocontrol agent (BCA) of phytoparasitic nematodes and plant growth inducer. *Journal of Invertebrate Pathology*. 183:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107626>.