

Komunitas Nematoda pada Lahan Pertanaman Wortel dan Hubungannya dengan Populasi Mikroba Tanah

Nematode Community in Carrot Cultivation Land and its Relationship with Soil Microbial Population

Sarmah¹, Rahayu Widyastuti², Supramana³

¹ Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No.12, Bogor 16114, Indonesia

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³ Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 14 Maret 2022

Disetujui: 15 Juli 2022

Dipublikasi online: 21 Juli 2022

Kata Kunci:

Kesehatan tanaman
Komunitas nematoda
Mikroba tanah
Wortel

Keywords:

Plant health
Nematode community
Soil microbes
Carrot

Direview oleh:

Surono, Jati Purwani

Abstrak. Nematoda merupakan hama pengurang hasil panen bagi sebagian besar tanaman agronomi termasuk wortel (*Daucus carota*). Informasi mengenai keanekaragaman dan kepadatan populasi nematoda pada lahan wortel dengan membedakan kondisi sehat dan sakitnya tanaman belum banyak dilaporkan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi komunitas nematoda tanah dan melihat korelasinya dengan populasi mikroba tanah. Contoh tanah diambil dari empat lahan pertanaman wortel yang di dalamnya terdapat tanaman sehat dan bergejala sakit. Ekstraksi nematoda tanah dilakukan dengan metoda floatasi-sentrifugasi dan populasi mikroba tanah dihitung dengan metode cawan hitung. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 30 genus nematoda pada lahan pertanaman wortel yang dikelompokkan ke dalam lima grup tropik yang didominasi oleh kelompok herbivora. Kelimpahan nematoda per grup tropik di setiap lokasi berbeda nyata ($P < 0,05$), namun tidak berbeda nyata antar kondisi kesehatan tanaman. Berdasarkan indeks keragaman Shannon-Wiener, keanekaragaman nematoda di empat lahan pertanaman wortel masuk dalam kategori sedang ($1 < H' < 3$). Populasi bakteri tanah di empat lokasi dan dua kondisi tanaman tidak berbeda nyata ($P > 0,05$). Populasi fungi tanah berbeda nyata ($P < 0,05$) antar lokasi namun tidak berbeda antar kondisi kesehatan tanaman. Komunitas nematoda dan populasi mikroba tanah pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh cara pengelolaan lahan, sehingga strategi pengelolaan lahan yang tepat perlu dilakukan untuk menekan dominasi nematoda herbivora dan meningkatkan populasi mikroba tanah. Komunitas nematoda tanah memiliki korelasi yang lemah terhadap populasi mikroba tanah (nilai korelasi $< 0,5$).

Abstract. Nematodes are yield-reducing pests for most agronomic crops including carrots (*Daucus carota*). Information on the diversity and density of nematodes in carrot fields by distinguishing between healthy and diseased plants has not been widely reported. This study aims to identify soil nematode communities and assess their correlation with soil microbial populations. Soil samples were taken from four carrot fields in which there were healthy and sick plants. Soil nematode extraction was carried out using the floatation-centrifugation method and the soil microbial population was observed using the plate-count method. The results showed that there were 30 genera of nematodes in carrot fields which were grouped into five trophic groups dominated by herbivores. The abundance of nematodes per trophic group at each location was significantly different ($P < 0.05$), but not significantly different between plant health conditions. Based on the Shannon-Wiener diversity index, the diversity of nematodes in the four carrot fields was in the moderate category ($1 < H' < 3$). Soil bacterial populations at four locations and two plant conditions were not significantly different ($P > 0.05$). The population of soil fungi was significantly different ($P < 0.05$) between locations but did not differ between plant health conditions. Nematode communities and soil microbial populations in this study are more influenced by land management, so that appropriate land management strategies need to be carried out to suppress the dominance of herbivorous nematodes and increase soil microbial populations. Soil nematode community had a weak correlation with soil microbial population (correlation value < 0.5).

Pendahuluan

Wortel (*Daucus carota* L.) merupakan salah satu tanaman sayuran utama yang dibudidayakan di seluruh

dunia. Selain bernilai ekonomi bagi petani, wortel juga merupakan salah satu sumber nutrisi penting yang bermanfaat bagi manusia (Parson *et al.* 2015). Produksi wortel dipengaruhi oleh berbagai macam hama dan

* Corresponding author: sarmah_gkj84@gmail.com

patogen, salah satunya adalah nematoda. *Meloidogyne*, *Rotylenchulus*, dan *Pratylenchus* adalah beberapa nematoda parasit penting pada tanaman wortel (Mirsam *et al.* 2015). Gejala penyakit yang ditimbulkan akibat serangan nematoda antara lain tanaman menjadi kerdil (*stunting*), daun kusam dan menguning (klorosis), layu, puru akar, luka akar, umbi bercabang, umbi retak, umbi berambut (*hairy root*), umbi pendek dan membulat (Grabau *et al.* 2017; Habteweld *et al.* 2020; Supramana dan Suastika 2012).

Berdasarkan jenis makanannya nematoda dikelompokkan ke dalam beberapa grup tropik, yaitu nematoda pemakan akar tumbuhan (*herbivore*), nematoda pemakan bakteri (*bacteriovore*), nematoda pemakan fungi (*fungivore*), nematoda pemakan segala (*omnivore*) dan nematoda predator (Yeates *et al.* 1993). Nematoda *herbivore* biasanya bersifat parasit bagi tanaman (*plant-parasitic nematodes*) dan merupakan hama pengurang hasil panen pada sebagian besar tanaman agronomi di seluruh dunia (Walker *et al.* 2002; van der Putten *et al.* 2006). Namun pada kerapatan yang rendah, nematoda *herbivore* dapat mendorong pertumbuhan tanaman inang. Hasil penelitian Bardgett *et al.* (1999) menunjukkan bahwa jumlah herbivora tanah yang rendah dapat meningkatkan transfer karbon tanaman dan nitrogen di tanah, yang mengarah pada peningkatan pertumbuhan akar dan daur ulang nutrisi tanah di padang rumput. Grup tropik selain *herbivore* merupakan nematoda yang hidup bebas (*free-living nematodes*). Kelompok ini memiliki peran sangat penting dalam ekologi tanah (Neher 2010).

Nematoda merupakan salah satu indikator penting dari kesehatan lingkungan. Semakin tinggi keragaman nematoda diharapkan akan semakin mengurangi dominasi nematoda yang merugikan dan meningkatkan peran nematoda yang menguntungkan (Sagita *et al.* 2014). Pengelolaan nematoda yang tepat dimulai dengan mengidentifikasi komunitas nematoda yang ada di lahan tertentu. Investigasi hubungan antara *plant-parasitic nematodes* (PPN) dan komunitas nematoda serta indeks jaring makanan dengan praktik di lahan berguna untuk mengembangkan strategi pengelolaan yang tepat. Strategi pengelolaan ini harus mencakup penekanan PPN dan peningkatan nematoda yang menguntungkan (Habteweld *et al.* 2020). Informasi mengenai keanekaragaman dan kepadatan populasi nematoda pada lahan wortel telah banyak dilaporkan (Habteweld *et al.* 2020; Oktafiyanto dan Ibrahim 2021; Mirsam *et al.* 2015; Grabau *et al.* 2017; Iqbal *et al.* 2018). Namun informasi tersebut tidak membedakan antara komunitas nematoda pada lahan wortel yang tanamannya sehat dan yang bergejala sakit.

Oleh karena itu, pada penelitian ini diamati bagaimana komunitas nematoda pada kedua tanah tersebut. Selain itu, populasi mikroba tanah (total bakteri dan fungi) juga diamati untuk melihat hubungannya dengan komunitas nematoda tanah. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi komunitas nematoda dan mikroba tanah dan mempelajari korelasinya dengan kesehatan atau sakitnya tanaman.

Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif. Survei dan *sampling* tanah dilakukan pada bulan September 2021 di lahan pertanaman wortel di Kabupaten Cianjur. Pengambilan contoh tanah dilakukan secara *purposive sampling* di lahan pertanaman wortel milik petani. Lahan yang dipilih adalah lahan pertanaman wortel dengan luas >500 m² yang di dalamnya terdapat tanaman yang sehat dan bergejala sakit. Contoh tanah diambil pada jarak 5 sampai 10 cm dari tanaman yang sehat dan yang bergejala sakit dengan menggunakan bor tanah berukuran 2,5 inci pada kedalaman 0 sampai 20 cm. Contoh tanah diambil dari lahan pertanaman wortel di Kecamatan Cipanas (lokasi 1 dan 2) dan Pacet (lokasi 3 dan 4). Sebanyak 10 contoh diambil dari setiap lokasi, lima contoh dari tanah yang tanamannya sehat dan lima contoh dari tanah yang tanamannya bergejala sakit. Contoh tanah untuk setiap ulangan diambil dari 5 sampai 10 titik *sampling*, kemudian dikompositkan dan diambil sebanyak 1 kg. Contoh tanah dibawa ke Laboratorium Biologi Tanah, Balai Penelitian Tanah Bogor untuk dianalisis. Suhu tanah diukur saat pengambilan contoh tanah dengan menggunakan termometer tanah. Analisis dan pengukuran pH tanah, kandungan C organik, dan tekstur tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Balai Penelitian Tanah Bogor mengikuti Sulaeman *et al.* (2005).

Analisis Populasi Bakteri dan Fungi

Media *soil extract agar* (SEA) digunakan untuk menghitung populasi bakteri dengan melarutkan 34,25 g SEA ke dalam 1 liter akuades. sedangkan media *potatto dextrose agar* (PDA) digunakan untuk menghitung populasi fungi dengan melarutkan 39 g PDA dan 0,025 g *rose bengal* ke dalam 1 liter akuades. Larutan diaduk sambil dipanaskan sampai semua bahan melarut. Selanjutnya media disterilkan dengan autoklaf pada tekanan 1 atm (121 °C) selama 15 menit. Media dituang ke dalam cawan petri steril setelah mencapai suhu 40 sampai 50 °C. Media PDA ditambah 0,1 g *Chloramphenicol* (antibiotik) sebelum dituang ke dalam cawan petri. Contoh tanah ditimbang seberat 10 g, kemudian dimasukkan ke

dalam botol pengencer yang berisi 90 ml larutan garam fisiologis steril (pengenceran 10^{-1}). Suspensi contoh tanah dari pengenceran 10^{-1} kemudian dibuat pengenceran 10^{-2} sampai 10^{-8} . Masing-masing pengenceran dipipet 0,1 ml dan dituang ke dalam cawan petri yang berisi media SEA (bakteri) dan PDA (fungi). Kemudian suspensi contoh tanah disebar pada permukaan media dengan menggunakan batang penyebar, selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 3 sampai 5 hari (sampai pertumbuhan optimal). Pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah koloni bakteri dan fungi yang tumbuh pada media.

Ekstraksi Nematoda dari Tanah

Ekstraksi nematoda dari contoh tanah dilakukan dengan metode flotasi sentrifugasi (van Bezooijen 2006). Sebanyak 100 g tanah ditambahkan 1 liter air, diaduk sampai homogen dan didiamkan selama 15 detik lalu supernatannya dituang ke dalam baskom dengan melewati saringan 35 dan 325 mesh. Endapan tanah ditambah dengan 1 liter air, diaduk sampai homogen, didiamkan 15 detik lalu supernatannya dituang ke dalam baskom yang sama dengan melewati saringan 35 dan 325 mesh. Supernatan dalam baskom disaring dengan saringan 500 mesh. Tanah yang tersisa pada saringan 325 dan 500 mesh dibilas dengan air dan ditampung ke dalam tabung sentrifus kemudian disentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 3 menit. Supernatan dalam tabung dibuang, endapan tanah dan nematoda ditambahkan dengan larutan gula (40%) sebanyak dua kali tinggi endapan, kemudian dikocok dan disentrifugasi kembali selama 2 menit dengan kecepatan 1500 rpm. Supernatan disaring dengan saringan 500 mesh, lalu dibilas dengan aquades dan ditampung ke dalam tabung sentrifus 50 ml.

Fiksasi dan Pembuatan Preparat Nematoda

Metode yang digunakan adalah metode Ryss (2017) yang dimodifikasi. Ekstrak nematoda dalam tabung sentrifus dikurangi volumenya menjadi 1,5 ml kemudian ditambahkan dengan larutan FA 4:1 (formalin 4%, asam asetat 1%) sebanyak 13,5 mL yang telah dipanaskan ($\pm 85^{\circ}\text{C}$) dan dimasukkan ke dalam *water bath* ($\pm 85^{\circ}\text{C}$) selama 1 jam. Tabung dikeluarkan dari *water bath* dan didiamkan pada suhu ruang selama ± 48 jam. Nematoda dalam tabung kemudian dicuci 3 kali dengan aquades untuk menghilangkan larutan FA. Pembuatan preparat dilakukan dengan memindahkan nematoda pada gelas objek yang telah ada cincin *beeswax-parafin*-nya dengan menggunakan mikropipet. Ekstrak nematoda dituang ke dalam kaca arloji, lalu melalui mikroskop stereo nematoda

dikumpulkan dengan pengait nematoda sebanyak 10 sampai 30 ekor lalu diambil dengan mikropipet dan dipindahkan ke dalam gelas objek tersebut. Kemudian gelas objek ditutup dengan kaca penutup, lalu dipanaskan sampai *beeswax-parafin* meleleh. Sisi-sisi kaca penutup dilapisi dengan kutex bening setelah *beeswax-parafin* kembali mengeras.

Pengamatan

Penghitungan populasi nematoda hasil ekstraksi dilakukan dengan mengurangi volume ekstrak nematoda menjadi 15 ml. Kemudian diambil 3 ml dan dituang ke dalam cawan petri bergaris (diameter 5 cm) untuk dihitung jumlah nematodanya di bawah mikroskop stereo dengan perbesaran 20 kali. Penghitungan dilakukan sampai seluruh ekstrak nematoda habis. Jumlah nematoda disajikan dalam 100 g tanah kering. Sementara pengamatan preparat nematoda untuk melihat ciri morfologinya dilakukan di bawah mikroskop ZEISS Axioscope 5 dengan perbesaran 400 sampai 1000 kali. Identifikasi nematoda sampai tingkat genus dilakukan dengan melihat bentuk bibir, stilet, esofagus, vulva, ekor, dan anulasi. Identifikasi mengacu pada panduan identifikasi nematoda Tarjan *et al.* (2014), Stirling *et al.* (2002), Mekete *et al.* (2012) dan beberapa literatur pendukung. Genus nematoda dikelompokkan berdasarkan kelompok makan dan nilai *colonizer-persister* (c-p) seperti yang dijelaskan oleh Yeates *et al.* (1993).

Kelompok makan dan nilai c-p digunakan untuk menghitung indeks komunitas nematoda antara lain *maturity index* (MI), *plant parasite index* (PPI), *enrichment index* (EI), dan *structure index* (SI). MI dan PPI digunakan untuk mengukur kualitas ekosistem. Nilai MI yang lebih rendah mengindikasikan ekosistem yang lebih terganggu. Sementara peningkatan nilai PPI mengindikasikan tingginya produktivitas lahan (terutama akar tumbuhan). PPI dihitung menggunakan formula yang sama dengan penghitungan MI tetapi mengabaikan nematoda *free-living*. EI menilai respons jaring makanan terhadap sumber daya yang tersedia dan SI mengukur kondisi struktur jaring makanan sebagai respon dari adanya stres/gangguan (Bongers 1990; Ferris *et al.* 2001).

Komunitas dan indeks ekologi nematoda dikarakterisasi dengan parameter berikut:

1. Kelimpahan nematoda per grup tropik: herbivora (Pp), bakteriovora (Ba), fungivora (Fu), omnivora (Om), dan predator (Pr)

2. Indeks keragaman Shannon-Wiener

$$H' = -\sum pi (\ln(pi))$$

Kriteria nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener:

$H' < 1$ = keanekaragaman rendah

$1 < H' < 3$ = keanekaragaman sedang

$H' > 3$ = keanekaragaman tinggi

3. *Maturity index* (nematoda *free-living*)

$$MI = \sum v_i f_i$$

4. *Plant parasite index*

$$PPI = \sum v_i f_i$$

5. *Enrichment index*

$$EI = \frac{e}{e+b} \times 100$$

6. *Structure index*

$$EI = \frac{s}{s+b} \times 100$$

Keterangan:

$p_i = n_i/N$

p_i = proporsi jenis i

n_i = jumlah individu jenis i

N = jumlah individu seluruh jenis

v_i = nilai c-p jenis i

f_i = frekuensi jenis i

$b = (Ba_2 + Fu_2)W_2$

$e = (Ba_1 \times W_1) + (Fu_2 \times W_2)$

$s = (Ba_i \times W_i) + (Fu_i \times W_i) + (Om_i \times W_i) + (Pr_i \times W_i)$

$i = 3 - 5$

$W_1 = 3,2; W_2 = 0,8; W_3 = 1,8; W_4 = 3,2; W_5 = 5,0$

Analisis Data

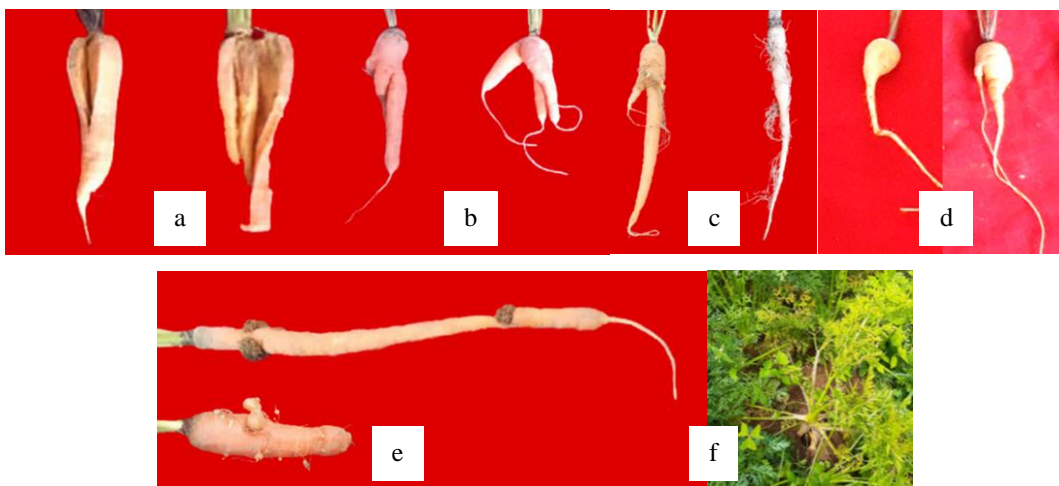
Penghitungan Data hasil pengamatan dianalisis dengan perangkat lunak Microsoft Excel 2019 dan R-Studio. Jika terdapat beda nyata pada taraf 5%, dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan Tukey's *Honestly Significance Difference* (THSD).

Hasil dan Pembahasan

Keadaan Umum

Lahan pertanaman wortel di lokasi penelitian dikelola secara intensif dengan penggunaan input yang tinggi, seperti pemberian pupuk dan pestisida sintesis. Budidaya wortel di keempat lokasi pengambilan contoh tanah umumnya dilakukan secara monokultur dengan sistem rotasi tanaman. Sebelum ditanami wortel, tanah digemburkan dengan cangkul. Tanaman wortel pada lokasi 1 tidak dipupuk dan tidak diberi insektisida dan fungisida. Sedangkan di lokasi 2, 3, dan 4 pemupukan dilakukan dua kali, yaitu pada awal tanam dan setelah tanaman wortel berumur dua bulan. Pupuk yang digunakan di lokasi 2 adalah pupuk kandang ayam, ZA, KCl, Phonska, dan Phonska Plus masing-masing sebanyak 2.500, 125, 188, 313, dan 63 kg ha⁻¹. Di lokasi 3 pupuk yang diberikan adalah pupuk kandang ayam, Urea, TSP, dan KCl masing-masing sebanyak 8.333, 556, 83, dan 83 kg ha⁻¹. Sedangkan di lokasi 4 pupuk yang diberikan adalah pupuk kandang ayam, NPK, dan TSP masing-masing sebanyak 5.385, 385, dan 385 kg ha⁻¹. Selain pemupukan, di ketiga lokasi tersebut juga dilakukan pemberian insektisida dan fungisida (Ridomil, Viktory, dan Amistar). Penjarangan tanaman dan pembersihan gulma dilakukan untuk pemeliharaan tanaman wortel. Namun di lokasi 3 tidak dilakukan penjarangan tanaman maupun pembersihan gulma. Umur tanaman wortel saat dilakukan pengambilan contoh tanah adalah tiga bulan.

Gejala sakit pada tanaman wortel yang ditemukan di empat lokasi yaitu umbi retak, umbi bercabang, umbi pendek dan membulat, umbi berbintil/puru, umbi berambut, kerdil dan klorosis (Gambar 1). Gejala sakit



Gambar 1 Gejala tanaman wortel sakit di empat lahan pertanaman wortel di Kabupaten Cianjur: (a) umbi retak/pecah, (b) umbi bercabang, (c) umbi berambut, (d) umbi pendek dan membulat, (e) umbi berbintil/puru, (f) klorosis

Figure 1 Symptoms of diseased carrot plants in four carrot fields in Cianjur Regency: (a) cracked tuber, (b) branched tuber, (c) hairy roots, (d) short and rounded tubers, (e) nodules/galls, (f) chlorosis

yang muncul pada tanaman wortel di lokasi 1 yaitu umbi retak, umbi bercabang, dan umbi berambut. Tanaman kerdil dan klorosis pada daun disertai umbi pendek dan membulat banyak dijumpai di lokasi 3 dan 4. Gejala umbi berbintil/puru akar muncul di lokasi 2, 3, dan 4. Gejala yang muncul tersebut merupakan ciri adanya infeksi nematoda puru akar yang merupakan genus *Meloidogyne* (Cunha *et al.* 2021).

Suhu tanah pada saat pengambilan contoh tanah berada pada kisaran 21 sampai 25°C. Kandungan C organik tanah di empat lokasi masuk dalam kriteria sedang dengan nilai berturut-turut 2,01; 2,43; 2,08; dan 2,72%. Di lokasi 1 dan 2, pH tanah netral (6,72 dan 7,11). Sementara tanah di lokasi 3 dan 4 memiliki pH tanah agak masam (6,06 dan 6,25). Tekstur tanah lempung (*loam*) terdapat di lokasi 1 (pasir 51,62%; debu 32,29%; liat 15,88%) dan lokasi 2 (pasir 46,72%; debu 32,54%; liat 20,74%). Sedangkan di lokasi 3 (pasir 76,35%; debu 8,65%; liat 15,00%) dan lokasi 4 (pasir 63,10%; debu 19,33%; liat 17,57%) tanahnya bertekstur lempung berpasir (*sandy loam*).

Populasi Mikroba Tanah

Berdasarkan hasil uji beda nyata, populasi bakteri tanah tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) baik antar lokasi maupun antar kondisi kesehatan tanaman (Tabel 1). Populasi fungi berbeda nyata ($P < 0,05$) antar lokasi, namun tidak berbeda nyata antara tanah dengan tanaman yang sehat dan sakit. Populasi fungi tertinggi dijumpai pada tanah pertanian wortel di lokasi 3 dengan kondisi tanaman sakit, yaitu sebanyak 4,633 log propagul g^{-1} . Populasi bakteri dan fungi tanah di lokasi penelitian

termasuk rendah. Hal ini dapat disebabkan tingginya input pupuk kimia yang mengandung nitrogen tanpa diimbangi dengan pemberian pupuk organik, sehingga kandungan C organik dan rasio C:N tanah rendah. Menurut Choudhary *et al.* (2018) populasi mikroba tanah (fungi dan bakteri) berkorelasi positif dengan kandungan C organik tanah. Sementara Thomson *et al.* (2015) menyatakan bahwa komunitas fungi tanah dipengaruhi oleh pH dan rasio C:N.

Komunitas Nematoda Tanah

Nematoda tanah yang teridentifikasi dari empat lokasi pertanian wortel terdiri atas 30 genus (Tabel 2). Genus nematoda kelompok pemakan akar tanaman (*herbivora*) paling banyak ditemukan dibandingkan genus dari grup tropik lainnya di semua lokasi. Kimenju *et al.* (2009) menyatakan populasi nematoda parasit tanaman (*herbivora*) dominasinya meningkat pada tanah pertanian yang dikelola secara intensif. Hal ini juga berkaitan dengan terjadinya perubahan sifat fisik dan kimia tanah akibat pengelolaan lahan, mulai dari pengemburan tanah, pemberian pupuk, dan penanganan hama dan penyakit tanaman.

Kelompok nematoda pemakan bakteri, fungi, akar tanaman, dan pemakan segala (*omnivora*) ditemukan di semua lokasi dan kondisi tanaman (Gambar 2). Sementara kelompok nematoda predator tidak ditemukan pada pertanian wortel sehat di lokasi 1 dan pada pertanian wortel sakit di lokasi 3. Berdasarkan hasil uji beda nyata, kelimpahan per grup tropik nematoda tanah pertanian wortel berbeda nyata antar lokasi ($P < 0,05$), namun tidak berbeda nyata antara tanah dengan tanaman wortel yang

Tabel 1. Populasi bakteri dan fungi tanah pada empat lahan pertanian wortel di Kecamatan Pacet (1 dan 2) dan Cipanas (3 dan 4), Kabupaten Cianjur

Table 1. Soil bacterial and fungal populations in four carrot fields in Pacet (1 and 2) and Cipanas (3 and 4) sub-districts, Cianjur Regency

Lokasi	Populasi Bakteri (log CFU g^{-1})*		p-value	Populasi Fungi (log propagul g^{-1})		p-value
	Sehat	Sakit		Sehat	Sakit	
Lokasi 1	6,416±0,47	6,489±0,43	0,805	4,587±0,25	4,430±0,33	0,419
Lokasi 2	6,516±0,22	6,365±0,20	0,288	4,094±0,15	4,100±0,17	0,951
Lokasi 3	6,964±0,56	6,651±0,18	0,266	4,454±0,15	4,633±0,16	0,110
Lokasi 4	6,971±0,96	6,285±0,20	0,155	4,333±0,24	4,305±0,26	0,862
p-value	0,360	0,209		0,010**	0,020**	

* CFU = *colony forming unit*, angka yang disajikan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n=5)

** berbeda nyata (p-value <0,05)

sehat maupun sakit ($P > 0,05$). Kelompok nematoda pemakan bakteri dan fungi tertinggi terdapat di lokasi 4 pertanaman wortel sehat dengan jumlah populasi berturut-turut 181,24 dan 149,44 ekor $100g^{-1}$. Populasi nematoda

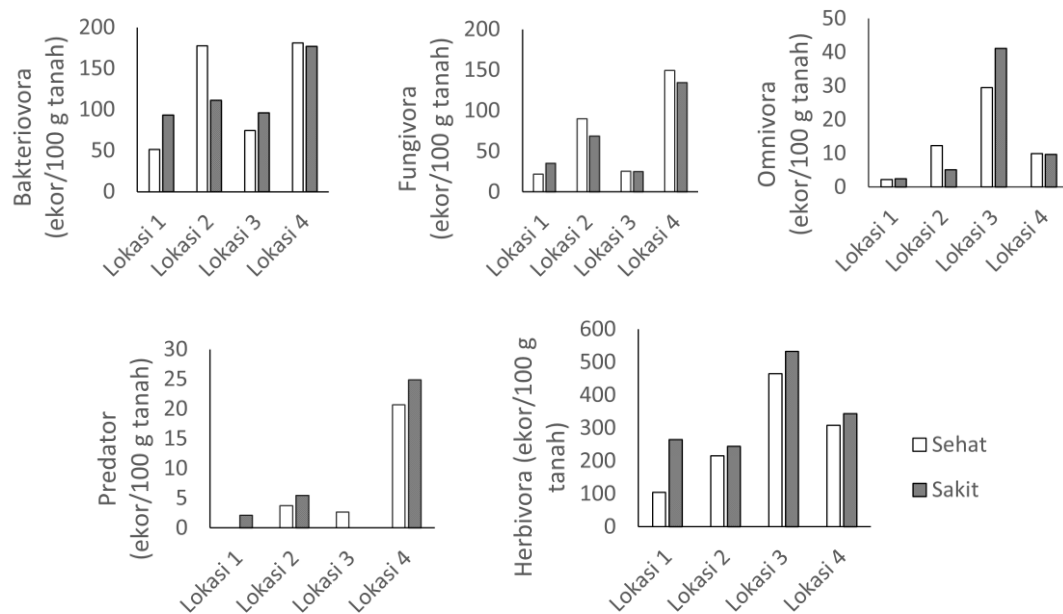
terendah terdapat di lokasi 1 pada pertanaman wortel sehat dengan jumlah berturut-turut 51,42 dan 21,7 ekor $100g^{-1}$. Nematoda pemakan bakteri didominasi oleh genus *Acrobeloides* yang dijumpai di semua lokasi pertanaman

Tabel 2. Populasi per genus nematoda tanah pada empat lahan pertanaman wortel di Kecamatan Pacet (1 dan 2) dan Cipanas (3 dan 4), Kabupaten Cianjur

Table 2. Populations per genus of soil nematodes on four carrot fields in Pacet (1 and 2) and Cipanas (3 and 4) sub-districts, Cianjur Regency

Genus	Grup Tropik*	Lokasi 1		Lokasi 2		Lokasi 3		Lokasi 4	
		Sehat	Sakit	Sehat	Sakit	Sehat	Sakit	Sehat	Sakit
..... (ekor $100g^{-1}$)									
<i>Acrobeles</i>	Ba2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	6,7	0,9	0,0
<i>Acrobeloides</i>	Ba2	18,1	35,2	71,4	39,7	38,1	43,2	80,1	91,4
<i>Cephaloboides</i>	Ba2	5,7	5,8	15,4	12,3	5,2	7,1	5,9	11,1
<i>Cephalobus</i>	Ba2	3,8	1,7	6,1	2,8	0,0	0,9	1,0	1,1
<i>Eucephalobus</i>	Ba2	10,4	18,9	51,8	28,1	12,5	21,5	30,5	31,4
<i>Prismatolaimus</i>	Ba3	0,4	0,0	3,1	1,0	0,9	0,9	0,8	2,2
<i>Rhabditidae</i>	Ba1	6,9	20,2	17,8	15,2	7,5	10,9	52,5	31,1
<i>Rhabditis</i>	Ba1	6,1	11,5	11,2	10,5	5,8	4,6	9,5	8,4
<i>Teratocephalus</i>	Ba3	0,0	0,0	0,8	1,9	0,7	0,0	0,0	0,0
<i>Aphelenchoides</i>	Fu/Pp2	3,8	2,1	4,3	2,0	6,2	18,8	19,5	20,2
<i>Aphelenchus</i>	Fu2	5,3	14,0	26,9	21,8	13,2	5,0	57,5	39,0
<i>Ditylenchus</i>	Fu/Pp2	3,2	8,4	17,7	9,4	0,9	0,0	33,1	19,8
<i>Filenchus</i>	Fu2	9,3	10,7	41,2	35,2	5,2	1,2	39,3	55,7
<i>Dorylaimus</i>	Om4	1,8	1,2	11,4	5,1	23,9	38,8	6,6	8,0
<i>Mesodorylaimus</i>	Om4	0,4	1,3	0,8	0,0	5,6	2,3	3,2	1,7
<i>Mononchus</i>	Pr4	0,0	1,5	3,7	3,0	0,0	0,0	5,6	5,0
<i>Mylonchulus</i>	Pr4	0,0	0,6	0,0	2,4	2,7	0,0	15,1	19,8
<i>Criconema</i>	Pp3	0,0	0,0	0,0	0,8	7,6	10,3	21,2	21,3
<i>Helicotylenchus</i>	Pp3	9,0	44,4	4,5	5,5	119,4	74,2	27,7	30,5
<i>Hemicycliophora</i>	Pp3	0,0	0,0	13,3	48,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Meloidogyne</i>	Pp3	7,8	16,8	84,8	78,2	90,9	107,4	16,9	18,4
<i>Paratylenchus</i>	Pp2	13,0	20,1	5,1	5,8	0,0	5,3	0,0	0,0
<i>Pratylenchus</i>	Pp2	4,0	14,3	0,8	5,9	181,5	220,4	176,0	218,2
<i>Radopholus</i>	Pp3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1	0,8	0,0
<i>Rotylenchulus</i>	Pp3	53,5	140,3	49,2	52,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Rotylenchus</i>	Pp3	1,5	5,5	0,8	1,6	12,3	2,3	0,0	1,1
<i>Trichodorus</i>	Pp4	0,8	2,0	17,1	17,3	21,3	30,1	8,4	8,2
<i>Tylenchulus</i>	Pp3	5,2	7,0	10,9	11,4	19,4	57,8	0,8	2,6
<i>Tylenchus</i>	Pp2	1,8	3,2	6,1	6,1	1,9	0,8	2,8	3,3
<i>Xiphinema</i>	Pp5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	2,4	0,0	0,0

*Ba = bakteriovora, Fu = fungivora, Om = omnivora, Pr = predator, Pp = herbivora (*plant-parasitic*), nomor setelah huruf menunjukkan nilai *colonizer-persister* (c-p) tiap genus



Gambar 2. Populasi nematoda tanah per grup tropik pada empat lahan pertanian wortel di Kecamatan Pacet (1 dan 2) dan Cipanas (3 dan 4), Kabupaten Cianjur

Figure 2. Soil nematode populations per tropic group on four carrot fields in Pacet (1 and 2) and Cipanas (3 and 4) sub-districts, Cianjur Regency

wortel baik pada tanaman yang sehat maupun yang bergejala sakit. Populasi *Acrobeloides* di lokasi 2 dan 4 lebih tinggi dibandingkan dengan di lokasi 1 dan 3. Rendahnya populasi *Acrobeloides* di lokasi 1 dan 3 berkaitan dengan kandungan C organik tanah pada lokasi tersebut. DuPont *et al.* (2009) menyatakan *Acrobeloides* merupakan nematoda pemakan bakteri yang dominan dalam sistem pertanian yang sangat terganggu dengan sedikit input bahan organik. Sedangkan nematoda pemakan fungi didominasi oleh genus *Aphelenchus* (lokasi 2 dan 4) dan *Filenchus* (lokasi 1 dan 3). Populasi *Ditylenchus* selalu lebih rendah dibandingkan dengan *Aphelenchus* di semua lokasi dan kondisi tanah. Hal ini disebabkan kehadiran *Aphelenchus* menghambat *Ditylenchus* melalui mekanisme persaingan makanan. Jika berada dalam lingkungan yang sama, *Aphelenchus* diketahui lebih atraktif terhadap fungi dibandingkan *Ditylenchus*, sehingga perkembangan *Aphelenchus* akan lebih tinggi dibandingkan dengan *Ditylenchus* (Haraguci dan Yoshiga 2020). Populasi *Filenchus* ditemukan lebih banyak di lokasi 2 dan 4 dengan kandungan C organik lebih tinggi (Zhang *et al.* 2015).

Nematoda omnivora tertinggi dijumpai pada tanah pertanian wortel sakit di lokasi 3 (41,16 ekor 100g⁻¹) dan terendah pada pertanian wortel sehat di lokasi 1 (2,18 ekor 100g⁻¹). Genus *Dorylaimus* mendominasi kelompok nematoda omnivora di lahan pertanian wortel

di empat lokasi. Nematoda predator tertinggi dijumpai pada pertanian wortel sakit di lokasi 4 (24,86 ekor 100 g⁻¹) dan terendah di lokasi 1 sehat dan 3 sakit (tidak ditemukan nematoda predator). *Mononchus* mendominasi kelompok nematoda predator di lokasi 1 dan 2, sedangkan di lokasi 3 dan 4 didominasi oleh *Mylonchulus*.

Nematoda pemakan akar tanaman tertinggi dijumpai pada pertanian wortel sakit di lokasi 3 (532,70 ekor 100g⁻¹) dan terendah di lokasi 1 pertanian wortel sehat (103,66 ekor 100g⁻¹). Hal ini dapat disebabkan kandungan pasir pada tanah di lokasi 3 lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya yaitu sebesar 76,35%. Yavuzaslanoglu *et al.* (2015) menyatakan populasi nematoda parasit tanaman berkorelasi positif dengan kandungan pasir tanah. Kelompok nematoda pemakan akar tanaman di lokasi 1 didominasi oleh genus *Rotylenchulus*, lokasi 2 oleh genus *Meloidogyne*, lokasi 3 dan 4 oleh genus *Pratylenchus*. Gejala sakit yang muncul pada umbi dan tanaman wortel di setiap lokasi merupakan gejala infeksi *Meloidogyne*, namun berdasarkan hasil pengamatan genus *Meloidogyne* hanya mendominasi di lokasi 2. Hal ini dapat disebabkan sifat *Meloidogyne* yang merupakan endoparasit menetap, yang berarti bahwa ketika sudah menginfeksi tanaman inang maka ia akan tinggal di dalam jaringan tanaman tersebut sehingga populasinya di dalam tanah menjadi rendah. *Rotylenchulus* merupakan patogen semi-endoparasit menetap, nematoda

betina akan menginfeksi akar tanaman dengan sepertiga bagian tubuh anterior masuk ke jaringan akar tanaman dan dua pertiga bagian posteriornya berada di luar akar. Sementara *Pratylenchus* termasuk endoparasit berpindah yang menyerang jaringan korteks akar serabut terutama korteks yang aktif menyerap unsur hara dan air. Perpindahannya dapat terjadi di dalam jaringan inang atau antara tanah (Mirsam *et al.* 2015).

Keragaman nematoda di keempat lokasi pengambilan contoh tanah termasuk dalam kategori sedang berdasarkan indeks Shannon-Weaver (Tabel 3). Yeates dan Bongers (1999) menyatakan keanekaragaman nematoda menurun dengan meningkatnya intensitas budidaya. Hal ini dikaitkan dengan adanya gangguan fisik, perubahan kuantitas dan kualitas bahan organik yang dikembalikan ke tanah dan peningkatan jumlah nematoda parasit tanaman. Keragaman nematoda di setiap lokasi dan kondisi tanah tidak berbeda nyata ($p > 0,05$).

Nilai MI (*Maturity index*) bervariasi dari 1 dalam kondisi setelah pemupukan berat hingga nilai sekitar 4 dalam kondisi tanah tidak terganggu (Bongers dan Bongers 1998). Pada penelitian ini nilai MI di semua lokasi kurang dari 2 yang berarti ekosistem tanah pada lahan pertanaman wortel di Kabupaten Cianjur termasuk dalam kategori terganggu. Nilai PPI (*plant parasite index*) yang tinggi mengindikasikan meningkatnya ketersediaan nutrisi di tanah dan kemungkinan berkaitan dengan pertumbuhan akar tanaman (Ugarte *et al.* 2013). Nilai MI dan PPI berbeda nyata antar lokasi ($P < 0,05$), namun tidak berbeda nyata antar kondisi tanaman. Nilai MI tertinggi terdapat di lokasi 4 dan terendah di lokasi 3, sedangkan nilai PPI adalah berkebalikan dengan MI. Data ini menunjukkan bahwa ekosistem tanah di lokasi 3 adalah yang paling terganggu berdasarkan tingkat keragaman nematodanya. Hal ini dapat disebabkan tingginya input

pupuk dan insektisida sintesis di lokasi 3 serta tidak dilakukannya pembersihan gulma pada lahan.

Bongers *et al.* (1997) menyatakan rasio PPI/MI dapat menjadi parameter yang berguna untuk memantau perubahan fungsi sistem pertanian dan habitat alami yang terpapar pengayaan N. Rasio PPI/MI di habitat alami tidak melebihi 0,9; pada kondisi ini tanaman tingkat tinggi memanfaatkan sumber daya nutrisi secara optimal. Pada rasio $\geq 1,6$; tanah dapat dianggap sangat kaya nutrisi dan pemanfaatan sumber daya tanaman tingkat tinggi (sementara) jauh dari optimal. Pada penelitian ini rasio PPI/MI berada di kisaran 1,31 sampai 4,31. Rasio PPI/MI tertinggi terdapat di lokasi 3 dan terendah di lokasi 4. Nilai ini sesuai dengan jumlah input nitrogen ke lahan pertanaman wortel di lokasi tersebut, input nitrogen dari pupuk anorganik di lokasi 3 adalah yang tertinggi (255,76 kg ha⁻¹) dan terendah di lokasi 4 (57,75 kg ha⁻¹). Pengayaan N menyebabkan pH tanah menurun yang berdampak pada turunnya populasi mikroba tanah dan secara tidak langsung menyebabkan turunnya populasi nematoda tanah yang hidup bebas karena sumber makanannya berkurang (Chen *et al.* 2015). Hal ini terlihat dari komunitas nematoda di lokasi 3 yang didominasi oleh kelompok herbivora. Sedangkan di lokasi 4 komunitas nematoda hidup bebas sebanding dengan nematoda herbivora.

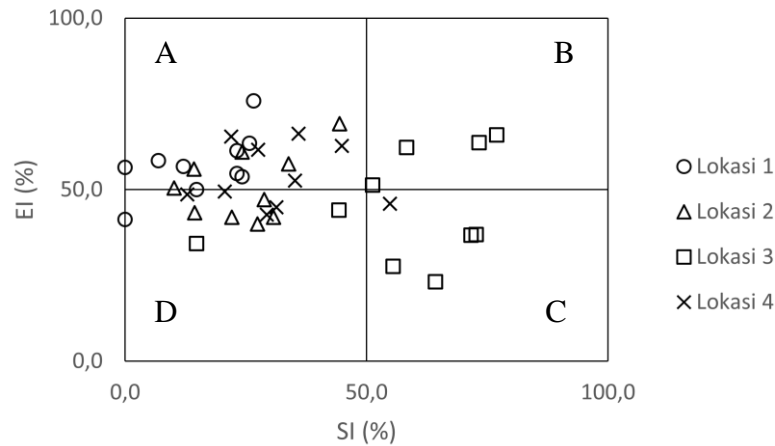
Kondisi jaring makanan di dalam tanah dapat dijelaskan dengan nilai EI (*Enrichment index*) dan SI (*Structure index*). Nilai EI menunjukkan respon jaring makanan terhadap ketersediaan sumber makanan sedangkan SI menunjukkan apakah tanah bersifat basal (terganggu) atau terstruktur/stabil (Ferris *et al.* 2001). EI dan SI biasa disajikan dalam bentuk diagram dengan empat kuadran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan diagram tersebut, profil nematoda tanah di

Tabel 3. Indeks komunitas nematoda pada empat lahan pertanaman wortel di Kecamatan Pacet (1 dan 2) dan Cipanas (3 dan 4), Kabupaten Cianjur

Table 3. The nematode community index in four carrot fields in Pacet (1 and 2) and Cipanas (3 and 4) sub-districts, Cianjur Regency

Lokasi	H'		MI		PPI	
	Sehat	Sakit	Sehat	Sakit	Sehat	Sakit
Lokasi 1	2,28±0,22	2,14±0,05	0,86±0,24	0,62±0,15	1,73±0,32	2,03±0,24
Lokasi 2	2,26±0,34	2,22±0,34	1,16±0,29	0,95±0,37	1,39±0,35	1,66±0,52
Lokasi 3	2,00±0,25	2,00±0,32	0,54±0,04	0,60±0,14	2,39±0,09	2,36±0,15
Lokasi 4	2,22±0,26	2,26±0,15	1,17±0,09	1,12±0,09	1,42±0,21	1,53±0,12

H' = indeks Shannon-Wiever, MI = maturity index, PPI = plant-parasitic index



Gambar 3. Nilai SI (*structure index*) dan EI (*enrichment index*) dalam diagram profil fauna tanah pada empat lahan pertanian wortel di Kecamatan Pacet (1 dan 2) dan Cipanas (3 dan 4), Kabupaten Cianjur

Figure 3. *SI (structure index) and EI (enrichment index) values in soil fauna profile diagrams in four carrot fields in Pacet (1 and 2) and Cipanas (3 and 4) sub-districts, Cianjur Regency*

lokasi 1 berada pada kuadran A yang berarti jaring makanan tanah dalam kondisi terganggu. Kondisi tanah di kuadran A juga menggambarkan bahwa tanah kaya akan N sehingga rasio C:N menjadi rendah dan jalur dekomposisi yang terjadi adalah jalur dekomposisi bakteri tanah (Ferris *et al.* 2001). Kondisi jaring makanan di lokasi 2 dan 4 adalah terganggu sampai rusak, sedangkan di lokasi 3 *maturing* sampai terstruktur. Jaringan makanan di lokasi 1 terganggu karena sumber makanan produsen atau produsen dalam jaring makanan tanah kurang beragam (hanya tanaman wortel dan rumput kecil). Kondisi ini berbeda dengan lokasi 3, sumber makanan lebih beragam karena selain wortel, lahan juga ditumbuhi beragam jenis gulma.

Indeks komunitas nematoda tanah pada penelitian ini dapat menunjukkan efek negatif dari pengolahan tanah pada keragaman nematoda dan kondisi jaring makanan tanah. Tingginya input pupuk dan pestisida sistematis tanpa diimbangi input bahan organik mengurangi keragaman nematoda dan populasi mikroba tanah. Pembiaran tumbuhnya gulma memang dapat menjaga jaring makanan tanah, namun populasi nematoda parasit menjadi meningkat dan produksi tanaman menjadi rendah. Oleh karena itu pengelolaan lahan yang tepat diperlukan untuk menjaga kualitas dan produktivitas lahan. Rekomendasi untuk pengelolaan tanah yang dipandu dengan indeks komunitas nematoda akan mendorong praktek-praktek yang dapat meningkatkan bahan organik tanah, mengurangi frekuensi budidaya, dan melestarikan struktur jaring makanan tanah (Ugarte *et al.* 2013). Praktek tersebut diantaranya dengan menerapkan sistem rotasi

tanaman, penanaman penutup tanah, pengelolaan sisa tanaman, amandemen organik dan pengolahan tanah. Dengan cara tersebut sifat fisik, kimia dan biologi tanah dapat ditingkatkan sehingga mempengaruhi kapasitasnya untuk menekan hama dan patogen tular tanah termasuk nematoda. Penambahan bahan organik dengan rasio C:N rendah dapat mengendalikan nematoda parasit tanaman melalui mekanisme pelepasan senyawa nematisida seperti amonia selama proses dekomposisi. Bahan organik yang digunakan harus memiliki kandungan N > 2% dengan dosis aplikasi > 10 t ha⁻¹ (Stirling 2011). Rendahnya input bahan organik di semua lokasi menyebabkan tingginya populasi nematoda pemakan akar tanaman.

Komunitas Nematoda vs Populasi Mikroba Tanah

Pada penelitian ini, komunitas nematoda memiliki korelasi yang sangat lemah terhadap populasi bakteri dan fungi dengan nilai korelasi <0,5 (Tabel 4). Rendahnya nilai korelasi tersebut dapat disebabkan mikroba yang tumbuh dalam cawan hitung (jumlah yang terhitung) bukan jenis yang disukai genus nematoda pemakan bakteri dan fungi dalam tanah tersebut. Ladygina *et al.* (2009) menyatakan nematoda pemakan bakteri tidak memakan semua jenis bakteri, tetapi mereka selektif dalam memilih makannya. Pilihan makan nematoda pemakan bakteri sangat kuat dipengaruhi oleh kadar air, laju pertumbuhan, dan konsentrasi metabolit sel bakteri (Liu *et al.* 2017). Meski demikian, dari data tersebut terlihat bahwa populasi nematoda pemakan bakteri berkorelasi negatif dengan populasi bakteri tanah yang merupakan makanannya. Begitu juga dengan populasi nematoda pemakan fungi yang berkorelasi negatif dengan populasi makanannya

(fungi). Berdasarkan data tersebut juga terlihat populasi nematoda parasit (herbivora) berkorelasi positif dengan populasi mikroba tanah (bakteri dan fungi). Handayanto dan Hairiyah (2007) menyatakan bahwa aktivitas herbivora dapat memicu pertumbuhan akar dan secara tidak langsung dapat mendorong berkembangnya bakteri dan fungi di sekitar perakaran tanaman, baik yang patogen maupun tidak bagi tanaman tersebut.

Tabel 4. Nilai korelasi antara komunitas nematoda dan populasi mikroba tanah pada lahan pertanian wortel di Kabupaten Cianjur

Table 4. Correlation value between nematode community and soil microbial population in carrot fields in Cianjur Regency

Parameter	Populasi Bakteri	Populasi Fungi
Populasi Nematoda	0,201	-0,134
Populasi Bakteri	1	0,232
Populasi Fungi	0,232	1
Bakteriovora	-0,017	-0,273
Fungivora	0,086	-0,308
Omnivora	0,143	0,153
Predator	-0,100	-0,215
Herbivora (<i>plant-parasite</i>)	0,251	0,133

Kesimpulan

Genus nematoda tanah yang teridentifikasi pada penelitian ini sebanyak 30 genus. Lima genus dengan jumlah populasi terbanyak berturut-turut adalah *Pratylenchus*, *Meloidogyne*, *Acrobeloides*, *Helicotylenchus*, dan *Rotylenchulus*. Populasi nematoda per grup tropik berbeda nyata antar lokasi, namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan di antara tanah dengan tanaman wortel yang sehat maupun sakit. Populasi bakteri tanah tidak berbeda nyata baik antar lokasi maupun antar kondisi kesehatan tanaman yang berbeda. Populasi fungi tanah berbeda nyata antar lokasi. Populasi komunitas nematoda dan mikroba tanah lebih dipengaruhi oleh cara pengelolaan lahan dibandingkan dengan kondisi kesehatan tanaman. Komunitas nematoda tanah memiliki korelasi yang sangat lemah terhadap populasi bakteri dan fungi tanah. Populasi nematoda pemakan bakteri dan fungi berkorelasi negatif dengan populasi bakteri dan fungi tanah. Penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengetahui komunitas nematoda tanah pada dua kondisi tanaman (sehat dan sakit) pada habitat yang stabil (tanaman tahunan) dan cara budidaya tanaman yang berbeda (organik dan konvensional).

Daftar Pustaka

- Bardgett RD, Denton CS, Cook R. 1999. Below-ground herbivory promotes soil nutrient transfer and root growth in grassland. *Ecology Letters*. 2(6):357–360. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.1999.00001.x>
- Bongers T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14–19.
- Bongers T, Bongers M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*. 10:239–251.
- Bongers T, van der Meulen H, Korthals G. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*. 6(2):195–199. doi:10.1016/s0929-1393(96)00136-9.
- Chen D, Lan Z, Hu S, Bai Y. 2015. Effects of nitrogen enrichment on belowground communities in grassland: Relative role of soil nitrogen availability vs. soil acidification. *Soil Biology and Biochemistry*. 89:99–108. doi:10.1016/j.soilbio.2015.06.028.
- Choudhary M, Datta A, Jat HS, Yadav A K, Gathala MK, Sapkota TB, Das AK, Sharma PC, Jat ML, Singh R, et al. 2018. Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. *Geoderma*. 313:193–204. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.041>. (12 Maret 2022).
- Cunha TG, Visôto LE, Pinheiro LM, God PIVG, Rosa JMO, Oliveira CMG, Lopes EA. 2021. Distribution of *Meloidogyne* species in carrot in Brazil. *Ciência Rural*. 51(5):1–8. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200552>. (26 Februari 2022).
- DuPont ST, Ferris H, van Horn M. 2009. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology*. 41(2):157–167. doi:10.1016/j.apsoil.2008.10.004.
- Ferris H, Bongers T, de Goede RGM. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*. 18:13–29.
- Grabau, ZJ, Maung ZTZ, Noyes C, Baas DG, Werling BP, Brainard DC, Melakeberhan H. 2017. Effects of cover crops on *Pratylenchus penetrans* and the nematode community in carrot production. *Journal of Nematology* 49:114–123.
- Habteweld A, Brainard D, Kravchenko A, Grewal PS, Melakeberhan H. 2020. Characterizing nematode communities in carrot fields and their bioindicator role

- for soil health. *Nematropica*. 50:200–210.
- Handayanto E, Hairiyah K. 2007. *Biologi Tanah: Landasan pengelolaan tanah sehat*. Malang: Pustaka Adipura.
- Haraguci S, Yoshiga T. 2020. Potential of the fungal feeding nematode *Aphelenchus avenae* to control fungi and the plant parasitic nematode *Ditylenchus destructor* associated with garlic. *Biological control*. 143:1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104203>. (10 September 2021).
- Iqbal M, Dubey M, McEwan K, Menzel U, Franko MA, Viketoft M, Jensen F, Karlsson M. 2018. Evaluation of *Clonostachys rosea* for control of plant-parasitic nematodes in soil and in roots of carrot and wheat. *Phytopathology*. 108:52–59.
<https://doi.org/10.1094/PHTO-03-17-0091-R>. (24 September 2021).
- Kimenju JW, Karanja NK, Mutua GK, Rimberia BM, Wachira PM. 2009. Nematode community structure as influenced by land use and intensity of cultivation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 11(2):353–360.
- Ladygina N, Johansson T, Canback B, Tunlid A, Hedlund K. 2009. Diversity of bacteria associated with grassland soil nematodes of different feeding groups. *FEMS Microbiol Ecol*. 69:53–61.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00687.x>. (10 September 2021).
- Liu T, Yu L, Xu J, Yan X, Li H, Whalen JK, Hu F. 2017. Bacterial traits and quality contribute to the diet choice and survival of bacterial-feeding nematodes. *Soil Biology & Biochemistry*. 115:467–474.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.014>. (10 September 2021).
- Mekete T, Dababat A, Sekora N, Akyazi F, Abebe E. (comps). 2012. Identification key for agriculturally important plant-parasitic nematodes Prepared for the International Nematode Diagnosis and Identification Course 2012 – A manual for nematology. Mexico, DF: CIMMYT.
- Mirsam H, Supramana, Suastika G. 2015. Identifikasi nematoda parasit pada tanaman wortel di Dataran Tinggi Malino, Sulawesi Selatan berdasarkan pada ciri morfologi dan morfometrik. *J Fitopatol Indones*. 11(3):85–90.
- Neher DA. 2010. Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soils. *Annu. Rev. Phytopathol*. 48:371–394.
<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114439>. (10 Desember 2018).
- Oktafiyanto MF, Ibrahim R. 2021. Keragaman dan kelimpahan nematoda secara horizontal dan vertikal pada beberapa tanaman sayur di Kabupaten Cianjur. *Jurnal Agrowiralodra*. 4(1):9–15.
- Parson J, Matthews W, Iorizzo M, Roberts P, Simon P. 2015. *Meloidogyne incognita* nematode resistance QTL in carrot. *Mol Breeding*. 35:114.
[doi:10.1007/s11032-015-0309-2](https://doi.org/10.1007/s11032-015-0309-2).
- Ryss AY. 2017. A Simple express technique to process nematodes for collection slide mounts. *Journal of Nematology*. 49(1):27–32.
- Sagita L, Siswanto B, Hairiah K. 2014. Studi keragaman dan kepadatan nematoda pada berbagai sistem penggunaan lahan di Sub Das Konto. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 1(1):51–60.
- Stirling G, Nicol J, Reay F. 2002. Advisory services for nematode pests. Operational guidelines. Kingstone: RIRDC.
- Stirling GR. 2011. Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: An Ecological Perspective, a Review of Progress and Opportunities for Further Research. p. 1–38. *Di dalam*: Davies K, Spiegel Y, editor. *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Building Coherence between Microbial Ecology and Molecular Mechanisms*, Progress in Biological Control 11. New York: Springer Science+Business Media B.V. DOI 10.1007/978-1-4020-9648-8_1
- Sulaeman, Suparto, Eviati. 2005. Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah
- Supramana, Suastika G. 2012. Spesies nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) yang berasosiasi dengan penyakit umbi bercabang pada wortel: penyakit baru di Indonesia. *JIPi*. 17(2):108–112.
- Tarjan A, Esser R, Chang S. 2014. Interactive Diagnostic Key to Plant Parasitic, Freelifing, and Predaceous Nematodes. University of Nebraska Lincoln Nematology Laboratory.
<http://nematode.unl.edu/key/nemakey.htm>.
- Ugarte CM, Zaborski ER, Wander MM. 2013. Nematode indicators as integrative measures of soil condition in organic cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*. 64:103–113.
[doi:10.1016/j.soilbio.2013.03.035](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.035)
- van Bezooijen J. 2006. *Methods and Techniques for Nematology*. Nederlands: Wageningen University. 112 pp.
- van der Putten WH, Cook R, Costa S, Davies KG, Fargette M, Freitas H, Hol WHG, Kerry BR, Maher N, Mateille T, *et al.* 2006. Nematode Interactions in Nature:

Models dor Sustainable Control of Nematode Pests of Crop Plants?. *Advances in Agronomy*. 89:227–260. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)89005-4

Walker NR, Goad CL, Zhang H, Martin DL. 2002. Factors associated with populations of plant-parasitic nematodes in bengrass putting greens in Oklahoma. *Plant Dis*. 86(7):764–768

Yavuzaslanoglu E, Dikici A, Elekcioğlu IH, Aydogdu M. 2015. Distribution of nematodes on onion and their relationship with soil physicochemical characteristics in Karaman province, Turkey. *Türk. entomol. derg.* 39(3):251–259. doi: <http://dx.doi.org/10.16970/ted.48085>. (20 Agustus 2019).

Yeates GW, Bongers T. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 74:113–135.

Yeates GW, Bongers T, de Goede RG, Freckman DW, Georgieva SS. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera – An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*. 25(3):315–331.

Zhang Z-y, Zhang X-k, Jhao J-s, Zhang X-p, Liang W-j. 2015. Tillage and rotation effects on community composition and metabolic footprints of soil nematodes in a black soil. *European Journal of Soil Biology*. 66:40–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.11.006>. (14 Maret 2022).