

Keefektifan Tumbuhan *Rorippa indica* sebagai Biofumigan untuk Pengendalian Nematoda Puru Akar pada Tanaman Mentimun

Effectiveness of *Rorippa indica* as a Biofumigant for Controlling Root Knot Nematodes on Cucumber Plants

Muhammad Willy Bramasta, Supramana*, Abdul Munif
Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680

(diterima Juli 2024, disetujui November 2025)

ABSTRAK

Meloidogyne spp. merupakan nematoda parasit penting pada berbagai tanaman yang menyebabkan gejala penyakit seperti puru akar, kerdil, daun menguning, dan tanaman menjadi layu. Nematisida botani memiliki potensi menjanjikan sebagai metode pengendalian nematoda. Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi *Rorippa indica* sebagai biofumigan dalam mengendalikan nematoda puru akar (*Meloidogyne incognita*). Percobaan biofumigasi dilakukan melalui 2 tahapan, yaitu percobaan laboratorium dan rumah kaca dengan masa inkubasi selama 14 hari untuk proses biofumigasi. Percobaan di laboratorium menggunakan polibag berisi 100 g tanah yang diinfestasi 100 juvenil 2 (J2) *M. incognita* sebelum perlakuan biofumigasi. Potongan batang, daun, dan seluruh bagian tumbuhan *R. indica* dicampurkan pada polibag dengan bobot bahan 1.3, 2.3, dan 3.9 g sebagai perlakuan. Percobaan di rumah kaca dilakukan dengan menambahkan potongan *R. indica* dengan bobot bahan 150 g per polibag yang berisi 3 kg tanah dan telah diinfestasi 300 J2 *M. incognita*. Tanaman mentimun berumur 7 hari setelah semai dipindahkan ke dalam polibag yang telah dibiofumigasi dan diamati selama 6 minggu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biofumigasi menggunakan *R. indica* dalam skala laboratorium terbukti efektif mengurangi populasi nematoda sebesar 87%, sedangkan pada skala rumah kaca menyebabkan perbedaan pembentukan puru yang signifikan dibandingkan perlakuan kontrol. Hal ini berkaitan dengan hasil analisis GC-MS yang menunjukkan kandungan terpenoid pada ekstrak *R. indica*. Perlakuan *R. indica* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman mentimun dibandingkan kontrol.

Kata kunci: juvenil, *Meloidogyne incognita*, nematisida, terpenoid

ABSTRACT

Meloidogyne spp. are important plant parasitic nematodes, causing disease symptoms such as root knot, stunting, yellowing of leaves, and wilting. Botanical nematicides have potential as a method for nematode control. This study aimed to determine the potential of *Rorippa indica* as a biofumigant in controlling root knot nematodes (*Meloidogyne incognita*). The biofumigation experiment was conducted in two stages, i.e. a laboratory experiment and a greenhouse experiment with a 14-day incubation period to initiate the biofumigation process. The laboratory experiment used polybags containing 100 g of soil infested with 100 juvenile 2 (J2) *M. incognita* before the biofumigation treatment. Stem fragments, leaves, and all plant parts of *R. indica* were mixed into the polybags at weights of 1.3, 2.3, and 3.9 g,

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Jawa Barat, Indonesia, 16680.
Phone: +62 251 8629364, Fax: +62 251 8629364, Surel: supramana@apps.ipb.ac.id.

respectively, as treatments. A greenhouse experiment was conducted by adding 150 g of *R. indica* cuttings per polybag containing 3 kg of soil infested with 300 J2 of *M. incognita*. Cucumber plants, 7 days after sowing, were transferred into biofumigated polybags and observed for 6 weeks. The results showed that biofumigation using *R. indica* on a laboratory scale was effective in reducing nematode populations by 87%. Meanwhile, at the greenhouse scale, it caused a significant difference in gall formation compared to the control treatment. This is related to the results of the GC-MS analysis which showed terpenoid content in the *R. indica* extract. The *R. indica* treatment significantly increased cucumber plant growth compared to the control.

Keywords: juvenile, *Meloidogyne incognita*, nematicides, terpenoid

PENDAHULUAN

Nematoda puru akar, *Meloidogyne incognita* dikenal sebagai parasit tumbuhan yang menyerang berbagai jenis tanaman di seluruh dunia. Genus *Meloidogyne* terdiri atas lebih dari 100 spesies dengan empat spesies utama yang paling banyak merugikan tanaman, yaitu *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*, dan *M. hapla* (Carrillo-Fasio *et al.* 2020). Infeksi *M. incognita* menyebabkan kerusakan pada sistem perakaran sehingga mengganggu penyerapan air dan nutrisi serta meningkatkan kerentanan tanaman terhadap patogen sekunder (Wendimu 2021). Kehilangan hasil yang disebabkan oleh nematoda diperkirakan mencapai 8.8%–14.6% dari total produksi tanaman, yang mengakibatkan kerugian ekonomi diprediksi mencapai 157 miliar USD di seluruh dunia (Sikandar *et al.* 2020), sedangkan kerugian yang disebabkan oleh *M. incognita* mencapai 100 Miliar USD per tahun (Subedi *et al.* 2020).

Pengendalian nematoda puru akar yang umum dilakukan di antaranya ialah rotasi tanaman, sanitasi, dan nematisida sintetis (Dahlin 2019). Pengendalian menggunakan nematisida sintetis yang tidak tepat dapat memberikan efek negatif terhadap lingkungan dan juga dapat menyebabkan residu terhadap produk pertanian sehingga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia (He *et al.* 2020). Beberapa nematisida sudah dilarang beredar dan dibatasi penggunaannya. Dengan demikian, diperlukan pengembangan strategi pengendalian yang ramah lingkungan untuk menggantikan penggunaan nematisida kimia sintetis tetapi dapat menekan perkembangan nematoda puru akar (Touray *et al.* 2021).

Salah satu alternatif pengendalian ialah dengan memanfaatkan tanaman dari famili *Brassicaceae* sebagai bahan nematisida nabati. Pemanfaatan limbah *Brassicaceae* efektif dalam mengurangi populasi fitonematoda dan telah terbukti memiliki kandungan senyawa glukosinolat yang dapat terhidrolisis menjadi senyawa volatil isotiosianat yang mampu menekan perkembangan patogen tular tanah (Dutta 2019). Ibrahim *et al.* (2022) menyatakan bahwa senyawa glukosinolat yang banyak terkandung pada limbah Brassica terdapat pada daun brokoli dengan konsentrasi $185.2 \mu\text{mol g}^{-1}$ serta gulma tumbuhan *R. indica* dengan konsentrasi $147.9 \mu\text{mol g}^{-1}$ yang termasuk dalam kategori tinggi. Tumbuhan *R. indica* (Gambar 1) merupakan gulma, akan tetapi tumbuhan ini sudah mulai dimanfaatkan sebagai fitoremediasi, tanaman obat, pakan ternak dan sebagai tanaman refugia (Chotimah *et al.*



Gambar 1 Morfologi tumbuhan *Rorippa indica*. (Figure 1 Morphology of the *Rorippa indica* plant).

2013). Penelitian ini bertujuan mengetahui keefektifan *R. indica* sebagai biofumigan untuk mengendalikan nematoda puru akar (*M. incognita*).

BAHAN DAN METODE

Identifikasi dan Perbanyakan *Meloidogyne incognita*

Sampel nematoda diambil dari tanaman tomat yang bergejala puru akar. Sebelum perbanyakan, dilakukan identifikasi *M. incognita* melalui pengamatan morfologi menggunakan mikroskop stereoskopi mengikuti Eisenback *et al.* (1981), yaitu dengan mengamati pola perineal pada nematoda betina dewasa. Nematoda dari akar tanaman tomat diekstrak menggunakan teknik *mist chamber* (pengabutan). Akar dibersihkan dari tanah, dipotong sekitar 1 cm, dan ditimbang sebanyak 10 g. Potongan akar dimasukkan ke dalam saringan kasar di atas corong dengan gelas plastik di bawahnya untuk menampung hasil ekstraksi. Proses pengabutan berlangsung selama 3 hari. Hasil ekstraksi disaring menggunakan saringan 400 mesh pada sudut kemiringan 30°. Nematoda yang telah disaring dipindahkan ke dalam botol suspensi nematoda dan dilakukan infestasi ke tanaman tomat, kemudian dibongkar untuk mendapatkan nematoda sebagai sumber inokulum (Hutagalung 1988).

Pengujian Laboratorium Biofumigan Tumbuhan *Rorippa indica* terhadap Mortalitas *Meloidogyne incognita*

Penelitian biofumigasi dilakukan menggunakan seluruh bagian tumbuhan *R. indica* dari fase pertumbuhan vegetatif dan generatif (Tabel 1). Bobot bahan tumbuhan yang digunakan sebagai perlakuan ialah 1.3; 2.3; dan 3.9 g per polibag dengan mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dimodifikasi. Tanaman *R. indica* dicacah dengan ukuran ± 1 cm dan dicampurkan dengan tanah dalam polibag yang telah diisi tanah steril dan diinkubasi dalam kondisi tertutup. Perlakuan perbandingan pada penelitian ini terdiri atas penggunaan daun brokoli yang diketahui memiliki kandungan glukosinolat yang tinggi

(Ibrahim *et al.* 2022), nematisida berbahan aktif fluopiram (Velum Prime, Indonesia) sebagai kontrol positif; sedangkan kontrol negatif ialah tanpa perlakuan biofumigan (Tabel 1). Percobaan ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 8 perlakuan diulang sebanyak lima kali dengan 3 unit.

Percobaan dilakukan dalam polibag berukuran 7×15 cm yang diisi tanah sebanyak 100 mL (± 78 g) kemudian diinfestasi dengan *M. incognita* juvenil 2 (J2) sebanyak ± 100 ekor per polibag disertai penambahan air sebanyak 10 mL. Polibag ditutup rapat dan diinkubasi selama 14 hari. Di akhir percobaan, tanah diekstrak menggunakan metode sentrifugasi untuk mendapatkan populasi akhir nematoda J2. Populasi nematoda yang berhasil diekstrak dihitung untuk mendapatkan persentase mortalitas berdasarkan ciri morfologi dan fisiologis dari nematoda tersebut.

Pengujian Rumah Kaca Biofumigan Tumbuhan *Rorippa indica* terhadap Pertumbuhan Tanaman Mentimun

Pengujian biofumigan merujuk pada metode Ibrahim *et al.* (2022) yang dimodifikasi. Tanah steril seberat 3 kg dimasukkan ke dalam polibag dan diinfestasi sekitar ± 300 ekor nematoda *M. incognita* J2. Tanah yang telah terinfestasi nematoda kemudian diberi perlakuan biofumigan seperti diuraikan sebelumnya menggunakan seluruh bagian tumbuhan *R. indica* campuran fase vegetatif dan generatif dengan bobot bahan 150 g. Inkubasi dilakukan selama 14 hari dalam kondisi tertutup. Setelah masa inkubasi berakhir, polibag dibuka selama 3 hari kemudian dilakukan penanaman bibit mentimun varietas Kitoh yang berumur 1 minggu. Percobaan ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan perlakuan terdiri atas STR-C, DB, NM dan KN (Tabel 1). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak lima kali dengan 3 unit percobaan per ulangan. Keefektifan perlakuan biofumigasi dihitung berdasarkan jumlah puru yang terbentuk dan juga pengamatan agronomis dilakukan setiap minggu selama enam minggu dengan mengukur tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, bobot basah akar, bobot basah tajuk,

Tabel 1 Perlakuan biofumigan asal tanaman *Rorippa indica* dan perlakuan pembanding
(Table 1 Treatments of biofumigant from *Rorippa indica* plants and comparison treatments)

No.	Kode perlakuan (Treatment code)	Bagian tanaman (Plant part)	Fase pertumbuhan tanaman (Plant growth stage)
Biofumigan asal <i>R. indica</i> (Biofumigant from <i>R. indica</i>)			
1.	DR	Daun (Leaf)	Campuran fase vegetatif dan generatif (1:1 b/b) (Mixed vegetative and generative phases (1:1 w/w))
2.	BR	Batang (Stem)	Campuran fase vegetatif dan generatif (1:1 b/b) (Mixed vegetative and generative phases (1:1 w/w))
3.	STR-C	Seluruh bagian tumbuhan (Whole plant)	Campuran fase vegetatif dan generatif (1:1 b/b) (Mixed vegetative and generative phases (1:1 w/w))
4.	STR-V	Seluruh bagian tumbuhan (Whole plant)	Fase vegetatif (Vegetative phase)
5.	STR-G	Seluruh bagian tumbuhan (Whole plant)	Fase generatif (Generative phase)
Perlakuan pembanding (Comparison treatments)			
6.	DB	Daun brokoli (Broccoli leaf)	-
7.	NF	Nematisida Fluopiram (Fluopyram nematicide)	-
8.	KN	Tanpa biofumigan (Without biofumigant)	-

bobot kering akar, bobot kering tajuk, dan jumlah bunga (Rosya 2015).

Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS) dilakukan melalui layanan dari Laboratorium Kesehatan Daerah (Labkesda) DKI Jakarta. Sampel yang digunakan dalam bentuk simplisia yang telah di oven dengan suhu 105 °C kemudian ditimbang seberat 10 mg lalu ditambahkan 10 mL pelarut heksana dan diekstrak selama 30 menit menggunakan sonikator. Larutan kemudian disaring menggunakan milipore, dan fraksi heksana digunakan untuk analisis GC-MS menggunakan peralatan GC-MS (Agilent Technologies model 7890 dan MS seri 5975). Sampel sebanyak 1 µL diinjeksikan ke dalam GC-MS dengan suhu injeksi sebesar 250 °C. Spektrometri massa dioperasikan pada energi 70 eV. Hasil analisis GC-MS dibandingkan dengan menggunakan *Chemstation Data System* untuk mengevaluasi hasilnya (Iqbal 2019).

Analisis Data

Data hasil pengamatan percobaan di laboratorium dan di rumah kaca ditabulasikan pada Microsoft Excel 2019 dan dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan program IBM SPSS Statistic 22. Uji lanjut dilakukan menggunakan uji Tukey dengan taraf 0.05.

HASIL

Identifikasi nematoda puru akar berdasarkan karakter pola perineal nematoda betina mengonfirmasi bahwa spesies yang digunakan untuk penelitian ini ialah *M. incognita* (Gambar 2). Pola perineal *M. incognita* ditandai oleh bagian dorsal yang melengkung dan menyempit, sedangkan bagian paling luar sedikit melebar dan sedikit mendatar tidak terdapat garis lateral dan bagian stria terlihat jelas (Supramana dan Suastika 2012).

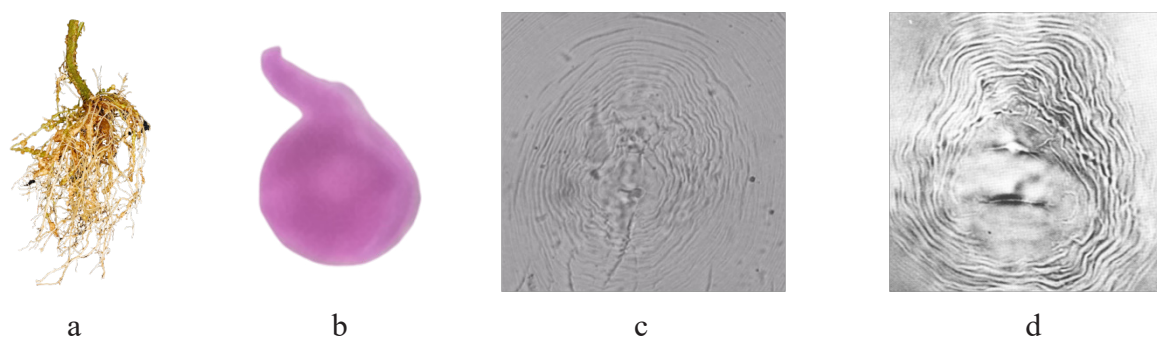
Pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa mortalitas nematoda tertinggi diperoleh berturut-turut pada perlakuan nematisida fluopiram (NM), seluruh bagian tanaman

R. indica pada fase generatif (STR-G), seluruh bagian tanaman *R. indica* campuran fase vegetatif dan generatif (STR-C), dan limbah daun brokoli pada bobot bahan tertinggi, yaitu 3.9 g per 100 mL tanah (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi bahan kimia dapat meningkatkan persentase keefektifan perlakuan terhadap mortalitas nematoda.

Pengujian biofumigasi *R. indica* dalam skala rumah kaca menunjukkan bahwa tanaman mentimun yang diberi perlakuan *R. indica* (STR-C) berpengaruh signifikan menurunkan terbentuknya puru akar pada tanaman

(Tabel 3). Pertumbuhan tanaman mentimun pada perlakuan biofumigasi *R. indica* juga lebih baik dibandingkan perlakuan pembanding (daun brokoli, nematisida, dan tanpa biofumigan) (Tabel 4 dan Tabel 5).

Perlakuan biofumigasi menghasilkan senyawa volatil yang dapat memengaruhi mikrob tanah. Senyawa volatil yang terkandung dalam tanaman *R. indica* berhasil diidentifikasi dengan uji GC-MS (Tabel 6). Kandungan senyawa tertinggi yang terdapat dalam tumbuhan *R. indica* ialah *Neophytadiene* dengan kandungan sebesar 24.7% yang berfungsi sebagai antimikrob dan antioksidan,



Gambar 2 Nematoda puru akar. a, puru akar tanaman; b, nematoda betina dewasa; c, pola perineal *Meloidogyne incognita*; dan d, pola perineal *M. incognita* (Eisenback 1981).

(Figure 2 Root knot nematodes. a, plant root knot; b, adult female nematode; c, *Meloidogyne incognita* perineal pattern; and d, perineal pattern of *M. incognita* (Eisenback 1981)).

Tabel 2 Mortalitas juvenil 2 *Meloidogyne incognita* pada perlakuan biofumigasi *Rorippa indica* di laboratorium

(Table 2 Mortality of juvenile 2 *Meloidogyne incognita* in *Rorippa indica* biofumigation treatment in the laboratory)

Perlakuan (Treatment)	Mortalitas* (Mortality) (%)		
	1.3 g	2.3 g	3.9 g
DR	22.6 cd	40.4 de	63.0 cd
BR	11.6 d	35.6 e	56.0 d
STR-C	30.2 c	57.0 bcd	82.4 b
STR-V	32.6 bc	66.0 bc	74.2 bc
STR-G	47.4 b	73.2 b	87.4 ab
DB	29.2 c	52.6 cde	81.0 b
NF	97.2 a	97.2 a	97.2 a
KN	11.6 e	11.6 f	11.6 e

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

(*Numbers in the same column and followed by the same letter indicate that they are not significantly different based on the Tukey follow-up test α 5%).

sedangkan pada limbah daun brokoli ditemukan senyawa 15-Nonacosanone dengan kandungan sebesar 21.02% berfungsi sebagai senyawa organik. Metode GC-MS mempunyai sensitivitas yang tinggi sehingga dapat memisahkan senyawa walaupun dalam konsentrasi yang rendah dan juga memiliki beberapa keunggulan lainnya seperti analisa waktu yang lebih efisien, resolusi yang tinggi sehingga bisa menganalisis partikel yang sangat kecil, aliran gas yang terkontrol dan tidak merusak sampel, akan tetapi metode ini hanya menganalisis senyawa volatil.

PEMBAHASAN

Perlakuan biofumigasi *R. indica* menggunakan berbagai fase generatif dan vegetatif tanaman menghasilkan tingkat mortalitas yang cukup beragam. Biofumigasi menggunakan

Tabel 3 Rata-rata jumlah puru akar *Meloidogyne incognita* pada perlakuan biofumigasi *Rorippa indica* di rumah kaca

(Table 3 Average number of root knots of *Meloidogyne incognita* in *Rorippa indica* biofumigation treatment in the greenhouse)

Perlakuan (Treatment)	Jumlah puru* (Number of root-knot nematodes)
STR-C	15.00 b
DB	0.00 b
NF	0.00 b
KN	604.00 a

*Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut tukey α 5%. Data pada perlakuan telah ditransformasi menggunakan transformasi akar kuadrat

(*Numbers in the same column and followed by the same letter indicate that they are not significantly different based on the Tukey follow-up test α 5%. Data on treatments have been transformed using square root transformation).

Tabel 4 Rata-rata tinggi tanaman mentimun pada perlakuan biofumigasi *Rorippa indica* di rumah kaca (Table 4 Average height of cucumber plants in the *Rorippa indica* biofumigation treatment in the greenhouse)

Perlakuan (Treatment)	Minggu 1 (Week 1)	Minggu 2 (Week 2)	Minggu 3 (Week 3)	Minggu 4 (Week 4)	Minggu 5 (Week 5)	Minggu 6 (Week 6)
STR-C	20.90 a	28.70 b	48.67 ab	89.26 ab	144.80 ab	222.66 a
DB	21.33 a	32.07 a	53.98 a	98.47 a	161.17 a	201.06 ab
NF	19.80 a	28.46 b	46.33 b	89.13 ab	140.53 ab	187.80 ab
KN	20.06 a	29.73 ab	46.73 ab	80.46 b	131.80 b	186.26 b

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

(*Numbers in the same column and followed by the same letter indicate that they are not significantly different based on the Tukey follow-up test α 5%).

Tabel 5 Rata-rata jumlah daun tanaman mentimun pada perlakuan biofumigasi *Rorippa indica* di rumah kaca

(Table 5 Average number of leaves on cucumber plants in the *Rorippa indica* biofumigation treatment in the greenhouse)

Perlakuan (Treatment)	Minggu 1 (Week 1)	Minggu 2 (Week 2)	Minggu 3 (Week 3)	Minggu 4 (Week 4)	Minggu 5 (Week 5)	Minggu 6 (Week 6)
STR-C	4.33 a	6.00 a	8.20 a	11.53 ab	18.05 ab	21.45 a
DB	4.26 a	6.13 a	8.20 a	12.70 a	18.59 a	19.20 ab
NF	4.00 a	5.93 a	8.26 a	11.06 b	16.53 b	18.45 b
KN	4.13 a	5.93 a	8.33 a	11.46 ab	16.80 ab	19.20 ab

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

(*Numbers in the same column and followed by the same letter indicate that they are not significantly different based on the Tukey follow-up test α 5%).

Tabel 6 Senyawa yang terdeteksi dari analisis GC-MS dari tumbuhan *Rorippa indica* dan daun brokoli
(Table 6 Compounds detected from GC-MS analysis of *Rorippa indica* plants and broccoli leaves)

Tumbuhan <i>Rorippa indica</i> (<i>Rorippa indica</i> plant)			Limbah daun brokoli (<i>Broccoli leaf waste</i>)		
Senyawa (Compound)	Kandungan (%)	Fungsi (Function)	Senyawa (Compound)	Kandungan (%)	Fungsi (Function)
Neophytadiene	24.7	Antimikrob dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Raman 2012)	Neophytadiene	8.62	Antimikrob dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Raman 2012)
Hexadecanoic acid, ethyl ester	3.00	Antioksidan, nematisida, antifungi, dan antibakteri (<i>Antioxidant, nematocide, antifungal, and antibacterial</i>) (Sukarti 2023)	n-Hexadecanoic acid	2.77	Antimikrob dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Suryowati 2015)
9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	6.48	Nematisida dan insektisida (<i>Nematocide and insecticide</i>) (Guerrero 2017)	Phytol	9.77	Antimikrob dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Rahim 2018)
9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	1.31	Nematisida dan insektisida (<i>Nematocide and insecticide</i>) (Krishnaveni 2014)	9-Octadecenoic acid, (E)-	17.95	Nematisida dan insektisida (<i>Nematocide and insecticide</i>) (Yamuna 2017)
Eicosane	1.17	Antibakteri dan antifungi (<i>Antibacterial and antifungal</i>) (Akpauka 2013)	2-Methyl-Z,Z-3,13-octadecadienol	1.45	Senyawa organik dan antioksidan (<i>Organic compound and antioxidant</i>) (Ezema 2021)
7-Pentadecyne	2.26	Senyawa organik (<i>Organic compound</i>) (TMIC 2022)	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	1.63	Antimikrob dan antifungi (<i>Antimicrobial and antifungal</i>) (Krishnaveni 2014)
9,12,15-Octadecatrien-1-ol, (Z,Z,Z)-	5.06	Nematisida dan Insektisida (<i>Nematocide and insecticide</i>) (Yamuna 2017)	7,10,13-Hexadecatrienoic acid, methyl ester	3.68	Antibakteri dan antifungi (<i>Antibacterial and antifungal</i>) (Alqhtania 2019)
Eicosane	2.86	Antibakteri dan antifungi (<i>Antibacterial and antifungal</i>) (Akpauka 2013)	Eicosane	15.21	Antibakteri dan antifungi (<i>Antibacterial and antifungal</i>) (Akpauka 2013)
Vitamin E	4.74	Antioksidan dan antibakteri (<i>Antioxidant and antibacterial</i>) (Ali 2022)	15-Nonacosanone	21.02	Senyawa organik (<i>Organic compound</i>) (TMIC 2019)
Ergost-5-en-3-ol, (3. beta.)-	2.74	Zat pengatur tumbuh (<i>Plant growth regulator</i>) (Ishaq 2020)	1-Hexacosene	6.05	Antifungi (<i>Antifungal</i>) (Zhang 2019)
.gamma.-Sitosterol	11.96	Antibakteri, antifungi, dan antioksidan (<i>Antibacterial, antifungal, and antioxidant</i>) (Vipin 2015)	.gamma.-Sitosterol	2.39	Antibakteri, antifungi, dan antioksidan (<i>Antibacterial, antifungal, and antioxidant</i>) (Vipin 2015)
3-Methylene-7,11-dimethyl-1-dodecene	14.78	Antioksidan (<i>Antioxidant</i>) (Gawlitia 2022)	3-Methylene-7,11-dimethyl-1-dodecene	1.02	Antioksidan (<i>Antioxidant</i>) (Gawlitia 2022)
3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	5.40	Antibakteri (<i>Antibacterial</i>) (Thejashree 2023)			

R. indica fase generatif menunjukkan keefektifan yang lebih tinggi dibandingkan dengan fase vegetatifnya. Hal tersebut dapat disebabkan oleh keberagaman komposisi senyawa yang bervariasi pada setiap fase pertumbuhan tanaman. Pada fase pertumbuhan vegetatif, tanaman lebih banyak membentuk pertumbuhan dan perkembangan struktural sehingga senyawa yang dihasilkan cenderung berhubungan dengan proses fotosintesis terutama senyawa karbohidrat. Pada fase pertumbuhan generatif, tanaman sudah mulai memasuki fase reproduktif dan pematangan jaringan sehingga mengalami peningkatan dalam produksi senyawa flavonoid dan fitohormon yang berfungsi untuk memperkuat mekanisme pertahanan tanaman, meningkatkan daya tahan terhadap kondisi lingkungan, dan menjaga kesehatan tanaman dari infeksi penyakit (Noer *et al.* 2018).

Menurut Hura *et al.* (2017) sekresi gula sederhana dan asam organik sebagai substrat respirasi mikroba lebih banyak terbentuk pada fase generatif sehingga memengaruhi aktivitas mikroba rizosfer. Selain itu, proses biofumigasi juga memiliki dampak terhadap mortalitas karena menghasilkan senyawa isotiosianat yang larut dalam air dan memengaruhi nematoda yang hidup bebas di lapisan air dalam pori tanah. Perlakuan biofumigan menyebabkan aktivitas nematoda terganggu karena adanya pertukaran gas, yaitu senyawa isotiosianat masuk ke dalam tubuh nematoda dan mengganggu sistem respirasi sehingga menyebabkan kematian nematoda (Nur 2016).

Keefektifan *R. indica* setara dengan biofumigasi daun brokoli dan aplikasi nematisida fluopiram pada dosis anjuran. Tanaman *Brassicaceae* menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang disebut glukosinolat. Tumbuhan seperti *R. indica* dan limbah daun brokoli memiliki kandungan glukosinolat yang tinggi (Ibrahim *et al.* 2022). Kandungan glukosinolat akan mengalami proses hidrolisis saat terjadi kerusakan pada jaringan tanaman yang dibantu oleh enzim mirosinase dan air. Proses ini menghasilkan senyawa yang bersifat toksik, antara lain isotiosianat dan benzil isotiosianat. Pembentukan senyawa isotiosianat sebagai biofumigan dipengaruhi oleh faktor suhu.

Peningkatan suhu akan terjadi selama periode masa inkubasi yang akan memengaruhi aktivitas nematoda karena memiliki suhu yang optimum untuk perkembangannya. Selain itu, efek dari proses hidrolisis juga mengganggu nematoda dalam memperoleh oksigen karena nematoda bersifat aerobik akuatik dan hidup di lapisan air dalam pori-pori tanah (Nur 2016).

Berdasarkan pengamatan agronomis terlihat bahwa pertumbuhan mentimun terbaik terjadi pada perlakuan *R. indica* kemudian diikuti perlakuan daun brokoli. Hal ini berkaitan dengan senyawa yang telah terdeteksi pada uji GCMS yang mendukung faktor pertumbuhan tanaman. Selain itu perlakuan biofumigasi selama 14 hari juga memberikan dampak yang positif karena melalui proses dekomposisi menjadi bahan organik bagi tanah dan memacu pertumbuhan pada sekitar meristem pada pucuk untuk terjadi pembelahan dan pemanjangan sel. Bahan organik dan nutrisi yang tinggi mampu untuk meningkatkan aktivitas metabolisme yang tinggi (Mirsam *et al.* 2018). Tanaman *Brassica* juga berperan menjadi pupuk hijau untuk mengendalikan perkembangan dari nematoda dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Monfort *et al.* 2007). Pertumbuhan tanaman yang mendapat perlakuan pestisida dapat terhambat karena adanya gangguan metabolisme seperti fotosintesis, respirasi, dan transpirasi. Penurunan pertumbuhan tanaman ini diduga terjadi akibat kekurangan serapan unsur hara yang terpapar pestisida karena memiliki bahan aktif kimiawi yang berperan sebagai inhibitor bagi pertumbuhan akar tanaman (Kusumarini *et al.* 2020).

Senyawa yang kandungannya tertinggi pada hasil uji GC-MS pada tanaman *R. indica* ialah senyawa *neophytadiene* yang termasuk ke dalam golongan senyawa terpenoid. Kandungannya sebanyak 24.7%, berfungsi sebagai antimikroba dan antioksidan yang umumnya mempunyai bioaktivitas dan berfungsi sebagai pelindung tumbuhan dari gangguan hama dan penyakit (Illing *et al.* 2021). Kandungan senyawa tertinggi dalam daun brokoli ialah senyawa 15-Nonacosanone sebesar 21.02% yang berfungsi sebagai

antimikrob dan berfungsi sebagai ketahanan tanaman (Ramesh *et al.* 2023). Senyawa metabolit sekunder umumnya berfungsi sebagai fitoaleksin, alelopati, dan juga sebagai zat pengatur pertumbuhan. Kandungan senyawa pada tanaman dapat menghambat patogen serta meningkatkan pertumbuhan tanaman (Sefina *et al.* 2025).

Pengembangan pengendalian dengan biofumigasi menunjukkan prospek yang menjanjikan dengan berbagai dampak positif, seperti pengurangan penggunaan pestisida kimia yang merusak lingkungan dan penghematan biaya akibat berkurangnya subsidi pemerintah untuk pestisida (Setyo *et al.* 2009). Biofumigasi dengan tumbuhan *R. indica* efektif dalam mengendalikan nematoda puru akar (*M. incognita*) sekaligus menginduksi pertumbuhan tanaman mentimun. Pemanfaatan tumbuhan *R. indica* berpotensi dalam penyusunan strategi pengelolaan nematoda yang efektif dan ramah lingkungan. Diperlukan pengujian lebih lanjut terhadap potensi *R. indica* dalam pengendalian nematoda pada skala lapangan, serta potensinya terhadap pengendalian nematoda dari genus lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Carrillo-Fasio JA, Angulo-Castro A, Martinez-Gallardo JA, Ayala-Tafoya F, Yáñez-Juárez MG, Retes-Manjarrez JE. 2020. Distribution and incidence of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on pepper in Sinaloa, Mexico. *Tropical Plant Pathology*. 46:195–200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00400-6>.
- Chotimah, H, Kresnatita S, Miranda Y. 2013. Ethnobotanical study and nutrient content of indigenous vegetables consumed in Central Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*. 14(2):106–111. DOI: <http://doi.org/10.13057/biodiv/d140209>.
- Dahlin P, Eder R, Consoli E, Krauss J, Kiewnick S. 2019. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. *Crop Protection*. 124:104874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104874>.
- Dutta TK, Khan MR, Phani V. 2019. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plant: current status and future prospects. *Current Plant Biology*. 17:17–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001>.
- Eisenback JD. 1981. *Nematology*. Virginia (VA): Mactode Publication.
- He Q, Wang D, Li B, Maqsood A, Wu H. 2020. Nematicidal evaluation and active compounds isolation of *Aspergillus japonicus* ZW1 against root-knot nematodes *Meloidogyne incognita*. *Agronomy*. 10(9):1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091222>.
- Hura T, Dziurka M, Hura K, Ostrowska A, Dziurka K, Gadzinowska J. 2017. Wheat and rye genome confer specific phytohormone profile features and interplay under water stress in two phenotypes of triticale. *Plant Physiology and Biochemistry*. 118: 494–509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.016>.
- Hutagalung L. 1988. *Teknik Ekstraksi dan Membuat Preparat Nematoda Parasit Tumbuhan*. Jakarta (ID): Rajawali Press.
- Ibrahim AY, Supramana, Giyanto. 2022. Effect of Brassicaceae waste application on soil nematode community. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 26(2):175–183. DOI: <http://doi.org/10.22146/jpti.75321>.
- Illing I, Sukarti, Rustam F. 2021. Identifikasi senyawa metabolit sekunder ekstrak etanol daun pecut kuda (*Stachytarpheta jamaicensis* L.) menggunakan GC-MS. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*. 3(2):13–16.
- Iqbal TM. 2019. Aktivitas antioksidan ekstrak etanol dan profil metabolit sekunder tanaman kembang telang (*Clitoria ternatea*) [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Kusumarini N, Sayifudin, Kautsar FD, Syekhfani. 2020. Peran bahan organik dalam menurunkan dampak paparan pestisida terhadap kesuburan tanah dan serapan hara tanaman sawi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 7(1):127–133. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.16>.

- Mirsam H, Masluki, Mutmainnah. 2018. Pengaruh senyawa biofumigan dari limbah kubis-kubisan terhadap penurunan konsentrasi spora *Phytophthora palmivora* dan peningkatan pertumbuhan bibit kakao. Jurnal Elektronik Universitas Cokroaminoto. (3)1:326–352.
- Monfort WS, Csinos AS, Desaeager J, Seebold K, Webster TM, Diaz-Perez JC. 2007. Evaluating *Brassica* species as an alternative control measure for root-knot nematode (*M. incognita*) in Georgia vegetable plastic culture. Crop Protection. 26(9):1359–1368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.11.008>.
- Noer S, Pratiwi RD, Gresinta E. 2018. Penetapan kadar senyawa fitokimia (tanin, saponin dan flavonoid sebagai kuersetin) pada ekstrak daun inggu (*Ruta angustifolia* L.). Eksakta: Jurnal Ilmu-ilmu MIPA. 1(18):19–29. DOI: <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol18.iss1.art3>.
- Nur MJ. 2016. Keefektifan limbah tanaman Brassicaceae sebagai pengendali nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada skala mikroplot di lapangan [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ramesh A, Nandi A, Devanathan S, Jayaraman L, Sivaji S. 2023. Anti-inflammatory, anti-oxidative, and antimicrobial activities of the phytochemicals isolated from various parts of broccoli wastes. Journal of Advanced Biotechnology and Experimental Therapeutics. 6(1):67–83. DOI: <https://doi.org/10.5455/jabet.2023.d107>.
- Rosya A. 2015. Keefektifan limbah brassicaceae sebagai biofumigan dalam pengendalian nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada tanaman tomat [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sefina N, Chattri M, Advinda L, Putri DH. 2025. Literatur review: Senyawa aktif tumbuhan yang efektif sebagai pestisida nabati untuk pengendalian tanaman. Jurnal Biosense. 8(1):62–75. DOI: <https://doi.org/10.36526/biosense.v8i1.5028>.
- Setyo U, Sudjindro, Purwati RD. 2009. Variasi ketahanan genotipe kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) terhadap nematoda puru akar (*Meloidogyne incognita*). Jurnal Penelitian Tanaman Industri. 15(2):60–65. DOI: <https://doi.org/10.21082/jlitri.v15n2.2009.60-65>.
- Sikandar A, Zhang MY, Wang YY, Zhu XF, Liu XY, Fan HY, Xuan YH, Chen LJ, Duan YX. 2020. Review article: *Meloidogyne incognita* (root nematode) a risk to agriculture. Applied Ecology and Environmental Research. 18(1):1679–1690. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1801_16791690.
- Subedi S, Thapa B, Shresta J. 2020. Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and its management: a review. Journal of Agriculture and Natural Resources. 3(2):21–31. DOI: <https://doi.org/10.3126/janr.v3i2.32298>.
- Supramana, Suastika G. 2012. Spesies nematoda puru Akar (*Meloidogyne* spp.) yang berasosiasi dengan penyakit umbi bercabang pada wortel: penyakit baru di Indonesia. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 17(2):108–112.
- Touray M, Cimen H, Gulsen SH, Ulug D, Erdogan D, Ilan DS, Hazir S. 2021. The impact of chemical nematicides on entomopathogenic nematode survival and infectivity. Journal of Nematology. 53(1):1–17. DOI: <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-049>.
- Wendimu GY. 2021. Biology, taxonomy, and management of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in sweet potato. Advances in Agriculture. 2021:1–13. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/8820211>.