

**Bioprospeksi Ekstrak Biji dan Daun Mahoni serta
Filtrat Bakteri Endofit untuk Pengendalian
*Meloidogyne incognita***

**Bioprospection of Mahogany Seed and Leaf Extracts and
Endophytic Bacterial Filtrate to Control *Meloidogyne incognita***

Novia Sarah Shafira, Abdul Munif*, Supramana

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

(diterima Oktober 2024, disetujui Maret 2026)

ABSTRAK

Nematoda puru akar *Meloidogyne incognita* merupakan patogen utama tanaman tomat dan menyebabkan kehilangan hasil hingga 77%. Penelitian ini bertujuan menguji keefektifan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit terhadap nematoda *M. incognita* pada tanaman tomat pada skala laboratorium dan rumah kaca. Analisis senyawa metabolit sekunder dilakukan menggunakan kromatografi gas spektrometri massa (GC-MS). Konsentrasi akhir ekstrak biji dan daun mahoni yang diperoleh berdasarkan nilai LC₉₅, yaitu 9.429% dan 27.448%. Filtrat dari tiga isolat bakteri endofit diuji mortalitasnya terhadap juvenil 2 (J2) *M. incognita*. Didapatkan satu isolat bakteri endofit yang menyebabkan kematian tertinggi, yaitu isolat APE 35. Ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35 dapat menekan puru akar pada tanaman tomat yang disebabkan oleh *M. incognita*. Perlakuan ekstrak biji mahoni dapat menekan puru akar dengan persentase paling tinggi, yaitu 66.23%. Akan tetapi ekstrak biji dan daun mahoni dapat bersifat fitotoksik dan menghambat pertumbuhan tanaman tomat. Ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35 mengandung senyawa yang berpotensi sebagai nematisida. Ekstrak biji mahoni memiliki kandungan senyawa nematisida paling tinggi, yaitu *n-Hexadecanoic acid* (17.71%) dan *9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)* (1.81%).

Kata kunci: fitotoksik, GC-MS, metabolit sekunder, mortalitas, nematisida

ABSTRACT

The root knot nematode *Meloidogyne incognita* is a major pathogen of tomato plants and causes yield losses of up to 77%. This study aimed to evaluate the effectiveness of mahogany seed and leaf extracts and endophytic bacterial filtrates against the nematode *M. incognita* in tomato plants at laboratory and greenhouse scales. Secondary metabolite compound analysis was carried out using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The final concentrations of mahogany seed and leaf extracts obtained based on LC₉₅ values were 9.429% and 27.448%. Filtrates from three endophytic bacterial isolates were tested for their mortality against juvenile 2 (J2) *M. incognita*. One endophytic bacterial isolate, i.e. APE 35 was found to cause the highest mortality. Mahogany seed and leaf extracts and endophytic bacterial filtrate APE 35 can suppress root knots in tomato plants caused by *M. incognita*. Mahogany seed extract treatment can suppress root knots with the highest percentage, i.e. 66.23%. However,

*Alamat korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680.
Tel: +62 251 8629364, Fax: +62 251 8629362, Surel: abdulmunif@apps.ipb.ac.id.

mahogany seed and leaf extracts can be phytotoxic and inhibit the growth of tomato plants. Mahogany seed and leaf extracts, as well as the endophytic bacterial filtrate APE 35, contain compounds with potential nematicidal properties. Mahogany seed extract contains the highest nematicidal compounds, namely n-Hexadecanoic acid (17.71%) and 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z) (1.81%).

Keywords: GC-MS, mortality, nematicides, phytotoxic, secondary metabolites

PENDAHULUAN

Meloidogyne incognita merupakan nematoda penyebab puru pada akar, yang mengakibatkan terganggunya pertumbuhan tanaman. Kehilangan hasil oleh *Meloidogyne* spp. pada tanaman tomat dapat mencapai 77% (Suyadi dan Rosfiansyah 2017). Pengendalian nematoda *M. incognita* yang umum dilakukan di antaranya dengan rotasi tanaman, pengolahan lahan, dan penggunaan nematisida sintetik (Yulianti 2013). Penggunaan nematisida sintetik secara terus-menerus dapat menimbulkan dampak negatif, yaitu ketidakseimbangan ekologis, karena dapat memengaruhi spesies non-target serta berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia (Singkoh dan Katili 2019).

Pengendalian berbasis ramah lingkungan terhadap nematoda penyebab puru akar dapat dilakukan di antaranya dengan pemanfaatan metabolit sekunder dari ekstrak tanaman mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan agens hayati berupa filtrat bakteri endofit. Metabolit sekunder merupakan senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme, flora dan fauna namun tidak terlibat langsung dalam perkembangan dan pertumbuhan makhluk hidup (Nabillah dan Chatri 2024). Golongan senyawa metabolit sekunder di antaranya alkaloid, flavonoid, fenolik, tanin, saponin, triterpenoid, dan steroid. Golongan senyawa metabolit sekunder tersebut dilaporkan memiliki aktivitas nematisida yang dapat menghambat perkembangan nematoda (Gommers 1973). Senyawa metabolit sekunder flavonoid dan alkaloid dari ekstrak daun jarak dapat menyebabkan kematian larva *Meloidogyne* spp. dengan cara memengaruhi sistem otot yang menyebabkan kelumpuhan, kelainan perilaku dan kegagalan pada sistem pernafasan sehingga terjadinya ketidakseimbangan kandungan zat dalam cairan tubuh yang mengakibatkan keracunan sel dan

akhirnya menyebabkan kematian (Oktavia *et al.* 2021). Rusandi *et al.* (2016) melaporkan senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan ekstrak biji mahoni dapat mengendalikan hama ulat grayak (*Spodoptera litura*) dengan menghambat metabolisme dan sistem saraf larva ulat grayak yang akan memengaruhi perilaku larva dan menurunkan aktivitas makan larva. Senyawa yang dihasilkan ekstrak daun mahoni juga dapat menyebabkan kematian *Plutella xylostella* dengan cara merusak sistem pencernaan dan sistem pernapasan pada serangga (Hidayat *et al.* 2013). Di lain pihak, filtrat bakteri endofit yang diisolasi dari akar tanaman lada efektif menekan jumlah puru dan populasi nematoda *Meloidogyne* spp. dengan cara menghasilkan senyawa toksik yang bersifat nematisidal dan memproduksi senyawa HCN yang dapat menghambat pertumbuhan, perkembangan dan reproduksi nematoda parasit (Munif dan Harni 2011). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh ekstrak daun dan ekstrak biji mahoni serta filtrat bakteri endofit dalam menekan perkembangan nematoda *M. incognita* pada tanaman tomat.

BAHAN DAN METODE

Identifikasi Nematoda *Meloidogyne incognita*

Identifikasi spesies nematoda dilakukan berdasarkan pola perineal mengikuti metode Eisenback *et al.* (1981). Tanaman tomat dengan gejala puru akar diperoleh dari kebun percobaan IPB di Bogor. Akar tanaman dicuci, kemudian dibedah dengan jarum bedah di bawah mikroskop stereo untuk memperoleh nematoda betina dewasa. Nematoda dipotong dengan pisau bedah dan bagian posterior dibersihkan, dipindahkan ke gelas objek yang telah ditetesi FAA, dan ditutup dengan kaca penutup. Pola perineal pada posterior nematoda betina dewasa diidentifikasi di bawah mikroskop pada perbesaran 400×.

Perbanyak Nematoda *Meloidogyne incognita*

Akar tomat yang terinfeksi *M. incognita* dibersihkan dan dipotong sekitar ± 1 cm dan dilakukan ekstraksi dengan metode pengabutan (Hutagalung 1988). Akar diletakkan di atas saringan kasar dengan gelas di bawahnya untuk menampung suspensi *M. incognita*. Akar diinkubasi dalam ruang pengabutan selama 48 jam. Setelah itu, suspensi nematoda disaring menggunakan saringan ukuran 500 mesh. Nematoda yang terpisah dipindahkan ke tanaman tomat yang berumur 2 minggu untuk dijadikan inokulum. Inokulum tersebut akan digunakan untuk pengujian selanjutnya.

Produksi Ekstrak Biji dan Daun Mahoni

Biji dan daun mahoni dicuci bersih pada air mengalir, kemudian dikering anginkan pada suhu ruang antara 23-25 °C. Biji dan daun mahoni dihaluskan dengan *blender* hingga menjadi bubuk. Bubuk biji dan daun mahoni dimaserasi menggunakan metanol dengan perbandingan 1:5 (b/v), larutan diinkubasi selama 24 jam dan disaring menggunakan kertas saring kasar dengan ukuran 20-25 μm . Larutan ekstrak mahoni yang telah disaring, dievaporasi dengan *rotary evaporator* pada suhu 50 °C dengan kecepatan 80 rpm. Ekstrak pekat disimpan dalam lemari pendingin dengan suhu -4 °C (Nguyen dan Jung 2014).

Produksi Filtrat Bakteri Endofit

Isolat bakteri endofit yang digunakan ialah isolat APE 35 yang teridentifikasi sebagai *Bacillus siamensis* strain TSS18 yang berasal dari tumbuhan paku-pakuan, isolat BAT 27 teridentifikasi *B. toyonensis* yang berasal dari tumbuhan mangrove dan isolat LCA 19 yang teridentifikasi *Providencia vermicola* yang berasal dari tanaman tembelean (Oktafiyanto 2017; Asmoro 2018; Anggita 2019; Zulaiha *et al.* 2022). Bakteri endofit ditumbuhkan pada medium *triptic soy agar* selama 48 jam pada suhu ruang. Koloni bakteri endofit kemudian dimasukkan ke dalam 100 mL medium *triptic soy broth*, dihomogenkan selama 48 jam dengan kecepatan 150 rpm. Suspensi kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 7000 rpm

selama 15 menit, supernatan diambil dengan cara disaring menggunakan kertas *millipore* (0.22 μm) (Munif dan Harni 2011).

Pengujian Pengaruh Ekstrak Biji dan Daun Mahoni terhadap Mortalitas Nematoda *Meloidogyne incognita* pada Skala Laboratorium

Pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu uji pendahuluan dan uji lanjutan. Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan batas kisaran kritis (*critical range test*), yaitu berdasarkan nilai kematian *M. incognita* sebesar 50% dan 95%. Dari hasil uji pendahuluan didapatkan konsentrasi pada ekstrak biji mahoni, yaitu 0%; 1%; 1.5%; 2%; 2.5%; 3%, dan konsentrasi ekstrak daun mahoni 0%; 2%; 3%; 4%. Konsentrasi tersebut dianalisis dengan analisis probit yang ditentukan dengan nilai LC_{95} , kemudian hasil analisis yang didapatkan digunakan untuk uji lanjutan.

Uji lanjutan dilakukan untuk mendapatkan nilai LC_{95} yang tepat dari ekstrak biji dan daun mahoni. Konsentrasi yang digunakan pada ekstrak biji mahoni, yaitu 0%; 1.5%; 1.9%; 2.9%; 4.5%; 8.3% dan konsentrasi ekstrak daun mahoni 0%; 4%; 6%; 8%; 10%; 12%. Ekstrak biji dan daun mahoni pada taraf konsentrasi tersebut diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap mortalitas *M. incognita*. Setelah itu dilakukan analisis probit menggunakan aplikasi *Polo Plus* untuk menentukan konsentrasi yang tepat. Pengujian mortalitas *M. incognita* dilakukan dengan cara larutan ekstrak diambil sebanyak 3 mL, kemudian dituangkan ke dalam cawan yang berisi 1 mL suspensi nematoda juvenil 2 (J2) (± 50 ekor). Pengamatan mortalitas nematoda dilakukan setiap 12 dan 24 jam menggunakan mikroskop stereo (SZ-ST Olympus) (Akyazi 2014).

Pengujian Filtrat Bakteri Endofit terhadap Mortalitas Nematoda *Meloidogyne incognita* pada Skala Laboratorium

Pengujian dilakukan menggunakan 3 isolat bakteri endofit, yaitu APE 35, LCA 19, dan BAT 27. Di antara tiga isolat tersebut dipilih satu isolat terbaik untuk digunakan pada

percobaan di rumah kaca. Filtrat bakteri endofit sebanyak 3 mL dimasukkan ke dalam cawan hitung yang sudah berisi ± 50 individu *J2 M. incognita* (Jahuddin *et al.* 2021). Pengamatan dilakukan setiap 12 dan 24 jam menggunakan mikroskop stereo (SZ-ST Olympus). Mortalitas nematoda dihitung menggunakan rumus Hooper *et al.* (2005) sebagai berikut

$$\text{Mortalitas} = \frac{\text{Jumlah nematoda yang mati}}{\text{Jumlah nematoda uji}} \times 100\%$$

Pengujian Pengaruh Ekstrak Biji dan Daun Mahoni serta Filtrat Bakteri Endofit terhadap Pertumbuhan Bibit Tomat

Benih tomat direndam dalam ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit selama 30 menit. Benih tomat kemudian ditumbuhkan pada medium tumbuh, yaitu campuran tanah steril dan kompos (1:1 b/b). Variabel pengamatan meliputi persentase bibit tomat yang tumbuh, tinggi bibit tomat dan panjang akar pada 4 minggu setelah tanam. Persentase pertumbuhan bibit tomat dihitung dengan rumus (Tefa 2017)

$$\text{Persentase pertumbuhan bibit} = \frac{a}{b} \times 100\%, \text{ dengan}$$

a, jumlah bibit yang tumbuh; dan b, jumlah bibit yang ditanam.

Pengujian Ekstrak Biji Mahoni, Daun Mahoni, dan Filtrat Bakteri Endofit terhadap Nematoda *Meloidogyne incognita* pada Tanaman Tomat di Rumah Kaca

Pada pengujian ini perlakuan ekstrak mahoni dan filtrat bakteri endofit diaplikasikan sebanyak dua kali, yaitu sebelum infestasi nematoda dan sesudah infestasi nematoda. Benih tomat dikeringanginkan dan disemai dalam baki menggunakan medium tanam campuran tanah steril, pasir, dan kompos (2:1:1 b/b/b). Setelah bibit berumur 3 minggu diberikan aplikasi suspensi ekstrak biji, daun mahoni, dan filtrat bakteri endofit dengan cara dituang sebanyak 5 mL pada bibit tomat dan diinkubasi selama 7 hari. Bibit tomat kemudian dipindahkan ke dalam polibag berukuran 15×20 cm. Nematoda *M. incognita* *J2* diinvestasikan sebanyak 300 individu pada

setiap tanaman. Pada minggu ke 2 setelah investasi nematoda tanaman tomat diberi perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit sebanyak 20 mL per polibag dengan cara dituang di sekitar perakaran tomat.

Variabel pengamatan meliputi tinggi tanaman dan jumlah daun pada tiap minggu selama 5 minggu. Pada akhir pengamatan dihitung bobot basah akar, bobot kering tajuk, dan jumlah puru pada akar. Percobaan dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat perlakuan dan setiap perlakuan terdiri atas lima ulangan dan tiga unit. Data yang diperoleh pada pengujian rumah kaca dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dengan *software SAS on Demand*, apabila terdapat perbedaan nyata dilakukan uji lanjut dengan uji tukey pada taraf 5%.

Keefektifan perlakuan dilihat dari persentase puru dan dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Persentase keefektifan} = \frac{n_0 - n_1}{n_0} \times 100\%, \text{ dengan}$$

n_0 , jumlah puru kontrol; dan n_1 , jumlah puru perlakuan.

Analisis Senyawa Metabolit dengan GC-MS

Analisis GC-MS dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah (Labkesda) Provinsi DKI Jakarta. Larutan ekstrak daun biji mahoni dan filtrat bakteri endofit divorteks selama 1 menit, lalu disentrifugasi selama 3 menit dengan kecepatan 9000 rpm. Supernatan yang terbentuk dilanjutkan untuk pengujian GC-MS. Pengujian GC-MS dilakukan selama 60 menit dengan suhu injektor 260°C , dektor 250°C , dan kolom 325°C . Gas pembawa yang digunakan ialah gas helium sebagai pembawa laju aliran konstan 1 mL per menit. Proses identifikasi menggunakan alat GC-MS menghasilkan beberapa senyawa bioaktif dapat dilihat dari puncak kromatogram sebagai identifikasi data hasil kromatografi dan spektrometri massa (Ms) dilihat dari spektrum massa dengan masing-masing berat molekul senyawa bioaktif (Hotmian *et al.* 2021).

HASIL

Karakteristik Nematoda *Meloidogyne incognita* Asal Tanaman Tomat

Infeksi nematoda *M. incognita* pada tanaman tomat menyebabkan gejala puru atau bintil pada akar (Gambar 1a). Nematoda betina *M. incognita* yang berbentuk seperti buah pir (*pyriform*) berhasil diekstrak dari akar bergejala (Gambar 1b). Pola perineal nematoda betina *M. incognita* memiliki ciri, yaitu lengkungan dorsal yang tinggi dan menyempit serta memiliki garis lateral yang tipis (Gambar 1c).

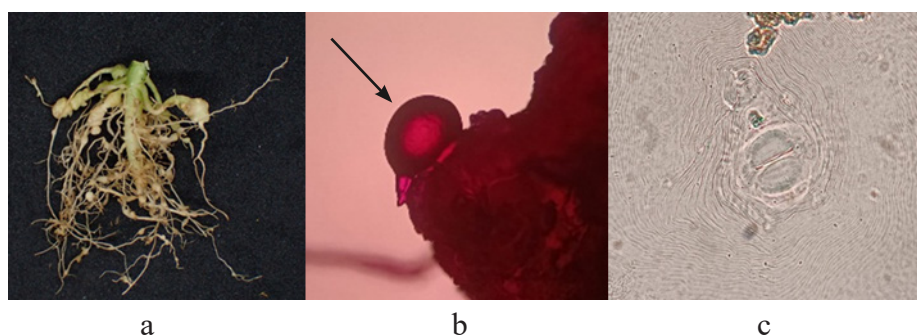
Mortalitas *Meloidogyne incognita* pada Perlakuan Ekstrak Biji dan Daun Mahoni pada Skala Laboratorium

Mortalitas nematoda *M. incognita* karena perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni di analisis probit menggunakan *Polo Plus* untuk menentukan nilai LC_{95} (Tabel 1). Didapatkan LC_{95} sebesar 9.45% untuk perlakuan ekstrak biji mahoni pada pengamatan 24 jam. Untuk perlakuan ekstrak daun mahoni pada

pengamatan 24 jam didapatkan LC_{95} sebesar 27.45%. Hasil pengujian menunjukkan ekstrak biji mahoni memiliki nilai konsentrasi yang lebih rendah dari pada ekstrak daun mahoni. Hal ini dikarenakan senyawa yang bersifat nematisidal yang terkandung pada ekstrak biji mahoni lebih tinggi dibandingkan ekstrak daun mahoni (Tabel 1).

Mortalitas *Meloidogyne incognita* pada Perlakuan Filtrat Bakteri Endofit pada Skala Laboratorium

Pengujian mortalitas nematoda *M. incognita* terhadap filtrat bakteri endofit menunjukkan hasil bahwa filtrat bakteri endofit menyebabkan mortalitas nematoda sebesar 37%–90%. Pada pengamatan 12 jam dan 24 jam, perlakuan filtrat APE 35 menyebabkan kematian *M. incognita* tertinggi dibandingkan dengan perlakuan filtrat isolat bakteri lainnya. Hal ini, menunjukkan bahwa filtrat APE 35 memiliki kandungan enzim dan senyawa metabolit sekunder yang bersifat nematisidal lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya (Tabel 2).



Gambar 1 Nematoda puru akar pada tanaman tomat. a, Gejala puru pada akar; b, Nematoda betina; dan c, Pola perineal *Meloidogyne incognita*.

(Figure 1 Root-knot nematode on tomato plant. a, Root knot symptoms; b, Female nematodes; c, Perineal pattern of *Meloidogyne incognita*).

Tabel 1 Hasil analisis probit ekstrak biji dan daun mahoni terhadap mortalitas *Meloidogyne incognita* (Tabel 1 Results of probit analysis of mahogany seed and leaf extracts on mortality of *Meloidogyne incognita*)

Ekstrak (Extracts)	Waktu pengamatan (Observation time)	a	b	LC_{95} (SK 95%)
Biji (seed)	12	3.63	2.61	14.22 (10.98 - 20.54)
	24	3.68	3.04	9.42 (7.71- 12.47)
Daun (leaf)	12	2.70	2.33	49.20 (25.42 - 427.92)
	24	2.21	3.10	27.45 (16.47 -254.29)

a, intercept. b, slope. LC, lethal concentration; SK, selang kepercayaan (confidence interval).

Pengaruh Ekstrak Biji dan Daun Mahoni serta Filtrat Bakteri Endofit terhadap Morfologi Nematoda *Meloidogyne incognita*

Perlakuan filtrat bakteri endofit APE 35 menyebabkan kerusakan kutikula nematoda *M. incognita* (Gambar 2a). Ekstrak biji mahoni dapat menyebabkan kerusakan pada organ bagian dalam nematoda (Gambar 2b). Pada perlakuan ekstrak daun mahoni terjadi kerusakan pada organ pencernaan nematoda (Gambar 2d).

Pengaruh Perlakuan Ekstrak Biji dan Daun Mahoni serta Filtrat Bakteri Endofit terhadap Pertumbuhan Bibit Tomat pada Pengujian di Rumah Kaca

Perlakuan ekstrak biji mahoni menyebabkan pertumbuhan bibit tomat yang lebih rendah pada setiap parameter pengamatan

dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Persentase perkecambahan biji pada perlakuan ekstrak biji mahoni menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol, ekstrak daun mahoni, dan filtrat APE 35, dengan selisih mencapai 58%–61% (Tabel 3).

Pengaruh Ekstrak Biji Daun Mahoni dan Filtrat Bakteri Endofit terhadap *Meloidogyne incognita* pada Tanaman Tomat di Rumah Kaca

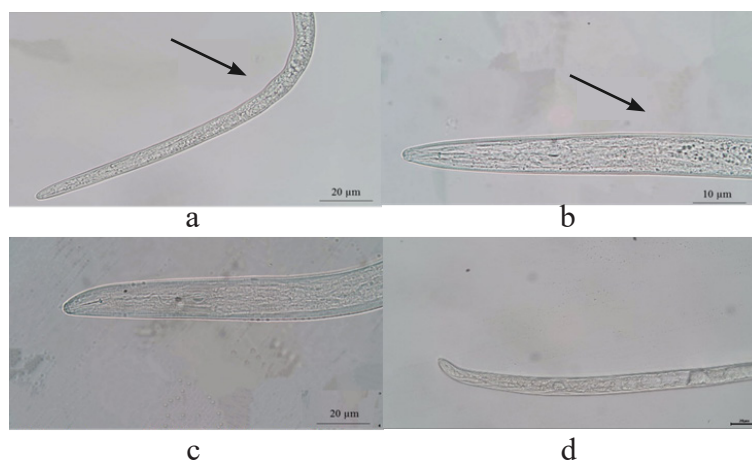
Perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35 efektif menekan puru akar yang disebabkan *M. incognita* pada tanaman tomat. Persentase keefektifan ekstrak biji dan daun mahoni lebih tinggi dibandingkan filtrat APE 35, dengan selisih keefektifan antara perlakuan ekstrak daun dan biji mahoni terhadap filtrat APE 35

Tabel 2 Mortalitas juvenil 2 *Meloidogyne incognita* pada perlakuan filtrat bakteri endofit
(Table 2 Mortality of juveniles 2 *Meloidogyne incognita* after endophytic bacterial filtrate treatment)

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Mortalitas (<i>Mortality</i>) (%) ^a	
	12 Jam (<i>12 Hours</i>)	24 Jam (<i>24 Hours</i>)
Kontrol (<i>Control</i>)	3 ± 1 c	5 ± 0.1 c
Filtrat APE 35 (<i>APE 35 Filtrate</i>)	71 ± 7.8 a	90 ± 7.4 a
Filtrat LCA 19 (<i>LCA 19 Filtrate</i>)	35 ± 2.1 b	59 ± 11.9 b
Filtrat BAT 27 (<i>BAT 27 Filtrate</i>)	52 ± 2.1 ab	62 ± 9.9 b

Angka selajur yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji tukey α 5%. (*Value followed by the same letter in the same column are not significantly different based on tukey's test α 5%*).

^aData telah ditransformasi dengan transformasi akar. (^a*Data has been transformed with root transformation*).



Gambar 2 Kerusakan tubuh juvenil 2 *Meloidogyne incognita*. a, Perlakuan filtrat bakteri APE 35; b, Perlakuan ekstrak biji mahoni; c, Kontrol; dan d, Perlakuan ekstrak daun mahoni.
(Figure 2 Damage to bodies of *Meloidogyne incognita* juvenile 2. a, Treated with APE 35 bacterial filtrate; b, Treated with mahogany seed extract; c, Control; and d, Treated with mahogany leaf extract).

mencapai 30.52%–33.76% (Gambar 3). Secara umum, pertumbuhan tanaman tomat pada perlakuan kontrol lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Selisih tinggi tanaman yang diberi perlakuan kontrol dengan tanaman yang diberi perlakuan filtrat APE 35 tidak terlalu jauh, yaitu 4.53 cm, sedangkan selisih tinggi tanaman kontrol dengan tanaman yang diberi perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni memperlihatkan perbedaan yang signifikan, yaitu 12.11–12.43 cm. (Tabel 4).

Senyawa Metabolit Sekunder pada Ekstrak Biji dan Daun Mahoni serta Filtrat Bakteri Endofit

Hasil analisis GC-MS dari ekstrak daun mahoni berhasil mendeteksi dua senyawa

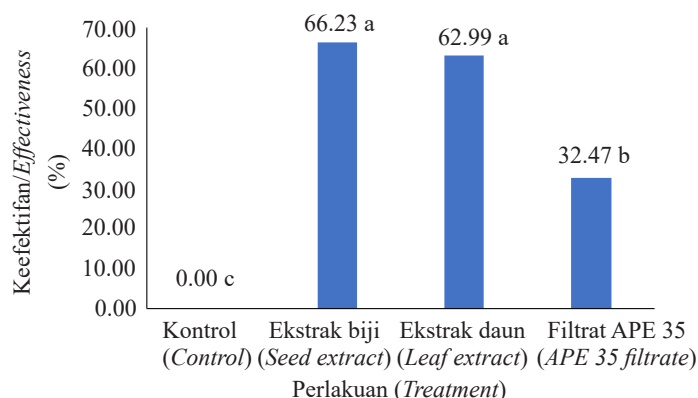
metabolit dari golongan asam lemak (*fatty acid*) yang berpotensi sebagai nematisida, yaitu *n-hexadecanoic acid* (17.71%) dan *9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)* (1.81%). Sementara, *(9E,11E)-octadecenoic acid* merupakan senyawa dengan kandungan tertinggi di dalam ekstrak biji mahoni, yaitu 19.20% (Tabel 5). Selain senyawa metabolit dari golongan asam lemak, juga berhasil dideteksi senyawa dari golongan *linoleic acid ester*. Senyawa *10,13-octadecadienoic acid, methyl ester* (3.91%) dan *methyl stearate* (1.24%) yang berpotensi sebagai nematisida dideteksi dari ekstrak daun mahoni. Sementara dari ekstrak daun mahoni dideteksi senyawa yang berpotensi sebagai antioksidan yang tinggi, yaitu *10E,12Z-octadecadienoic acid* (64.39%) (Tabel 6).

Tabel 3 Pertumbuhan bibit tomat pada perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35

(Table 3 Growth of tomato seedlings treated with mahogany seed and leaf extract and filtrate of APE 35 endophytic bacteria)

Perlakuan (Treatment)	Perkecambahan (Germination) (%)	Tinggi bibit (Seedling height) (cm)	Panjang akar (Root length) (cm)
Kontrol (Control)	76 ± 2.41 a	11 ± 1.54 a	3 ± 1.00 a
Ekstrak biji (Seed extract)	21 ± 12.50 b	7 ± 0.93 b	2 ± 0.58 a
Ekstrak daun (Leaf extract)	78 ± 6.36 a	12 ± 0.39 a	3 ± 1.00 a
Filtrat bakteri APE 35 (Filtrate of APE 35 bacteria)	79 ± 19.09 a	14 ± 0.89 a	4 ± 0.58 a

*Angka selajur yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji tukey α 5%. (Value followed by the same letter in the same column are not significantly different based on tukey’s test α 5%).



Gambar 3 Keefektifan perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni dan filtrat bakteri endofit terhadap penekanan puru akar *Meloidogyne incognita* di rumah kaca. Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji tukey α 5%.

(Figure 3 The effectiveness of mahogany seed and leaf extract and endophytic bacterial filtrate treatment on suppressing root knots of *Meloidogyne incognita* in a greenhouse. Value followed by the same letter in the same column are not significantly different based on tukey’s test α 5%).

Tabel 4 Pertumbuhan tanaman tomat pada perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit di rumah kaca

(Table 4 Growth of tomato plants treated with seed extract and mahogany leaf and filtrate of endophytic bacteria in the greenhouse)

Perlakuan (Treatment)	Tinggi tanaman (Plant height) (cm)	Jumlah daun (Number of leaves)	Panjang akar (Root length) (cm)	Bobot basah tajuk (Wet header weight) (g)	Bobot basah akar (Root wet weight) (g)
Kontrol (Control)	44.94 ± 2.94 a	42.13 ± 6.94 a	12.24 ± 3.49 a*	12.24 ± 3.49 a	0.85 ± 0.36 a
Ekstrak biji (Seed extract)	32.83 ± 2.08 b	30.07 ± 5.24 b	7.62 ± 0.82 b	6.02 ± 1.03 b	0.36 ± 0.04 b
Ekstrak daun (Leaf extract)	32.51 ± 8.67 b	33.07 ± 9.16 ab	6.01 ± 1.58 b	6.32 ± 3.22 b	0.43 ± 0.23 b
Filtrat bakteri APE 35 (Filtrate of APE 35 bacteria)	40.41 ± 5.50 ab	43.27 ± 8.91 a	7.84 ± 0.89 b	10.41 ± 2.34 a	0.71 ± 0.15 ab

Angka selanjur yang diikuti huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata pada uji tukey α 5%. (Value followed by the same letter in the same column are not significantly different based on tukey's test α 5%).

*Data telah ditransformasi dengan transformasi akar. (*Data has been transformed with root transformation).

Tabel 5 Senyawa metabolit asal ekstrak biji mahoni dan kandungannya berdasarkan analisis GC-MS (Table 5 Metabolite compounds from mahogany seed extract and their content based on GC-MS analysis)

Senyawa (Compound)	Kandungan (Content) (%)	Potensi aktivitas (Activity potential)
<i>n-hexadecanoic acid</i>	17.71	Nematisida dan pestisida (Nematicides and pesticides) (Morah et al. 2023)
<i>9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester</i>	2.00	Antibakteri (Antibacterial) (Rosselli et al. 2007)
<i>9-octadecadienoic acid, methyl ester</i>	7.06	Antioksidan dan antimikroba (Antioxidants and antimicrobials) (Maharani dan Fernandes 2021)
<i>(9E,11E)-octadecenoic acid</i>	19.20	Anti inflammatory (Anti inflammatory) (Krishnamoorthy dan Subramaniam 2014)
<i>10E,12Z- octadecenoic acid</i>	2.64	Antioksidan (Antioxidants) (Shultz et al. 1992)
<i>9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-,</i>	1.81	Insektisida dan nematisida (Insecticides and nematicides) (Krishnamoorthy dan Subramaniam 2014)

GC-MS mendeteksi adanya senyawa pada ekstrak daun mahoni yang berpotensi sebagai nematisida, yaitu *10,13-octadecadienoic acid, methyl ester* 3.91% dan *methyl stearate* 1.24% keduanya tersebut berasal dari golongan *Linoleic acid ester*. Ekstrak daun mahoni memiliki senyawa yang berpotensi sebagai antioksidan yang tinggi dengan kandungan senyawa 64.39%, yaitu *10E,12Z-octadecadienoic acid* (Tabel 6).

Analisis GC-MS yang diperoleh dari filtrat bakteri endofit APE 35 menunjukkan adanya komponen senyawa *9-octadecenoic acid, (E)-* dengan kadar 4.26%, dimana senyawa ini diketahui berfungsi sebagai nematisida dari golongan *fatty acid*. Kandungan senyawa metabolit sekunder tertinggi dalam filtrat bakteri ialah *Pyrrolo (1,2-a) pyrazine- 1,4- dione, hexahydro-* (26.39%) dan *6-octadecenoic acid* (25.10%) yang berpotensi berturut-turut sebagai antibakteri dan antioksidan (Tabel 7).

Tabel 6 Senyawa metabolit asal ekstrak daun mahoni dan kandungannya berdasarkan analisis GC-MS
(Table 6 Metabolite compounds from mahogany leaf extract and their content based on GC-MS analysis)

Senyawa (Compound)	Kandungan (Content) (%)	Potensi aktivitas (Activity potential)
<i>neophytadiene</i>	4.77	Antimikroba dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Raman <i>et al.</i> 2015)
<i>10,13-octadecadienoic acid, methyl ester</i>	3.91	Nematisida dan insektisida (<i>Nematicides and insecticides</i>) (Krishnamoorthy dan Subramaniam 2014)
<i>11-octadecenoic acid, methyl ester</i>	1.67	Antimikroba (<i>Antimicrobial</i>) (Maharani dan Fernandes 2021)
<i>phytol</i>	1.09	Antimikroba dan antioksidan (<i>Antimicrobial and antioxidant</i>) (Krishnamoorthy dan Subramaniam 2014)
<i>methyl stearate</i>	1.24	Nematisida (<i>Nematicides</i>)(Lu <i>et al.</i> 2020)
<i>9,17-octadecadienal, (Z)-</i>	3.29	Antimikroba (<i>Antimicrobial</i>) (Krishnamoorthy dan Subramaniam 2014)
<i>10E,12Z-octadecadienoic acid</i>	64.39	Antioksidan (<i>Antioxidants</i>) (Shultz <i>et al.</i> 1992)
<i>squalene</i>	2.71	Antioksidan (<i>Antioxidants</i>) (Chiou 2002)
<i>vitamin E</i>	4.69	Antibakteri (<i>Antibacterial</i>) (Susilo dan Farhan 2023)
<i>.gamma.-Sitosterol</i>	1.96	Antibakteri, antifungi, dan antioksidan (<i>Antibacterial, antifungi, antioxidants</i>) (Verma <i>et al.</i> 2015)

Tabel 7 Senyawa metabolit asal filtrat bakteri endofit APE 35 dan kandungannya berdasarkan analisis GC-MS

(Table 7 Metabolite compounds from endophytic bacterial filtrate of the isolate APE 35 and their content based on GC-MS analysis)

Senyawa (Compound)	Kandungan (Content) (%)	Potensi aktivitas (Activity potential)
<i>cylo (L-proly-L-valine)</i>	3.65	Antibakteri (<i>Antibacterial</i>) (Priyanto <i>et al.</i> 2024)
<i>pyrrolo (1,2-a) pyrazine- 1,4-dione, hexahydro-</i>	26.39	Antibakteri (<i>Antibacterial</i>) (Kiran <i>et al.</i> 2018)
<i>hexahydro-3-(1-methylpropyl) pyrrolo (1,2-a) pyrazine-1,4-dione</i>	9.24	Antimikroba, antioksidan (<i>Antimicrobial, antioxidants</i>) (Priyanto <i>et al.</i> 2024)
<i>6-octadecenoic acid</i>	25.10	Antioksidan (<i>Antioxidants</i>) (Yusuf <i>et al.</i> 2021)
<i>oleic Acid</i>	15.10	Anti inflammatory (<i>Anti inflammatory</i>) (Yusuf <i>et al.</i> 2021)
<i>9-octadecenoic acid, (E)-</i>	4.26	Antibakteri, nematisida, dan insektisida (<i>Antibacterial, nematicides, and insecticides</i>) (Yamuna <i>et al.</i> 2017)
<i>9-octadecenoic acid, (Z)-</i>	5.10	Insektisida (<i>Insecticides</i>) (Adegoke <i>et al.</i> 2019) dan anti bakteri (<i>and antibacterial</i>) (Muzahid <i>et al.</i> 2023)

PEMBAHASAN

Nematoda *M. incognita* merupakan nematoda endoparasit menetap pada tanaman yang menyebabkan pembengkakan akar karena terjadi pembesaran dan pembelahan sel-sel korteks dan perisikel yang membuat terhambatnya transportasi unsur hara dan air yang membuat daun menjadi kuning dan tanaman menjadi kerdil (Nurjayadi *et al.* 2015). Penelitian ini memanfaatkan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit untuk mengendalikan *M. incognita*.

Hasil uji lanjutan ekstrak biji dan daun mahoni terhadap *M. incognita*, diperoleh nilai LC₉₅ yang lebih rendah untuk ekstrak biji dibandingkan ekstrak daun mahoni. Rendahnya konsentrasi yang dihasilkan oleh ekstrak biji mahoni menunjukkan bahwa ekstrak biji mahoni memiliki sifat yang lebih toksik terhadap *M. incognita* dibandingkan ekstrak daun mahoni. Perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni dapat menyebabkan kerusakan organ bagian dalam *M. incognita* khususnya organ pencernaan. Rusaknya organ dalam pada perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni dikarenakan adanya senyawa bioaktif yang dapat merusak organ tersebut.

Analisis GC-MS ekstrak biji mahoni mendeteksi senyawa metabolit sekunder yang bersifat volatil, yaitu *n-Hexadecanoic acid* dan *9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)* yang merupakan golongan *fatty acid*. Senyawa yang berasal dari golongan *fatty acid* dilaporkan mampu menghambat perkembangan dan pertumbuhan nematoda (Williams *et al.* 2005). Analisis GC-MS juga mendeteksi adanya senyawa volatil yang berpotensi sebagai nematisida pada ekstrak daun mahoni, yaitu senyawa *10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester*, dan *methyl stearate*. Namun kandungan senyawa tersebut lebih rendah dibandingkan senyawa dari ekstrak biji. Senyawa tersebut dilaporkan termasuk kedalam golongan senyawa metabolit *Linoleic acid ester* dan dapat menyebabkan kerusakan pada organ bagian dalam khususnya sistem pencernaan (Ntalli *et al.* 2016).

Ekstrak biji dan daun mahoni juga mengandung senyawa metabolit sekunder yang bersifat polar, yaitu senyawa flavonoid, alkaloid, saponin, steroid, tanin, dan terpenoid. Oktavia *et al.* (2021) menyatakan bahwa senyawa metabolit sekunder tersebut dapat memengaruhi sistem otot yang menyebabkan kelumpuhan, kelainan perilaku dan kegagalan pada sistem pernafasan. Koneri dan Pontoring (2016) dan Kurniawan *et al.* (2019) melaporkan golongan senyawa flavonoid paling banyak ditemukan dalam ekstrak biji dan daun mahoni. Senyawa flavonoid ini dapat menimbulkan kerusakan pada sistem saraf dan pernafasan serangga sehingga membuat serangga tidak dapat bernafas. Flavonoid dapat mendenaturasi protein yang mengakibatkan bahan makanan tidak bisa disalurkan dari alat pencernaan ke seluruh tubuh larva sehingga menyebabkan kematian (Hidayat *et al.* 2013).

Perlakuan filtrat bakteri endofit isolat APE 35 menyebabkan kerusakan pada kutikula *M. incognita* yang diduga berhubungan dengan enzim dan metabolit sekunder yang merusak kutikula tersebut. Analisis GC-MS dari filtrat bakteri APE 35 mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder yang berpotensi sebagai nematisida, yaitu *9-Octadecenoic acid, (E)*. Dilaporkan sebelumnya bahwa aktivitas enzim protease mampu mendegradasi jaringan kutikula (Yang *et al.* 2013). Enzim kolagenase, kitinase dan protease dapat berperan dalam proses pemecahan susunan biokimia dari kutikula nematoda dan kutikula telur *M. incognita* (Geng *et al.* 2016). Lebih lanjut Yin *et al.* (2021) melaporkan bahwa bakteri *B. cereus* menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang memiliki aktivitas sebagai nematisida dan dapat menyebabkan kematian nematoda hingga 90.08%.

Pengamatan terhadap gejala puru akar menunjukkan bahwa perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit dapat menekan insidensi puru akar. Dijelaskan oleh Oktavia *et al.* (2021) bahwa senyawa metabolit sekunder berupa alkaloid, flavonoid, tanin dan terpenoid dapat menekan perkembangan dan kematian *Meloidogyne* spp. Senyawa

metabolit tersebut juga dapat merusak kutikula telur *Meloidogyne* spp. sehingga terhambatnya perkembangan embrio dan penetasan telur tidak bisa terjadi.

Walaupun perlakuan ekstrak biji dan daun mahoni dapat menyebabkan mortalitas nematoda dan menekan gejala puru, tetapi perlakuan tersebut berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman tomat. Hal ini mengindikasikan adanya kandungan senyawa dari ekstrak biji dan daun mahoni yang bersifat fitotoksik terhadap tanaman tomat. Kurniawan *et al.* (2019) dan Hambali dan Alfiah (2022) melaporkan bahwa ekstrak daun mahoni dapat menghambat pertumbuhan gulma *Cleome rutidosperma* dan babadotan (*Ageratum*). Hal ini dikarenakan ekstrak daun mahoni menghasilkan senyawa flavonoid yang dapat menghambat perkembangan hormon IAA pada tanaman. Selain itu senyawa tanin yang terkandung pada ekstrak daun mahoni dapat menonaktifkan enzim amilase, protease, lipase, urease, dan menghambat aktivitas hormon giberelin.

Penelitian yang dilakukan berhasil menunjukkan bahwa ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35 mampu menyebabkan mortalitas *M. incognita* dan menekan puru akar pada tanaman tomat. Namun ekstrak biji dan daun mahoni dapat bersifat fitotoksik dan menghambat pertumbuhan tanaman tomat. Ekstrak biji dan daun mahoni serta filtrat bakteri endofit APE 35 mengandung senyawa yang berpotensi sebagai nematisida.

DAFTAR PUSTAKA

- Adegoke AS, Jerry OV, Ademola OG. 2019. GC-MS analysis of phytochemical constituents in methanol extract of wood bark from *Durio zibethinus* Murr. *Internasional Journal of Medicinal Plants and Natural Products*. 5(3):1–11. DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2454-7999.0503001>.
- Akyazi F. 2014. Effect of some plant methanol extracts on egg hatching and juvenile mortality of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *American Journal of Experimental Agriculture*. 4(11): 1471–1479. DOI: <https://doi.org/10.9734/AJEA/2014/10525>.
- Anggita SA. 2019. Potensi bakteri endofit sebagai agens biokontrol penyakit busuk pangkal batang (*Ganoderma boninense*) pada tanaman kelapa sawit [tesis]. Bogor (ID): IPB University.
- Asmoro PP. 2018. Bakteri endofit asal tumbuhan paku-pakuan untuk mengendalikan *Rhizoctonia solani* pada tanaman padi [skripsi]. Bogor (ID): IPB University.
- Chiou R, Weng YM, Ko TF. 2002. Squalene content and antioxidant activity of *Terminalia catappa* leaves and seeds squalene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(19):5343–5348. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0203500>.
- Eisenback JD, Hirschmann H, Sasser JN, Triantaphyllou. 1981. A Guide to the Four Most Common Species of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.) with a Pictorial Key. North Carolina (NC): IMP.
- Geng C, Nie X, Tang Z, Zhang Y, Lin J, Sun M, Peng D. 2016. A novel serine protease, Sep1, from *Bacillus firmus* DS-1 has nematicidal activity and degrades multiple intestinal-associated nematode proteins. *Scientific Reports*. 6:25012. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep25012>.
- Gommers. 1973. Nematicidal Principles in Compositae [disertasi]. Wageningen (NL): Agricultural University.
- Hambali S, Alfiah LN. 2022. Uji potensi bioherbisida ekstrak daun mahoni (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq) terhadap pertumbuhan gulma babadotan (*Ageratum conyzoides* L). *Jurnal Sungkai*. 10(1):1–8. DOI: <https://doi.org/10.30606/sungkai.v10i1.917>.
- Hidayat NN, Yuliani, Nur K. 2013. Pengaruh ekstrak daun suren dan daun mahoni terhadap mortalitas dan aktivitas makan ulat daun (*Plutella xylostella*) pada tanaman kubis. *Lenterabio*. 2(1):95–99.
- Hooper DJ, Hallmann J, Subbotin SA. 2005. Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. *Plant*

- Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. 2:53–86. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851997278.0053>.
- Hotmian E, Suoth E, Fatimawali, Tallei T. 2021. Analisis GC-MS (gas chromatograph-mass spectrometry) ekstrak metanol dari umbi rumput teki (*Cyperus rotundus* L.). *Pharmacoin*. 10:849–856. DOI: <https://doi.org/10.35799/pha.10.2021.34034>.
- Hutagalung L. 1988. Teknik Ekstraksi dan Membuat Preparat Nematoda Parasit Tumbuhan. Jakarta (ID): Rajawali Press.
- Jahuddin RWR, Munif A, Soekarno BPW, Gusmaini. 2021. Keefektifan isolat tunggal, campuran dan konsorsium bakteri endofit terhadap *Fusarium solani* dan *Meloidogyne* spp. secara *in Vitro*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 17(6):233–242. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.17.6.233-242>.
- Kiran GS, Priyadharsini S, Sajayan A. 2018. An antibiotic agent *pyrrolo[1,2-a]pyrazine-1,4-dione,hexahydro* isolated from a marine bacteria *Bacillus tequilensis* MSI45 effectively controls multi-drug resistant *Staphylococcus aureus*. *Royal Society of Chemistry Advances*. 8:17837–17846. DOI: <https://doi.org/10.1039/c8ra00820e>.
- Koneri R, Pontororing HH. 2016. Uji ekstrak biji mahoni (*Swietenia macrophylla*) terhadap larva *Aedes aegypti* vektor penyakit demam berdarah. *Jurnal Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*. 12(4):216–223.
- Krishnamoorthy K, Subramaniam P. 2014. Phytochemical profiling of leaf, stem, and tuber parts of *Solena amplexicaulis* (Lam.) Gandhi using GC-MS. *Internasional Scholarly Research Notices*. 2014(1):567409. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/567409>.
- Kurniawan A, Yulianty, Nurcahyani E. 2019. Uji potensi bioherbisida ekstrak daun mahoni (*Swietenia mahagoni* (L.) Jacq) terhadap pertumbuhan gulma mangan ungu (*Cleome rutidosperma* D.C.). *Jurnal Tadris Biologi*. 10(1):39–46. DOI: <https://doi.org/10.24042/biosfer.v10i1.4232>.
- Lu Q, Liu T, Wang N, Dou Z, Wang K, Zuo Y, Lu Q, Liu T, Wang N, Dou Z. 2020. Nematicidal effect of methyl palmitate and methyl stearate against *Meloidogyne incognita* on bananas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 68(24):1–36. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00218>.
- Maharani R, Fernandes A. 2021. Profil fitokimia dan GCMS daun sirih hitam (*Piper betle* L.) dari sekitar KHDTK Labanan, Kabupaten Berau 1. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*. 25(1):11–14.
- Morah AC, Ene AC, Ukairo DI, Morah FC, Ibeh SC, Osuagwu LO. 2023. Identification of compounds and functional groups of n-hexane seed extracts of *Citrullus lanatus* and *Elaeis guineensis* using GC-MS and FT-IR. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 25(3):107–119. DOI: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.25.3.0515>.
- Munif A, Harni R. 2011. Keefektifan bakteri endofit untuk mengendalikan nematoda parasit *Meloidogyne incognita* pada tanaman lada. *Buletin Ristri*. 2(3):1–6.
- Muzahid AA, Sharmin S, Hossain S, Ahamed KU, Ahmed N, Yeasmin MS, Ahmed NU, Saha BK, Rana GMM, Maitra B. 2023. Analysis of bioactive compounds present in different crude extracts of benincasa hispida and *Cucurbita moschata* seeds by gas chromatography-mass spectrometry. *Heliyon*. 9(1):e12702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12702>.
- Nabillah A, Charti M. 2024. Peran senyawa metabolit sekunder untuk pengendalian penyakit pada tanaman. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 8(1):15900-15911.
- Nguyen DMC, Jung WJ. 2014. Nematicidal properties of crude extracts obtained from medicinal plants against root-lesion nematode *Pratylenchus coffeae*. *Journal of Vietnamese Environment*. 6(3):264–269. DOI: <http://dx.doi.org/10.13141/jve.vol6.no3.pp264-269>.
- Ntalli N, Ratajczak M, Oplos C, Menkissoglu SU, Adamski Z. 2016. Acetic acid, 2-undecanone, and (*E*)-2-Decenal ultrastructural malformations on *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*. 48(4):248–260. DOI: <http://dx.doi.org/10.21307/jofnem-2017-033>.

- Nurjayadi MY, Munif A, Suastika G. 2015. Identifikasi nematoda puru akar, *Meloidogyne graminicola*, pada tanaman padi di Jawa Barat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 11(4):113–120. DOI: <http://dx.doi.org/10.14692/jfi.11.4.113>.
- Oktafiyanto MF. 2017. Potensi bakteri endofit asal tumbuhan mangrove sebagai pengendali *Ralstonia solanacearum* dan *Meloidogyne* spp. pada tanaman tomat (tesis). Bogor (ID): IPB University.
- Oktavia E, Wiranto, Sulyanti E. 2021. Aktivitas ekstrak daun jarak kepyar (*Ricinus communis* Linnaeus) terhadap perkembangan nematoda *Meloidogyne* spp. pada tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Jurnal Proteksi Tanaman*. 5(1):34–45. DOI: <https://doi.org/10.25077/jpt.5.1.34-45.2021>.
- Priyanto JA, Nur E, Hening W, Permatasari V, Eka M. 2024. Aktivitas antioksidan dan sitotoksitas ekstrak bakteri tanah asal pulau muna, Sulawesi Tenggara. *Ilmu Dasar*. 25(1):7–16.
- Raman V, Samuel LA, Saradhi PM, Rao NB, Krishna NVA. 2015. Antibacterial, antioxidant activity and GCMS analysis of *Eupatorium Odoratum*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 5(2):99–106.
- Rosselli S, Maggio A, Formisano C, Napolitano F, Senatore F, Spadaro V, Bruno M, Ten H, Greuter G, Burdet H. 2007. Chemical composition and antibacterial activity of extracts of *Helleborus bocconei* Ten. subsp. *intermedius*. *Natural Product Communications*. 2(6):675–679. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1934578X0700200611>.
- Rusandi R, Mardhiansyah M, Arlita T. 2016. Pemanfaatan ekstrak biji mahoni sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan hama ulat grayak (*Spodoptera litura* F) pada pembibitan *Acacia crassicarpa* A. cunn. ex Benth. *Jurnal Online Mahasiswa Faperta*. 3(1):1–6.
- Shultz TD, Chew BP, Seaman WR. 1992. Inhibitory effect of conjugated dienoic derivatives of linoleic acid and β -carotene on the in vitro growth of human cancer cells. *Cancer Letters*. 63(2):125–133. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3835\(92\)90062-Z](https://doi.org/10.1016/0304-3835(92)90062-Z).
- Singkoh M, Katili DY. 2019. Bahaya pestisida sintetik (sosialisasi dan pelatihan bagi wanita kaum ibu Desa Koka Kecamatan Tombulu Kabupaten Minahasa). *Jurnal Perempuan dan Anak Indonesia*. 1(1):5–12. DOI: <https://doi.org/10.35801/jpai.1.1.2019.24973>.
- Suyadi, Rosfiansyah. 2017. The role of plant-parasitic nematodes on productivity reduction of banana and tomato in East Kalimantan Indonesia. *Asian Journal of Agriculture*. 1(1):40–45. DOI: <https://doi.org/10.13057/asianjagric/g010108>.
- Tefa A. 2017. Uji viabilitas dan vigor benih padi (*Oryza sativa* L.) selama penyimpanan pada tingkat kadar air yang berbeda. *Jurnal Pertanian Konservasi Lahan Kering*. 2(3):48–50. DOI: <http://dx.doi.org/10.32938/sc.v2i03.210>.
- Verma VK, Kumar SR, Rani KV, Sehgal N. 2015. Compound profiling in methanol extract of *Kalanchoe blossfeldiana* (flaming katy) leaves through GC-MS Analysis and evaluation of its bioactive properties. *Global Journal of Advanced Biological Sciences*. 1(39):38–49.
- Williams DJ, Kloek AP, Hresko MC. United States Patent. 2005 Jun 7. Nematicidal Compositions and Methods. US.
- Yamuna P, Abirami P, Vijayashalini P, Sharmila M. 2017. GC-MS analysis of bioactive compounds in the entire plant parts of ethanolic extract of *Gomphrena decumbens* Jacq. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 5(3):31–37.
- Yang J, Liang L, Li J, Zhang KQ. 2013. Nematicidal enzymes from microorganisms and their applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 97:7081–7095.
- Yin N, Liu R, Zhao JL, Khan RAA, Li Y, Ling J, Liu W, Yang YH, Xie BY, Mao ZC. 2021. Volatile organic compounds of *Bacillus cereus* strain Bc-cm19 exhibit fumigation activity against *Meloidogyne incognita*. *Plant Disease*. 105(4):904–911.

- DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-20-0783-RE>.
- Yulianti T. 2013. Pengendalian hayati nematoda puru akar. *Jurnal Biologi Pertanian*. 1(1):255–263.
- Yusuf M, Indriati S, Attahmid NFU, Saleh R, Rifai A. 2021. Effect of extraction time on the bioactive compounds of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) using gas chromatography-mass spectrometry. *Bulletin of Pharmaceutical Sciences*. 45(1): 139–151. DOI: <http://dx.doi.org/10.21608/bfsa.2022.239372>.
- Zulaiha S, Munif A, Nawangsih AA. 2022. Potensi bakteri endofit asal *Latana camara*, kelapa sawit dan mangrove untuk mengendalikan *Meloidogyne* spp. pada tanaman terung. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 18(5):213–221. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.18.5.213-221>.