

Efektivitas Gelombang Ultrasonik dalam Eliminasi Nematoda Daun *Aphelenchoides* pada Umbi Bawang Merah

Fitrianiingrum Kurniawati¹, Supramana¹, Sri Hendrastuti Hidayat¹, Efi Toding Tondok¹,
Heriyanto Syafutra², Tri Asmira Damayanti¹, dan Nadzirum Mubin¹

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
Jalan Meranti, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

*Alamat korespondensi: fitrianiingrum@apps.ipb.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 19-11-2025

Direvisi: 04-05-2026

Dipublikasi: 02-06-2026

ABSTRACT/ABSTRAK

Effectiveness of Ultrasonic Waves in Eliminating Foliar Nematode *Aphelenchoides* in Shallot Bulbs

Keywords:
Cavitation, Exposure
time, Sonication,
Waves

The foliar nematode *Aphelenchoides* spp. is an important plant pathogen with a broad host range that causes significant crop losses. Conventional nematode control methods, including chemical nematicides, hot water treatment, and biological control agents, have been widely used but have several limitations. These limitations highlight the need to explore alternative, environmentally friendly, and effective control methods, such as ultrasonic wave technology. This study aims to evaluate the effectiveness of ultrasonic waves in eliminating foliar nematodes (*Aphelenchoides* spp.) in shallot bulbs and to assess their effects on plant growth. Nematodes were extracted using mist chamber and cold-water immersion methods. Nematodes were identified based on their morphological characteristics. Shallots infested with *Aphelenchoides* were treated with ultrasonic treatment for 26, 30, 37, 44, and 60 minutes, with untreated bulbs serving as control. Shallots treated with ultrasonic treatment were planted in pots, and their growth parameters were observed until harvest. Data were tabulated in Microsoft Excel and processed using SAS JMP. Ultrasonic treatment with a duration of more than 37 minutes resulted in a high mortality rate ($\geq 84,00\%$). Different exposure times showed no significant effect on plant height and root length compared to the control. Furthermore, ultrasonic treatment with longer duration (≥ 37 minutes) was very effective in suppressing the population of *Aphelenchoides* nematodes without affecting the growth of shallot plants.

Kata Kunci:
Gelombang kavitasi,
Sonikasi, Waktu papir

Nematoda daun *Aphelenchoides* merupakan salah satu patogen tanaman yang memiliki kisaran inang yang luas dan menyebabkan kehilangan hasil panen. Metode konvensional telah sering digunakan dalam pengendalian nematoda termasuk nematisida kimia, perawatan air panas, dan nematisida hayati tetapi memiliki keterbatasan. Hal ini menunjukkan perlunya eksplorasi metode alternatif yang ramah lingkungan dan efektif, seperti teknologi gelombang ultrasonik. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas gelombang ultrasonik dalam eliminasi nematoda daun *Aphelenchoides* pada umbi bawang serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan umbi bawang. Ekstraksi nematoda menggunakan metode pengabutan (*mist chamber*) dan perendaman air dingin. Nematoda diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi. Umbi bawang merah yang telah diinfestasikan *Aphelenchoides* diberi perlakuan ultrasonik dengan

lama perlakuan selama 26, 30, 37, 44, 60 menit dan kontrol. Umbi bawang yang telah diberi perlakuan ultrasonik ditanam di pot dan diamati parameter pertumbuhannya sampai panen. Data ditabulasikan di Microsoft Excel dan diolah menggunakan SAS JMP. Perlakuan ultrasonik dengan durasi yang lebih dari 37 menit menghasilkan tingkat mortalitas yang tinggi ($\geq 84,00\%$). Waktu papar yang berbeda menunjukkan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan kontrol pada tinggi tanaman dan panjang akar. Lebih lanjut, perlakuan ultrasonik dengan durasi yang lebih lama (≥ 37 menit) sangat efektif dalam menekan populasi nematoda *Aphelenchoides* tanpa memengaruhi pertumbuhan tanaman bawang merah.

PENDAHULUAN

Nematoda daun *Aphelenchoides* merupakan salah satu patogen tanaman yang mencakup lebih dari 190 spesies dan memiliki kisaran inang yang luas (Sánchez-Monge *et al.*, 2015). Tidak seperti kebanyakan nematoda parasit tumbuhan yang menginfeksi akar, nematoda ini menginfeksi bagian atas tanaman seperti daun dan batang (Khan, 2015). Dampak ekonomi dari *Aphelenchoides* cukup besar, dengan kerugian hasil panen mulai dari 10% hingga 65% tergantung pada tanaman dan tingkat infeksi (Ghareeb *et al.*, 2020).

Signifikansi permasalahan ini semakin meningkat akibat terbatasnya strategi manajemen nematoda yang efektif. Berbagai metode konvensional telah digunakan dalam pengendalian nematoda, seperti nematisida kimia, perlakuan air panas, dan nematisida hayati, namun masing-masing memiliki keterbatasan. Nematisida kimia masih banyak digunakan, tetapi penggunaannya semakin dibatasi karena risiko terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Mashavakure & Bandaru, 2023). Perlakuan air panas efektif menurunkan populasi nematoda, tetapi berpotensi menyebabkan kerusakan tanaman pada suhu tinggi (Jagdale & Grewal, 2004; Kohl *et al.*, 2011). Sementara itu, nematisida hayati, termasuk ekstrak mimba dan agens mikroba, menunjukkan efektivitas yang bervariasi dan umumnya memerlukan aplikasi berulang (Chatańska *et al.*, 2013; Roopa & Gadag, 2020). Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan metode alternatif yang lebih ramah lingkungan dan efektif, seperti teknologi gelombang ultrasonik.

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang dengan frekuensi lebih dari 20 kHz dan tidak terdeteksi oleh telinga manusia. Penggunaan gelombang ultrasonik sebagai metode pengendalian menawarkan pendekatan inovatif dalam pengendalian nematoda. Metode ini memanfaatkan

gelombang suara berfrekuensi tinggi untuk mengganggu fisiologi dan perilaku nematoda (Habashy *et al.*, 2018). Kombinasi gelombang ultrasonik dan panas yang dihasilkan telah digunakan untuk mengendalikan nematoda. Harada *et al.* (2008) berhasil mengeliminasi nematoda dan bakteri pada bawang putih yang dikombinasikan dengan ultrasonik dan panas. Penelitian lain menggunakan frekuensi 40 kHz untuk mengekstrak nematoda tanpa merusaknya dari sistem akar tanaman (Tangchitsomkid *et al.*, 2014). Gelombang ultrasonik tidak menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia atau lingkungan, berpotensi sebagai pilihan untuk pengendalian hama (Habashy *et al.*, 2018; Ghareeb *et al.*, 2020). Penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas gelombang ultrasonik dalam eliminasi nematoda daun *Aphelenchoides* pada umbi bawang serta pengaruh terhadap pertumbuhan umbi bawang.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan Sampel

Sampel daun, umbi, akar dan tanah diambil dari pertanaman bawang merah di lapangan secara purposif berdasarkan gejala infeksi nematoda. Gejala infeksi nematoda *Aphelenchoides* pada tanaman bawang berupa daun klorosis, daun melintir (*twisting*), nekrosis, dan pengerdilan (daun, batang, bunga atau umbi). Sampel tanah pada masing-masing lokasi survei diambil sebanyak 100 – 200 ml pada kedalaman 0 – 15 cm. Lokasi pengambilan sampel ditandai dengan GPS (*Global Positioning System*) untuk mengukur posisi geografis dan elevasi tanah. Sebanyak 5 titik sampel tanah diambil dari setiap lokasi mewakili kondisi lahan pada lokasi tersebut. Pengambilan sampel tanah dilakukan di Brebes, Jawa Tengah dan Cianjur, Jawa Barat. Sampel tanah, akar, daun, dan umbi tanaman dimasukkan ke dalam kantong plastik, diberi label lokasi dan dimasukkan dalam kotak pendingin.

Ekstraksi dan Identifikasi Nematoda Berdasarkan Karakter Morfologi

Ekstraksi nematoda menggunakan metode pengabutan (*mist chamber*) (EPP0, 2013) dan perendaman air dingin dengan suhu 20 °C. Akar, buah, daun dan umbi dipotong-potong dan diletakkan di atas saringan kasar, kemudian diletakkan di atas corong. Bagian bawah corong diletakkan gelas plastik untuk menampung suspensi nematoda. Suspensi nematoda diinkubasi selama 4 hari (96 jam) pada ruangan gelap dan suhu ruang. Air berperan penting dalam proses migrasi nematoda. Kabut akan keluar melalui saluran air yang berada di atas kotak pengabutan melalui *nozzle* yang berukuran kecil. Nematoda bermigrasi keluar dari akar, daun, buah, dan umbi dengan bantuan air. Suspensi nematoda yang terkumpul di gelas plastik disaring menggunakan saringan bertingkat 100 mesh dan 400 mesh kemudian disimpan dalam botol koleksi. Nematoda dalam suspensi diamati menggunakan bantuan mikroskop stereoskopik. Identifikasi dilakukan mengikuti metode standar taksonomi morfologi (*morphological taxonomy*) menggunakan buku kunci identifikasi *Pictorial Key to Genera of Plant-parasitic Nematodes* (Mai & Lyon 1975) dan literatur pendukung lainnya.

Perlakuan Ultrasonik

Benih bawang merah ditanam pada media tanah steril dan pupuk kandang (1:1) di pot ($\varnothing = 8$ cm). Setelah ditanam, pada 10 HSS (hari setelah semai) umbi bawang merah diinfestasikan *Aphelenchoides fragariae* sebanyak 50 ekor per umbi dalam suspensi 1 ml menggunakan pipet dan diinkubasi hingga 40 HSS. Kemudian, umbi dipanen dan dimasukkan ke dalam jaring polinet untuk dilakukan sonifikasi. Lama perlakuan ultrasonik, menggunakan alat sonikator 40 kHz, mengikuti waktu perlakuan yang dapat mematikan nematoda dan tidak menimbulkan kerusakan pada tanaman selama 26, 30, 37, 44, 60 menit dan kontrol. Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 taraf perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan menggunakan air dengan suhu

awal 25 °C, selanjutnya setiap 5 menit dilakukan pencatatan terhadap suhu air di dalam alat ultrasonik kemudian disaring menggunakan saringan nematoda dengan ukuran 400 mesh dan dihitung populasinya.

Pengaruh Teknik Ultrasonik terhadap Pertumbuhan Tanaman

Umbi bawang yang telah diberi perlakuan ultrasonik ditanam di pot ($\varnothing = 8$ cm) dengan menggunakan campuran media tanah steril dan kompos (1:1). Setelah 30 HSP (hari setelah perlakuan), umbi dipanen dan dilakukan pengukuran terhadap data agronomis yang meliputi tinggi tanaman, panjang akar, bobot umbi dan ekstraksi nematoda pada umbi.

Analisis Data

Data ditabulasikan menggunakan Microsoft Excel dan diolah dengan perangkat lunak SAS JMP. Uji beda antar perlakuan dilakukan menggunakan ANOVA yang dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gejala Penyakit Akibat Infeksi Nematoda *Aphelenchoides*

Gejala penyakit pada tanaman bawang merah berupa daun mengering pada bagian pucuk, daun melintir, layu, dan kerdil (Gambar 1a dan 1b). Gejala pada pertanaman bawang merah ditunjukkan gejala berupa tanaman mengering, layu, dan berwarna kecokelatan (Gambar 1c). Umbi bawang merah yang terinfeksi menunjukkan gejala berupa bercak coklat kehitaman di bagian kulit umbi dan penampakan umbi tidak mulus (Gambar 1d), serta umbi menjadi tidak bernas atau tidak berisi. Nematoda *Aphelenchoides* berhasil diekstrak dari bawang merah bergejala dan diidentifikasi berdasarkan karakter morfologinya. Gejala infeksi nematoda *Aphelenchoides* pada bawang merah yang sama telah dilaporkan oleh Anindita *et al.* (2021), yaitu daun melintir, klorosis, layu, dan kerdil.

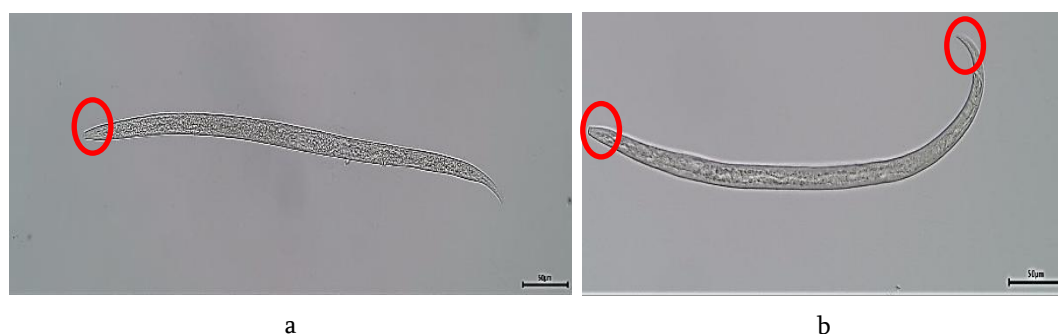


Gambar 1. Gejala penyakit pada bawang merah. (a) Tanaman daun melintir dan layu, (b) tanaman kerdil, (c) pertanaman bawang merah kerdil dan daun kecoklatan, dan (d) bercak kecoklatan pada umbi bawang merah.

Karakter Morfologi Nematoda *Aphelenchoides*

Nematoda *Aphelenchoides* yang ditemukan pada tanaman bawang merah memiliki tubuh yang ramping memanjang (*vermiform*). Nematoda betina berbentuk lurus sedikit melengkung, sedangkan jantan ekornya melengkung sekitar 45° hingga 90° saat fase istirahat (dorman). Daerah bibir sedikit terpisah dari bagian tubuh (*off-set*). Stilet ramping dan tipis disertai knob kecil yang jelas. Metakorpus (*median bulb*) besar, kelenjar esofagus bagian dorsal tumpang tindih dengan bagian usus. Nematoda jantan tidak memiliki bursa. Ekor jantan dan betina

berbentuk kerucut serta terdapat satu mukro di ujung ekor (Gambar 2a dan 2b). Nematoda *Aphelenchoides* yang ditemukan memiliki karakter morfologi sesuai dengan deskripsi Mai & Lyon (1975), yaitu fase dorman betina berbentuk lurus atau melengkung dan ekor jantan melengkung ke arah ventral, *median bulb* berbentuk bulat dan lebarnya hampir sama dengan lebar tubuh, kelenjar esofagus tumpang tindih dengan usus bagian dorsal, vulva betina mengarah ke anterior, spikula jantan berbentuk duri tanpa bursa, dan ekor mengerucut dengan mukro.



Gambar 2. Morfologi nematoda *Aphelenchoides*. (a) Nematoda betina. (b) Nematoda jantan.

Uji *In-Vitro* Penggunaan Ultrasonik untuk Mengeliminasi *Aphelenchoides*

Penggunaan gelombang ultrasonik pada semua periode waktu perlakuan menunjukkan mortalitas

nematoda *Aphelenchoides* (Tabel 1). Mortalitas *Aphelenchoides* dengan perlakuan waktu paparan yang berbeda mencapai 44,09% hingga 97,71%. Tingkat mortalitas pada waktu paparan 26 menit (44,09%)

berbeda nyata dengan mortalitas pada waktu papir 30 menit (72,14%) dan waktu papir 37 menit hingga 60 menit (84,00% – 97,71%). Semakin lama waktu paparan gelombang ultrasonik yang mengakibatkan suhu air akhir meningkat maka semakin tinggi persentase mortalitas *Aphelenchoides* spp. Perlakuan

pada kisaran waktu 37 menit hingga 60 menit menghasilkan mortalitas yang tinggi ($\geq 84,00\%$) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan sonikasi pada 44 dan 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu paparan minimal 37 menit sudah cukup efektif dalam meningkatkan mortalitas secara signifikan.

Tabel 1. Pengaruh ultrasonik dengan waktu papir berbeda terhadap persentase mortalitas *Aphelenchoides* pada bawang merah

Perlakuan aplikasi gelombang ultrasonik (menit)	Suhu air akhir (°C)	Mortalitas(%)
26	37	44,09 a
30	40	72,14 b
37	43	84,00 bc
44	45	92,53 c
60	47	97,71 c
Kontrol	-	0 d

Keterangan: Angka selanjur yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan tidak nyata pada uji Tukey ($\alpha = 0,05$)

Perlakuan ultrasonik dapat menyebabkan kematian pada nematoda *Aphelenchoides*. Prinsip utama ultrasonik adalah mekanisme kavitasi, yaitu proses pembentukan dan pemecahan gelembung gas akibat gelombang ultrasonik dalam media cair. Gelembung gas yang pecah menghasilkan tekanan mekanis dan suhu yang tinggi. Keduanya berpengaruh terhadap struktur sel nematoda dengan menyebabkan gangguan dinding sel yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel nematoda (Nyborg, 1998; Steele *et al.*, 2021). Paparan ultrasonik pada *Caenorhabditis elegans* dilaporkan dapat mengakibatkan berkurangnya gerakan karena gangguan sistem saraf, fekunditas, dan kematian

nematoda akibat mekanisme kavitasi (Steele *et al.*, 2021).

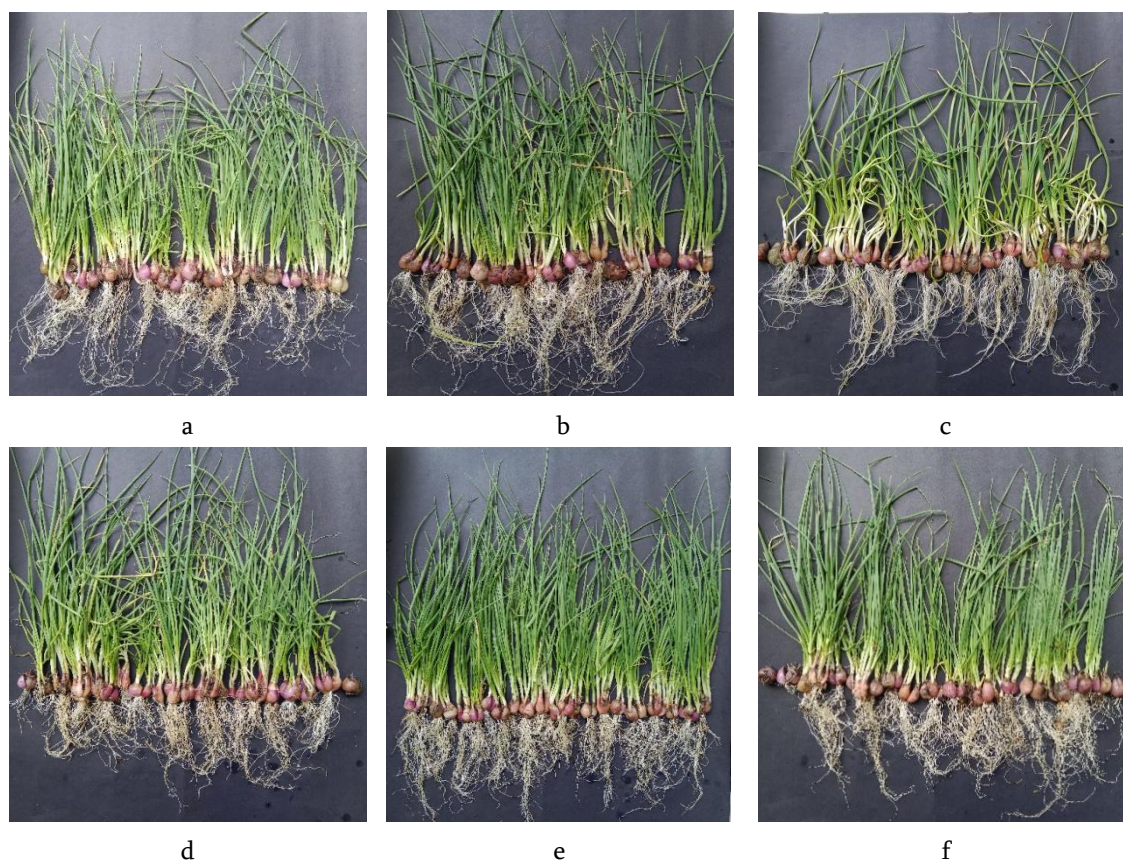
Pengaruh Gelombang Ultrasonik terhadap Pertumbuhan Tanaman

Bawang merah yang diberi perlakuan gelombang ultrasonik dengan waktu papir yang berbeda menunjukkan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan kontrol pada pengamatan terhadap tinggi tanaman dan panjang akar (Tabel 2 dan Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa semua perlakuan lamanya paparan terhadap gelombang ultrasonik tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan umbi bawang merah. Perlakuan ultrasonik tidak mempengaruhi vigor tanaman.

Tabel 2. Pengaruh perlakuan lamanya aplikasi gelombang ultrasonik terhadap daya tumbuh, tinggi tanaman dan panjang akar pada bawang merah

Waktu papir (menit)	Kode	Daya tumbuh (%)	Tinggi tanaman (cm)	Panjang akar (cm)
26	P26	65,30	19,88 a	12,61 a
30	P30	66,67	20,03 a	13,35 a
37	P37	68,30	20,49 a	14,86 a
44	P44	76,00	21,49 a	14,97 a
60	P60	76,00	22,87 a	15,51 a
Kontrol	P00	61,30	16,97 a	11,68 a

Keterangan: Angka selanjur yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan tidak nyata pada uji Tukey ($\alpha=0,05$)



Gambar 3. Pertumbuhan tanaman bawang merah setelah perlakuan ultrasonik dibanding dengan kontrol; (a) perlakuan 60 menit, (b) 44 menit, (c) 37 menit, (d) 30 menit, (e) 26 menit, dan (f) kontrol.

Gelombang ultrasonik berhasil meningkatkan daya berkecambah benih kedelai dengan menginduksi retakan pada kulit biji sehingga memfasilitasi ketersediaan oksigen dan penyerapan air yang lebih tinggi (Alfalahi *et al.*, 2022). Selain itu, degradasi pati dengan menggunakan ultrasonik, dapat menyebabkan peningkatan laju reaksi hidrolisis yang dikatalisis enzim di dalam biji (Yaldagard *et al.*, 2008). Aktivitas enzim hidrolisis yang lebih besar dapat menyebabkan perkecambahan yang lebih cepat dan pertumbuhan embrio yang lebih cepat setelah sonikasi. Peningkatan juga terlihat pada panjang akar dan tinggi tanaman dari semua lama waktu paparan. Namun, peningkatan panjang akar dan tinggi tanaman berbeda dari kontrol tergantung pada lama waktu paparan ultrasonik. Machikowa *et al.* (2016) menjelaskan bahwa semua durasi perlakuan menghasilkan panjang pucuk bibit bunga matahari yang lebih tinggi. Namun, hanya ultrasonik dengan intensitas dan durasi yang tepat yang akan meningkatkan aktivitas enzim atau mendorong pertumbuhan sel dengan merangsang aktivitas fisiologis sel, sedangkan pada intensitas tinggi akan

terjadi lebih banyak kerusakan pada sel atau struktur enzim.

Peningkatan daya tumbuh dan pertumbuhan vegetatif tanaman pada perlakuan ultrasonik yang lebih lama juga dipengaruhi oleh berkurangnya tekanan serangan nematoda *Aphelenchoides*. Tingkat mortalitas nematoda yang tinggi menyebabkan tanaman dapat tumbuh lebih optimal karena tidak terganggu oleh patogen tersebut. Selain itu, perlakuan ultrasonik juga memicu perbaikan fisiologis benih, seperti permeabilitas membran atau aktivitas enzim, yang mendukung pertumbuhan lebih baik.

SIMPULAN

Perlakuan ultrasonik dengan durasi yang lebih lama (≥ 37 menit) menghasilkan tingkat mortalitas nematoda *Aphelenchoides* $\geq 84,00\%$, dengan hasil mortalitas tertinggi $97,71\%$ pada 60 menit. Perlakuan ultrasonik tidak memengaruhi daya tumbuh, tinggi tanaman, dan panjang akar bawang merah. Oleh karena itu, teknologi ultrasonik berpotensi

dimanfaatkan sebagai metode pengendalian nematoda tanpa memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Namun, keterbatasan teknik ini meliputi ketergantungan pada frekuensi dan durasi gelombang ultrasonik, yang berbeda efektivitasnya antar spesies nematoda dan tanaman inang. Penyesuaian parameter perlu dilakukan untuk mencapai tingkat eliminasi optimal pada spesies nematoda yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sobikhin, S.P. dan Dhiva Syafa Quamilla, S.P., sebagai teknisi, dalam membantu proses penelitian serta kepada Direktorat Riset dan Inovasi IPB yang telah mendanai penelitian skema Dosen Muda dengan nomor kontrak 23423/IT3/PT.01.03/P/B/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfalahi, AO, BS Alobaidy, AA Almarie, OM Dhanoon, JR Qasem, AF Almehemdi, and A Najda. 2022. Ultrasonic treatment enhances germination and affects antioxidant gene expression in soybean (*Glycine max* L. Merr). *Agronomy*. 12(10): 2446. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102446>.
- Anindita, DC, Supramana, and Giyanto. 2021. Detection and identification of *Aphelenchoides fragariae* nematodes on shallot bulbs in Bogor, West Java, Brebes Central Java, and Nganjuk, East Java. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 807: 022102. DOI: 10.1088/1755-1315/807/2/022102.
- Chałańska, A, G Łabanowski, and R Maciorowski. 2013. Control efficacy of selected natural products against chrysanthemum foliar nematode—*Aphelenchoides ritzemabosi* (Schwartz, 1911) Steiner & Buhner, 1932. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*. 53(3): 563–567. DOI: 10.14199/ppp-2013-064
- [EPPO] European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2013. Nematode extraction. *PM* 7/119(1). *EPPO Bulletin*. 43: 471–495. DOI:10.1111/epp.12077.
- Ghareeb, RY, EE Hafez, and DS Ibrahim. 2020. Current management strategies for phytoparasitic nematodes. *Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges*. Springer: Singapore. Pp 339-352.
- Habashy, GHA, MK Abd El-Wahab, MA El-Deeb MA, and HA El-Gendy. 2018. Study of ultrasonic waves influence on *Spodoptera frugiperda* biology. *Journal of Agricultural Research*. 45(6B): 2433-2438. DOI: 10.21608/zjar.2023.289457.
- Harada, Y, H Noda, and K Shoto. 2008. Bacteria extermination apparatus for exterminating parasites in agricultural products e.g. garlic has heat pipe ultrasonic generator that produces ultrasonic waves that exterminate nematode and bacteria inside and exterior of garlic. Patent JP2007312756-A2008-01-04.
- Jagdale, GB, dan PS Grewa. 2004. Effectiveness of a hot water drench for the control of foliar nematodes *Aphelenchoides fragariae* in Floriculture. *Journal of Nematology*. 36(1): 49–53.
- Khan, MR. 2015. Nematode diseases of crops in india. Pp. 83-124 *in* Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases. Springer. New Delhi.
- Kohl, LM. 2011. Foliar nematodes: a summary of biology and control with a compilation of host range. *Plant Health Progress*. 12(1): 1-34. DOI:10.1094/php-2011-1129-01-rv.
- Machikowa, T, T Kulrattanarak, and S Wonprasaid S. 2013. Effects of ultrasonic treatment on germination of synthetic sunflower seeds. Pp. 53. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology; World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET)*. Paris, France.
- Mai, WF, and HH Lyon HH. 1975. *Pictorial Key to Genera of Plant-Parasitic Nematodes*. Cornell University Press. New York.
- Mashavakure, N, and G Bandaru. 2023. Host Resistance, Current Status, and Emerging Advances. Pp. 95-112 *in* Novel Biological and Biotechnological Applications in Plant Nematode Management (MR Khan, eds.). Springer. Singapore.
- Nyborg, WL. 2000. Biological effects of ultrasound: development of safety guidelines: Part I: Personal Histories. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 26 (6): 911-964. DOI: 10.1016/S0301-5629(00)00243-X.
- Roopa, KP, and AS Gadag. 2020. Importance of biopesticides in the sustainable management of plant-parasitic nematodes. Pp. 205-227 *in*

- Management of Phytonematodes: Recent Advances and Future Challenges (R Ansari, R Rizvi, I Mahmood, eds.). Springer, Singapore.
- Sánchez-Monge, A, L Flores, L Salazar, S Hockland, and W Ber W. 2015. An updated list of the plants associated with plant-parasitic *Aphelenchoides* (Nematoda: Aphelenchoididae) and its implications for plant-parasitism within this genus. *Zootaxa*. 4013(2): 207–224. DOI: 10.11646/zootaxa.4013.2.3.
- Steele, LM, TJ Kotsch, CA Legge, and DJ Smith. 2021. Establishing *C. elegans* as a model for studying the bioeffects of therapeutic ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 47(8): 2346–2359. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2021.04.005.
- Tangchitsomkid, N, T Chanmalee, and M Hodda. 2014. Ultrasonic extraction of plant-parasitic nematodes from plant roots. *Australasian Plant Pathology*. 44: 87 - 96. DOI: 10.1007/s13313-014-0325-4.
- Yaldagard, M, SA Mortazavi, and F Tabatabaie. 2008. Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barley seed: optimization of method by the taguchi approach. *Journal of the Institute of Brewing*. 114: 14-21. DOI: 10.1002/j.2050-0416.2008.tb00300.x.