

Ketahanan Varietas Padi terhadap Nematoda Pucuk Putih *Aphelenchoides besseyi*

The Resistance of Rice Varieties Against White Tip Nematode *Aphelenchoides besseyi*

Annisa Nur Imamah, Supramana*, Tri Asmira Damayanti
Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, 16680

(diterima Maret 2024, disetujui Juni 2025)

ABSTRAK

Penyakit pucuk putih pada padi yang disebabkan oleh *Aphelenchoides besseyi* merupakan penyakit tergolong baru dan telah tersebar di Indonesia. Penggunaan varietas tahan merupakan salah satu cara terbaik untuk mengendalikan *A. besseyi*. Namun, belum ada informasi terkait ketahanan varietas padi terhadap *A. besseyi* di Indonesia. Sembilan varietas padi diuji respons ketahanannya terhadap *A. besseyi* dengan menggunakan inokulum sebanyak 500 ekor nematoda per tanaman. Nematoda *A. besseyi* diinfestasikan pada fase pembungaan dengan cara menyemprotkan suspensi nematoda ke bagian malai dan diamati panjang malai, jumlah bulir, jumlah bulir bernas dan hampa, berat 100 bulir bernas, jumlah nematoda, dan ekspresi gen PBZ1 padi. Deteksi gen ketahanan PBZ1 dilakukan dengan *one step reverse transcription-polymerase chain reaction* (RT-PCR) menggunakan primer spesifik PBZ1F dan PBZ1R. Berdasarkan parameter hasil panen, populasi *A. besseyi*, dan ekspresi gen PBZ1, respons ketahanan varietas padi terhadap infestasi *A. besseyi* dibagi menjadi tiga kategori ketahanan, yaitu tahan ('Ciherang', 'Utri Merah', dan 'Utri Rajapan'), toleran ('Inpago 7', 'IPB 3S', 'Prima', dan 'Situ Bagendit'), dan rentan ('Inpara 3' dan 'Inpara 4'). Infestasi *A. besseyi* menginduksi ekspresi gen PBZ1 pada varietas uji dengan intensitas berbeda tergantung tingkat ketahanan varietas. Varietas 'Ciherang', 'Inpago 7', 'Situ Bagendit', 'Utri Merah', dan 'Utri Rajapan' menunjukkan ekspresi gen PBZ1 tinggi baik sebelum maupun setelah infestasi *A. besseyi*. Intensitas ekspresi gen PBZ1 yang tinggi sebelum infestasi *A. besseyi* menunjukkan varietas ini merupakan sumber potensial varietas tahan terhadap *A. besseyi*. Hasil penelitian menunjukkan ada korelasi antara tingginya ekspresi gen PBZ1 dengan ketahanan varietas padi terhadap *A. besseyi*.

Kata kunci: deteksi RT-PCR, gen PBZ1, intensitas penyakit, populasi nematoda, varietas tahan

ABSTRACT

White tip disease on rice caused by *Aphelenchoides besseyi* is considered as a new important disease and it had widely distributed in Indonesia. The utilizing of resistant varieties is one of the best methods to control *A. besseyi*. However, there is no information regarding the resistance of rice varieties to *A. besseyi* in Indonesia. Nine rice varieties were evaluated for their resistance response to *A. besseyi* by inoculating 500 nematode per plant. Nematode *A. besseyi* was infested at the anthesis phase by spraying the nematode suspension onto the panicles followed by observation on panicle length, number of grains, number of full and empty grains, weight of 100 full grains, number of nematodes and expression of the

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, 16680
Tel: +62 251 8629364, Faks: +62 251 8629364, Surel: supramana@apps.ipb.ac.id.

PBZ1 gene of rice. Expression of PBZ1 gene was conducted by one-step reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) using a specific primer PBZ1F and PBZ1R. Based on yield parameters, *A. besseyi* population, and PBZ1 gene expression, the resistance response of rice varieties to *A. besseyi* infestation was differentiated into three categories, namely resistant ('Ciherang', 'Utri Merah', and 'Utri Rajapan'), tolerant ('Inpago 7', 'IPB 3S', 'Prima', and 'Situ Bagendit') and susceptible ('Inpara 3' and 'Inpara 4'). *Aphelenchoides besseyi*'s infestation induces PBZ1 gene expression in the tested varieties at different intensities depending on their level of resistance. 'Ciherang', 'Inpago 7', 'Situ Bagendit', 'Utri Merah', and 'Utri Rajapan' showed high PBZ1 gene intensity both before and after *A. besseyi* infestation. The high intensity PBZ1 gene expression before *A. besseyi* infestation showed that this varieties have a potential source of resistant to *A. besseyi*. Based on the results there is a correlation between the high expression of PBZ1 gene with the resistance of rice varieties to *A. besseyi*.

Keywords: disease intensity, nematode population, PBZ1 gene, resistance varieties, RT-PCR detection

PENDAHULUAN

Nematoda pucuk putih (*Aphelenchoides besseyi*) merupakan salah satu patogen penting pada padi dan telah menyebar luas di Indonesia. Nematoda ini merupakan nematoda tular benih (*seed-borne*) yang menyebabkan gejala pucuk putih (*white tip*) (Hagag *et al.* 2024). Sebanyak 74.32% benih padi yang diambil dari toko pertanian, produsen benih, dan petani yang ada di Jawa telah terinfestasi *A. besseyi* (Diana *et al.* 2018). Keberadaan *A. besseyi* di Pulau Sumatera pada benih padi varietas 'Ciherang', 'Mekongga', 'IR 42', dan 'IR 64' positif terinfestasi *A. besseyi* dengan rata-rata populasi 3–66 ekor nematoda per 5 g benih (Ahmad 2017) dan di daerah Beringin, Kabupaten Deli Serdang menginfeksi pada varietas 'Pandan Wangi' dan 'Ciherang' (Suswati *et al.* 2025). Tingkat infestasi *A. besseyi* pada benih padi di Bogor menunjukkan bahwa delapan varietas benih padi yang diperoleh dari kios pertanian di Bogor dan Kebun Percobaan Muara mengandung *A. besseyi* dengan jumlah berkisar 3–341 ekor per 5 g benih (Kurniawati dan Supramana 2016).

Berdasarkan deteksi benih padi pada varietas 'Pak Tiwi 1', 'IR64', 'Ciherang', 'IPB 3S', dan 'SL8 SHS' juga terbukti *A. besseyi* sebagai patogen tular benih (Rahman *et al.* 2018). Hal ini menunjukkan mayoritas benih padi yang digunakan oleh petani telah terinfestasi *A. besseyi*. Infeksi alami *A. besseyi* pada varietas 'Ciherang', 'Sintanur', 'Pepe', dan 'IPB 3S' menyebabkan penurunan jumlah

anakan dan berat 100 benih padi (Lubis *et al.* 2020). Infeksi *A. besseyi* menyebabkan penurunan jumlah bulir padi per malai sebesar 38.3% dan berat malai sebesar 49.7%; pada varietas rentan menyebabkan kehilangan hasil mencapai 52.1% dan pada varietas tahan sebesar 7.8% (Tulek *et al.* 2015).

Perbedaan genetik antarvarietas dapat terekspresi secara fenotip dalam bentuk perbedaan gejala yang ditimbulkan ketika adanya infeksi dan infestasi dari patogen. Salah satu respons pertahanan tanaman terhadap infeksi patogen yang paling banyak dipelajari ialah ekspresi kelompok protein yang dikode oleh inang, yaitu *pathogenesis-related protein* (PR-protein) (Kim *et al.* 2003). PR-protein yang penting pada tanaman padi ada tiga jenis, yaitu PR1, PR5, dan PR10 (PBZ1-probenazole-inducible protein) (Agrawal *et al.* 2001). Gen PBZ1 menyandi PR-protein, yaitu gen yang aktif sebagai reaksi tanaman terhadap infeksi patogen. Pada tanaman padi, gen PBZ1 juga dapat diinduksi oleh infeksi patogen *Pyricularia oryzae* (Kurnianingsih 2008; Sari 2008) dan bakteri endofit (Parida *et al.* 2016).

Pengendalian penyakit pucuk putih di beberapa negara dilakukan dengan menggunakan varietas padi tahan terhadap *A. besseyi*. Ketahanan varietas padi terhadap *A. besseyi* telah dilaporkan di Jepang (Nishizawa 1953), Korea (Park dan Lee 1976), dan Russia (Popova *et al.* 1994). Varietas padi unggul yang tahan terhadap hama dan penyakit di Indonesia memiliki keragaman tinggi (Wahab

et al. 2017). Namun, belum ada laporan tentang varietas padi yang ada saat ini memiliki ketahanan terhadap *A. besseyi*. Oleh karena itu, penelitian bertujuan menguji respons ketahanan sembilan varietas padi komersial terhadap infeksi *A. besseyi*.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Tanaman Uji, Perbanyakan dan Infestasi *Aphelenchoides besseyi*

Padi yang digunakan terdiri atas sembilan varietas, yaitu padi tetua tahan ('Utri Merah' dan 'Utri Rajapan'), varietas Inpari ('Ciherang' dan 'IPB 3S'), varietas Inpago ('Situ Bagendit' dan 'Inpago 7'), varietas Inpara ('Inpara 3' dan 'Inpara 4'), dan varietas hibrida ('Prima'). Penggunaan padi tetua tahan dalam pengujian dikarenakan perbaikan ketahanan varietas melalui pemuliaan banyak menggunakan sumber genetik dari varietas lokal, namun belum ada laporan tentang varietas padi yang ada saat ini memiliki ketahanan terhadap *A. besseyi*. Benih padi varietas 'Situ Bagendit', 'Inpago 7', 'Inpara 3', dan 'Inpara 4' diperoleh dari Instalasi Pengujian dan Penerapan Standar Instrumen Pertanian (IP2SIP) Muara Bogor. Benih padi varietas 'Utri Merah' dan 'Utri Rajapan' diperoleh dari Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Padi Sukamandi Subang. Benih padi varietas 'Ciherang', 'IPB 3S', dan 'Prima' diperoleh dari kios pertanian di Bogor.

Pembiakan massal *A. besseyi* dilakukan pada kultur cendawan *Fusarium semitectum*. Kultur cendawan ditumbuhkan menggunakan medium agar-agar dekstroza kentang (ADK) pada cawan petri 9 cm. Nematoda disterilisasi permukaan dengan 0.1% streptomisin sulfat kemudian dibilas dengan akuades steril sebanyak tiga kali sebelum diinfestasikan ke dalam kultur cendawan. Selanjutnya, 25 nematoda yang telah disterilisasi diinfestasikan ke dalam kultur cendawan ketika miselium telah memenuhi cawan dan diinkubasi pada suhu 25 °C. Setelah 21 hari, nematoda diekstrak dan dihitung populasinya (Imamah *et al.* 2020).

Bibit padi yang berumur 2 minggu dipindah tanam ke media tanam. Media tanam berupa tanah dan kompos dengan perbandingan

1 : 1. Selanjutnya media dimasukkan ke dalam pot berukuran 40 × 40 cm sampai kedalaman 30 cm dari dasar pot. Media tanam digenangi air sampai kapasitas lapang, kemudian bibit tanaman padi sawah yang telah disemai dapat dipindah tanam. Sebanyak 500 nematoda per tanaman diinfestasikan pada fase pembungaan dengan cara menyemprotkan suspensi nematoda ke bagian malai. Adapun parameter yang diamati ialah parameter penyakit dan agronomi. Parameter penyakit terdiri atas jumlah nematoda dan ekspresi gen ketahanan, sedangkan parameter agronomi terdiri atas panjang malai, jumlah bulir, jumlah bulir bernas dan hampa, dan berat 100 bulir yang dilakukan pada akhir masa pengamatan.

Penghitungan Populasi *Aphelenchoides besseyi*

Penghitungan populasi nematoda dilakukan pada akhir pengamatan sebanyak 5 g benih. Ekstraksi *A. besseyi* pada benih padi menggunakan metode ekstraksi corong Baermann yang dimodifikasi (IRRI 1994) kemudian penghitungan jumlah populasi dengan rumus menurut Coyne *et al.* (2014)

$$N = \frac{V}{v} \times n, \text{ dengan}$$

N, jumlah populasi nematoda; V, volume suspensi dalam botol; v, volume suspensi dalam cawan sirakus; dan n, jumlah rata-rata nematoda terhitung di bawah mikroskop.

Indeks Skala Penyakit

Ketahanan terhadap *A. besseyi* diukur berdasarkan gejala dan nilai populasi final (P_f) nematoda pada benih menggunakan indeks skala penyakit menurut pedoman yang digunakan (Popova *et al.* 1994) dengan beberapa modifikasi. Tingkat ketahanan padi digolongkan sebagai berikut: 0, tidak ada gejala pucuk putih, tidak ada nematoda; 1, tidak ada gejala pucuk putih, populasi nematoda 1–100 per 5 g benih; 3, tidak ada gejala pucuk putih, populasi nematoda > 100 per 5 g benih; dan 5, terdapat gejala pucuk putih, populasi nematoda > 100 per 5 g benih.

Rata-rata indeks penyakit tiap varietas dihitung dengan rumus menurut Popova *et al.* (1994)

$$P = \frac{\sum (B \times n)}{N}, \text{ dengan}$$

P, indeks skala penyakit; B, rerata indeks infeksi; n, jumlah tanaman; dan N, jumlah total tanaman yang terinfeksi.

Ketahanan tiap kultivar dikategorikan berdasarkan indeks skala penyakit sebagai berikut: 0, imun; 0.1–1.0, sangat tahan; 1.1–3.0, moderat tahan; 3.1–4.0, moderat rentan; dan 4.1–5.0, sangat rentan.

Ekstraksi RNA Total dari Daun Padi

Eksresi gen ketahanan varietas padi dideteksi dengan RT-PCR melalui tahapan ekstraksi RNA, *one step* RT-PCR, dan visualisasi hasil amplifikasi. Ekstraksi RNA total dilakukan dari setiap varietas padi tanpa dan terinfestasi *A. besseyi*. Ekstraksi RNA total mengikuti metode yang dilakukan oleh Doyle *et al.* (1990).

Amplifikasi Gen PBZ1 dengan *One-step* RT-PCR

RNA total hasil ekstraksi selanjutnya diamplifikasi dengan metode RT-PCR menggunakan primer spesifik PBZ1F (5'-CAG TGG TCA GTA GAG TGA TC-3') dan PBZ1R (5'-CTG GAT AGA GGC AGT ATT CC-3') dengan target ampikon berukuran ± 900 pb (Sari 2008). Reaksi amplifikasi terdiri atas 12.5 μ L Go Taq Green (Thermo Scientific), 2.5 μ L 10 μ M untuk setiap primer (PBZ1F dan PBZ1R), 2.5 μ L DTT 50 mM, 0.1 μ L RNase inhibitor (Ribolock, Thermo scientific) dan 0.1 μ L M-MuLV (Revertaid, Thermo Scientific), 2 μ L RNA total, dan ditambahkan air bebas nuklease sampai 25 μ L. Program RT-PCR yang digunakan mengacu pada program *one-step* RT-PCR yang digunakan Parida *et al.* (2016).

DNA hasil RT-PCR diseparasi dengan menggunakan elektroforesis untuk mendapatkan visualisasi pita DNA pada gel agarosa. Hasil elektroforesis berupa pita DNA divisualisasikan dengan transiluminator ultraviolet dan didokumentasikan dengan kamera digital. Intensitas DNA gen *PBZ1* dikuantifikasi menggunakan bantuan peranti lunak ImageJ (Abramoff *et al.* 2004).

Analisis Data

Data pengamatan yang diperoleh dari masing-masing pengujian ditabulasi ke dalam *Microsoft Excel* 2013. Percobaan dirancang dengan rancangan acak kelompok faktorial. Data pengamatan hasil panen dianalisis menggunakan Uji-T dengan perangkat lunak SAS versi 9.0. Data pengamatan populasi nematoda dianalisis menggunakan ANOVA dengan perangkat lunak SAS 9.0. Hasil pengujian yang menunjukkan beda nyata akan dilanjutkan dengan uji perbandingan antar-perlakuan dengan menggunakan uji Tukey pada taraf 5%.

HASIL

Pengaruh Infestasi *Aphelenchoides besseyi* terhadap Parameter Pengamatan

Respons infestasi *A. besseyi* terhadap pertumbuhan generatif tanaman padi bervariasi pada varietas yang diuji. Gejala penyakit pucuk putih pada daun padi ialah bagian pucuk daun berwarna putih sepanjang 3–5 cm, pada tahap lebih lanjut bagian tersebut mengalami nekrosis, pucuk daun membelit dan mengerut, distorsi pada daun bendera, malai menjadi lebih pendek, dan jumlah bulir hampa menjadi banyak.

Tanaman rentan dapat tanpa gejala, tapi umumnya kehilangan hasil hanya terjadi pada tanaman yang menunjukkan gejala. Selama awal pertumbuhan, gejala yang paling mencolok ialah munculnya klorosis di ujung daun baru dari daun kelopak. Daun muda terinfeksi dapat berbintik dengan pola ujung putih, atau memiliki daerah klorosis yang jelas. Garis tepi daun mungkin terdistorsi dan keriput, tapi selubung daun tidak menunjukkan gejala. Malai yang terinfeksi lebih pendek dengan bulir lebih sedikit dan proporsi gabah yang lebih kecil (Luc *et al.* 2005).

Berdasarkan populasi akhir nematoda dapat diketahui indeks skala penyakit dan kategori ketahanan tiap varietas. Terdapat dua kategori ketahanan yang diperoleh, yaitu sangat tahan dan moderat tahan. Varietas sangat tahan *A. besseyi*, yaitu 'Ciherang', 'Inpago 7', 'Utri

Merah', dan 'Utri Rajapan'. Varietas moderat tahan terhadap *A. besseyi*, yaitu 'Inpara 3', 'Inpara 4', 'IPB 3S', 'Prima', dan 'Situ Bagendit' (Tabel 1). Kategori ketahanan yang diperoleh masih bersifat sementara karena belum dikorelasikan dengan hasil ekspresi gen *PBZ1* dan hasil panen padi. Populasi akhir *A. besseyi* saja belum dapat mewakili kategori ketahanan dari tiap varietas padi, karena terdapat parameter pengamatan lainnya yang mampu mendukung kategori ketahanan padi.

Eksresi Gen *PBZ1* pada Sembilan Varietas Padi

Infestasi *A. besseyi* menginduksi ekspresi gen *PBZ1* pada varietas uji dengan intensitas berbeda tergantung tingkat ketahanan varietas. Varietas 'Ciherang', 'Situ Bagendit', 'Utri Merah', dan 'Utri Rajapan' menunjukkan ekspresi gen *PBZ1* tinggi, baik sebelum maupun setelah infestasi *A. besseyi* (Gambar 1). Intensitas ekspresi gen *PBZ1* sebelum infestasi *A. besseyi* yang paling tinggi ialah varietas 'Ciherang' mencapai 21.81% dibandingkan varietas lainnya. Varietas 'Inpara 3', 'Inpara 4', dan 'Utri Merah' mengalami peningkatan intensitas ekspresi gen *PBZ1* sebesar 3.47%, 3.55%, dan 5.14%.

Hasil Panen Padi

Respons infestasi *A. besseyi* terhadap hasil panen tanaman padi bervariasi pada varietas yang diuji (Gambar 2). Infestasi *A. besseyi* tidak memengaruhi panjang malai pada semua varietas uji. Varietas yang mengalami penghambatan panjang malai yaitu 'Ciherang', 'IPB 3S', 'Situ Bagendit', dan 'Inpara 3'. Penghambatan malai tertinggi yaitu pada varietas 'Ciherang' sebesar 4.74 %. Panjang malai padi berkorelasi positif dengan hasil, semakin panjang malai semakin tinggi hasilnya. Hal tersebut dapat terjadi jika tidak adanya faktor yang lain mengganggu, seperti hama dan penyakit; varietas padi dengan malai yang panjang akan memiliki jumlah bulir yang banyak pula (Riyanto *et al.* 2012).

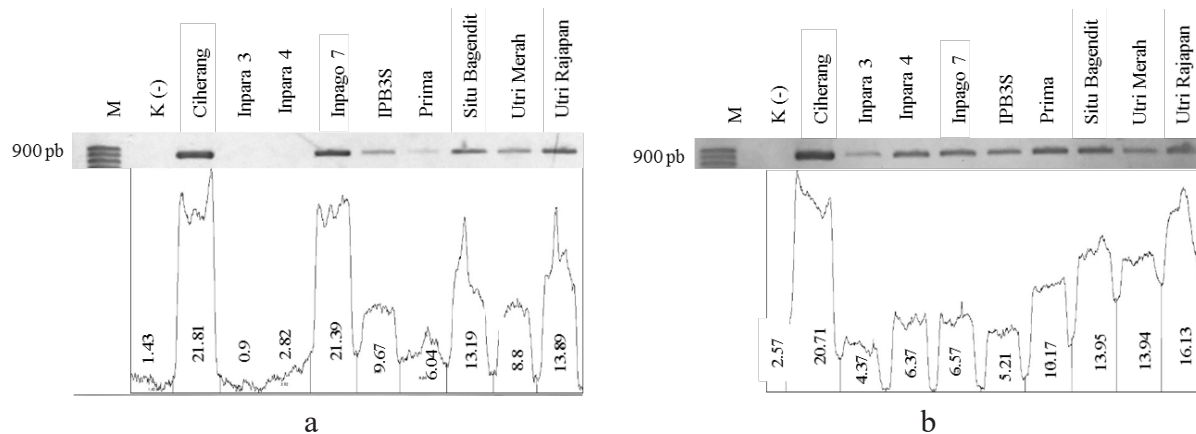
Gejala yang disebabkan *A. besseyi* pada saat pembentukan malai ialah bulir padi menjadi hampa, bulir kecil, dan malai pendek. Infestasi *A. besseyi* memengaruhi jumlah bulir pada beberapa varietas uji (Gambar 3). Varietas 'Ciherang', 'Utri Merah', dan 'Utri Rajapan' tidak mengalami penurunan jumlah bulir, jumlah bulir bernas yang dihasilkan juga tidak mengalami penurunan; infestasi *A. besseyi* tidak memengaruhi pembentukan bulir pada ketiga varietas ini, sedangkan pada varietas

Tabel 1 Populasi nematoda dan indeks skala penyakit terhadap infestasi *Aphelenchoides besseyi*
(Table 1 Nematode population and disease index scale against *Aphelenchoides besseyi* infestation)

Varietas (Variety)	Populasi akhir nematoda* (End nematode population)*	Indeks skala penyakit** (Disease index scale)**	Kategori ketahanan (Resistance category)
'Ciherang'	52.1 ± 13.8 abc	1.00	ST
'Inpago 7'	6.3 ± 1.5 c	1.00	ST
'Inpara 3'	400.0 ± 228.2 a	2.60	MT
'Inpara 4'	190.0 ± 50.3 a	3.00	MT
'IPB 3S'	69.6 ± 21.6 abc	1.40	MT
'Prima'	100.4 ± 81.4 bc	1.50	MT
'Situ Bagendit'	304.2 ± 219.8 ab	1.40	MT
'Utri Merah'	35.8 ± 14.5 abc	1.00	ST
'Utri Rajapan'	21.7 ± 4.9 abc	1.00	ST

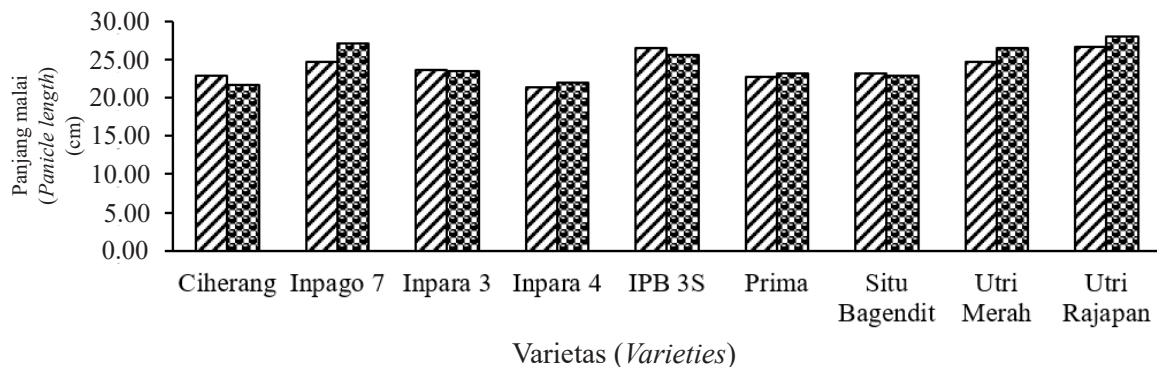
Keterangan: data ditransformasi $\log(Y+1)$ untuk memenuhi asumsi ANOVA; *Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey α 0.05. ST, sangat tahan; dan MT, moderat tahan. **0, imun; 0.1–1.0, sangat tahan; 1.1–3.0, moderat tahan; 3.1–4.0, moderat rentan; dan 4.1–5.0, sangat rentan.

(Notes: The data were transformed to $\log(Y+1)$ to fulfilled ANOVA assumption; *Values followed by the same letter in the same columns are not significantly different based on Tukey test by α 5%. ST, highly resistant; and MT, moderate resistant. **0, immune; 0.1–1.0, highly resistant; 1.1–3.0, moderate resistant; 3.1–4.0, moderate susceptible; and 4.1–5.0, highly susceptible).



Gambar 1 Intensitas ekspresi gen *PBZ1* berdasarkan hasil RT-PCR. a, sebelum dan b, sesudah infestasi *Aphelenchoides besseyi*.

(Figure 1 The *PBZ1* gene expression intensity based on RT-PCR. a, before and b, after *Aphelenchoides besseyi* infestation).



Gambar 2 Panjang malai tanaman padi tanpa infestasi dan dengan infestasi *Aphelenchoides besseyi*. ▨, tanpa infestasi *A. besseyi*; dan ▤, infestasi *A. besseyi*.

(Figure 2 Panicle length of rice plants uninfested and infested by *Aphelenchoides besseyi*. ▨, uninfested by *A. besseyi*; and ▤, infested by *A. besseyi*).

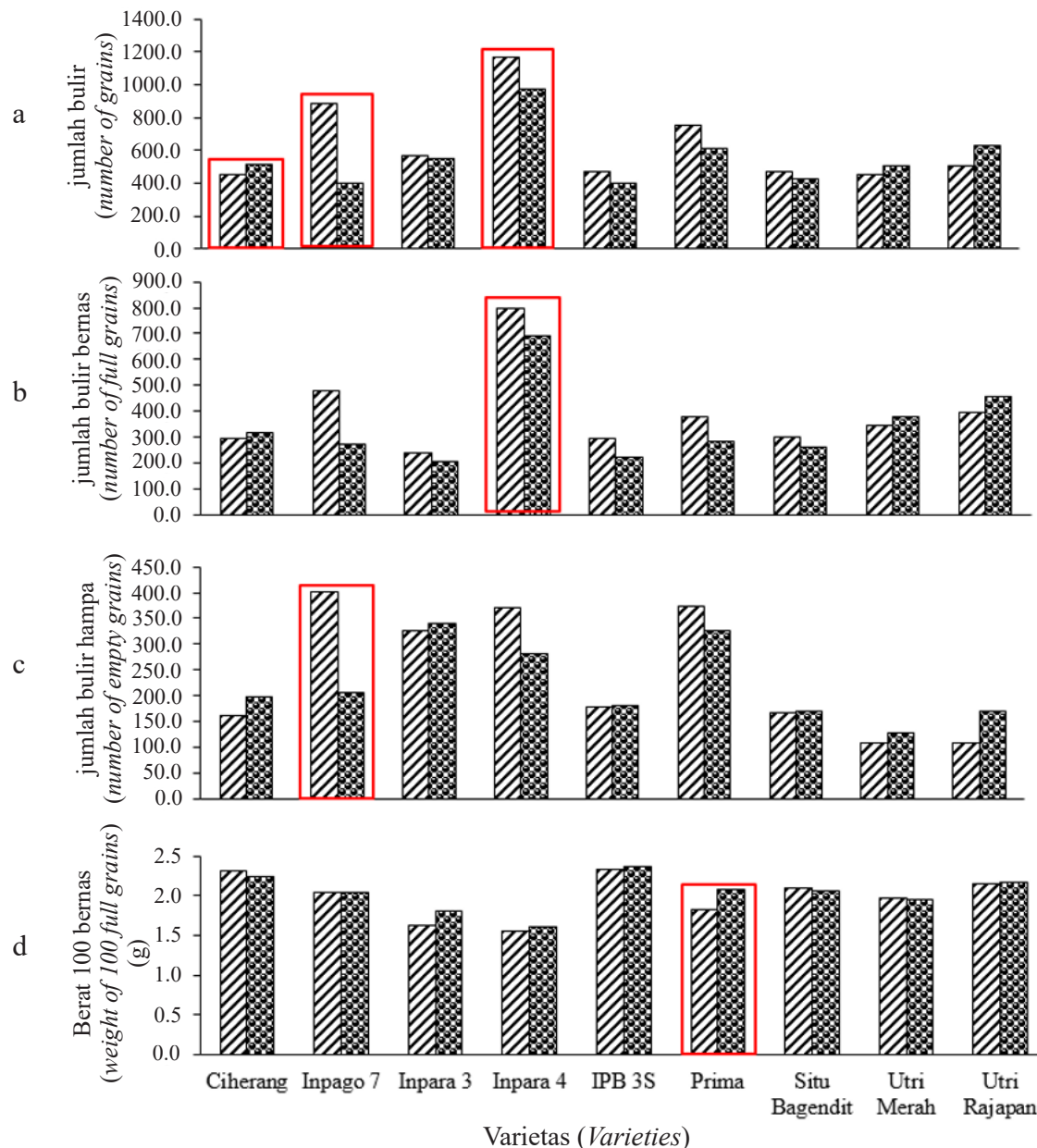
‘Inpara 7’, ‘Inpara 3’, ‘Inpara 4’, ‘IPB 3S’, dan ‘Prima’ dapat menurunkan jumlah bulir padi dan jumlah bulir bernas dibandingkan tanaman tanpa infestasi *A. besseyi*.

Berdasarkan indeks skala penyakit, kategori ketahanan varietas padi dibagi menjadi dua kategori, yaitu sangat tahan dan moderat tahan (Tabel 1). Namun, berdasarkan parameter penyakit dan agronomi diperoleh tiga tipe respons ketahanan, yaitu tahan, toleran, dan rentan. Varietas padi dengan kategori tahan *A. besseyi* yaitu ‘Ciherang’, ‘Utri Merah’, dan ‘Utri Rajapan’, sedangkan varietas ‘Inpara 7’, ‘IPB 3S’, ‘Prima’, dan ‘Situ Bagendit’ termasuk toleran, sedangkan varietas ‘Inpara 3’ dan ‘Inpara 4’ termasuk rentan. Turunnya tingkat ketahanan pada varietas ‘Inpara 7’

kemungkinan karena varietas ini lebih sensitif terhadap faktor lingkungan tumbuh di rumah kaca yang tidak optimal. Terdapat korelasi antara populasi akhir nematoda, indeks skala penyakit, ekspresi gen *PBZ1*, dan hasil panen padi (Tabel 2).

PEMBAHASAN

Peningkatan ekspresi gen *PBZ1* setelah infestasi *A. besseyi* terjadi karena patogen berperan dalam menginduksi ekspresi gen *PBZ1*. Gen ketahanan akan mengenali sinyal elisitor yang dikeluarkan oleh patogen dan terjadi interaksi yang bersifat inkompatibel, maka akan menginduksi munculnya mekanisme pertahanan tanaman.



Gambar 3 Hasil panen pada tanaman padi tanpa infestasi dan dengan infestasi *Aphelenchoides besseyi*. a, jumlah bulir; b, jumlah bulir bernas; c, jumlah bulir hampa; dan d, berat 100 bulir bernas. Batang dalam kotak merah menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji T pada taraf α 5%. □, tanpa infestasi *A. besseyi*; dan ▨, infestasi *A. besseyi*.

(Figure 3 Yield of uninfested and infested rice plant by *Aphelenchoides besseyi*. a, number of grains; b, number of full grains; c, number of empty grains; and weight of 100 full grains. Bar in the red boxes indicated significantly different based on T test by α 5%. □, uninfested by *A. besseyi*; and ▨, infested by *A. besseyi*).

Pengenalan patogen pada tanaman yang tahan dikontrol oleh gen resistensi (gen R) dan gen avirulen (gen Avr) pada patogen, kemudian mengaktifkan sistem pertahanan (Agrios 2005; Buchanan 2015). Gen PBZ1 merupakan gen pada tanaman yang berperan dalam sistem pertahanan tanaman padi terhadap infeksi

patogen (Agrawal *et al.* 2001). Gen PBZ1 terlibat dalam sistem pertahanan tanaman padi indica terhadap infeksi patogen *Pyricularia grisea* isolat 001 (Sari 2008).

Pada beberapa varietas, gen PBZ1 terekspresi dengan intensitas tinggi sebelum dan setelah infestasi *A. besseyi*, kecuali

Tabel 2 Respons ketahanan sembilan varietas padi terhadap infestasi *Aphelenchoides besseyi*
(Table 2 Resistance responses of nine rice varieties against *Aphelenchoides besseyi* infestation)

Varietas (Variety)	Populasi <i>A. besseyi</i> (<i>A. besseyi</i> population)	Indeks skala penyakit (Disease Index Scale)	Panjang malai (Panicle length)	Jumlah bulir (Number of grains)	Jumlah bulir bernas (Number of full grains)	Jumlah bulir hampa (Number of empty grains)	Berat 100 bulir bernas (Weight of 100 full grains)	Gen <i>PBZ1</i> (<i>PBZ1</i> gene)	Respons (Response)
‘Ciherang’	++	+	+	-	-	+	+	+	Tahan (<i>Resistant</i>)
‘Inpago 7’	+	+	-	+	+	-	-	+	Toleran (<i>Tolerant</i>)
‘Inpara 3’	+++	++	+	+	+	+	-	-	Rentan (<i>susceptible</i>)
‘Inpara 4’	+++	++	-	+	+	-	-	-	Rentan (<i>susceptible</i>)
‘IPB 3S’	++	++	+	+	+	+	-	+	Toleran (<i>Tolerant</i>)
‘Prima’	++	++	-	+	+	-	-	+	Toleran (<i>Tolerant</i>)
‘Situ Bagendit’	+++	++	+	+	-	+	+	+	Toleran (<i>Tolerant</i>)
‘Utri Merah’	+	+	-	-	-	+	+	+	Tahan (<i>Resistant</i>)
‘Utri Rajapan’	+	+	-	-	-	+	-	+	Tahan (<i>Resistant</i>)

Keterangan:

Populasi <i>A. besseyi</i>	+	:	1-50 nematoda	Panjang malai	-	:	Tidak terjadi penghambatan	Jumlah bulir hampa	-	:	Tidak terjadi peningkatan
	++	:	51-150 nematoda		+	:	Terjadi penghambatan		+	:	Terjadi peningkatan
Indeks skala penyakit	+++	:	151-500 nematoda	Jumlah bulir	-	:	Tidak terjadi penghambatan	Berat 100 bernas	-	:	Tidak terjadi penghambatan
	+	:	Skala 0.1-1.0		+	:	Terjadi penghambatan		+	:	Terjadi penghambatan
	++	:	Skala 1.1-3.0	Jumlah bulir bernas	-	:	Tidak terjadi penghambatan	Gen <i>PBZ1</i>	-	:	Terekspresi sesudah infestasi <i>A. besseyi</i>
					+	:	Terjadi penghambatan		+	:	Terekspresi sebelum dan sesudah infestasi <i>A. besseyi</i>
(Notes:											
<i>A. besseyi</i> population	+	:	1-50 nematodes	Panicle length	-	:	Inhibition not occurred	Number of empty grains	-	:	Not increased
	++	:	51-150 nematodes		+	:	Inhibition occurred		+	:	Increased
Disease index scale	+++	:	151-500 nematodes	Number of grains	-	:	Inhibition not occurred	Weight of 100 full grains	-	:	Inhibition not occurred
	+	:	Scale 0.1-1.0		+	:	Inhibition occurred		+	:	Inhibition occurred
	++	:	Scale 1.1-3.0	Number of full grains	-	:	Inhibition not occurred	<i>PBZ1</i> gene	-	:	Expressed post <i>A. besseyi</i> infestation
					+	:	Inhibition occurred		+	:	Expressed prior and post <i>A. besseyi</i> infestation

‘Inpara 3’ dan ‘Inpara 4’. Hal ini menunjukkan gen ketahanan tanaman aktif sebelum infestasi *A. besseyi*, sehingga tanaman lebih siap mengatasi infeksi *A. besseyi* dan intensitasnya tetap tinggi setelah diinfestasi *A. besseyi*. Beberapa perlakuan bakteri endofit mampu menginduksi ekspresi gen PBZ1 terhadap infeksi bakteri kresak (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* – Xoo) pada varietas padi rentan. Ekspresi gen PBZ1 yang tinggi pada padi setelah perlakuan bakteri endofit sebelum infestasi Xoo menunjukkan ketahanan tanaman mampu diinduksi oleh perlakuan endofit sehingga lebih tahan terhadap infeksi Xoo dan tingkat induksinya tergantung spesies endofit (Parida *et al.* 2016).

Mekanisme ketahanan lain yang dilaporkan berperan dalam ketahanan padi terhadap infeksi *A. besseyi* melibatkan peran 3 hormon tanaman, yaitu asam salisilat (*salicylic acid*-SA), asam jasmonat (*jasmonate acid*-JA) dan etilen (*ethylene*-ET). Pada varietas ‘Tetep’ sebelum dan sesudah invasi *A. besseyi* menunjukkan penekanan infeksi, perkembangan, dan reproduksinya. *Real-time* PCR menunjukkan pada varietas ‘Tetep’ SA-related gene meningkat (*upregulated*), sedangkan pada varietas rentan ‘Nipponbare’ SA-related gene menurun (*downregulated*) pada fase pembungaan. Aplikasi SA analog, *methyl jasmonate* (MeJA) dan *ethephone exogenous* menginduksi ketahanan padi terhadap *A. besseyi*, dan padi yang diberi perlakuan penghambat hormon (*hormone inhibitor*) meningkatkan kerentanannya terhadap *A. besseyi* (Xie *et al.* 2022). Perlu dikaji lebih lanjut mekanisme ketahanan varietas yang tahan dan rentan dalam penelitian ini apakah juga melibatkan peran SA, JA, dan ET dalam penelitian selanjutnya.

Produksi padi yang tinggi ditandai dengan banyaknya bulir yang dihasilkan. Jika jumlah bulir banyak, tetapi jumlah yang bernas lebih sedikit daripada yang hampa menandakan produksi padi tersebut rendah. Bulir yang hampa kemungkinan disebabkan oleh adanya infestasi *A. besseyi*. Ketika perkembangan endosperma dimulai, terdapat hubungan antara jumlah nematoda dan tingkat pengisian bulir. Nematoda mampu menembus dan bereproduksi dalam malai yang akan berkembang menjadi

bulir yang lebih besar atau reproduksi nematoda menghambat perkembangan bulir (Togashi dan Hoshino 2001). Pergerakan nematoda secara vertikal dipengaruhi oleh faktor suhu dan kelembapan. Suhu yang optimal untuk pergerakan nematoda secara vertikal adalah 25–30 °C pada kelembapan 100%. Semakin tinggi kelembapan semakin tinggi juga mobilitas nematoda secara vertikal (Sun *et al.* 2009).

Reproduksi nematoda dimulai saat fase bunting dan berlanjut sampai fase pembungaan, setelah itu reproduksi nematoda menurun. Oleh karena itu, infestasi nematoda dilakukan pada fase bunting hingga fase pembungaan. Inokulasi nematoda ke dalam selubung kuncup padi menyimulasikan perjalanan padi yang terinfeksi *A. besseyi*. (Liu *et al.* 2008). Ketika 3000 nematoda diinfestasi ke tanaman padi, terdapat populasi nematoda yang bervariasi pada bunga dan jumlah bunga yang terinfeksi antar malai. Infestasi nematoda pada fase pembungaan dapat mempermudah nematoda menginfeksi bulir padi yang mana jaringan meristematik pada fase ini dijadikan sebagai tempat distribusi nematoda, yaitu sebagian besar di sekitar ovarium dan bagian bawah benang sari. Dalam pengembangan benih, nematoda terdistribusi di ruang antara permukaan bagian dalam glume (lemma dan palea) dan epikarp, terutama di bagian basal bulir (Huang dan Huang 1972).

Pada penelitian ini beberapa varietas seperti ‘Ciherang’, ‘Inpago 7’, ‘Situ Bagendit’, ‘Utri Merah’, dan ‘Utri Rajapan’ menunjukkan ekspresi gen PBZ1 yang tinggi sebelum diinfestasi *A. besseyi*. Kecepatan ekspresi gen PBZ1 sangat berperan dalam sistem pertahanan padi terhadap *P. grisea* (Kurnianingsih 2008). Berdasarkan hasil yang didapatkan hal yang sama juga terjadi terhadap *A. besseyi*. Hal ini menunjukkan tanaman padi yang secara genetik menunjukkan ekspresi gen PBZ1 tinggi akan lebih tahan terhadap infeksi patogen. Berdasarkan indeks skala penyakit, hasil panen padi, dan ekspresi gen PBZ1, respons ketahanan varietas padi terhadap infestasi *A. besseyi* dibagi menjadi tiga kategori ketahanan, yaitu tahan (‘Ciherang’, ‘Utri Merah’, dan ‘Utri Rajapan’), toleran (‘Inpago 7’,

‘IPB 3S’, ‘Prima’, dan ‘Situ Bagendit’) dan rentan (‘Inpara 3’ dan ‘Inpara 4’).

Berdasarkan parameter pengujian, varietas padi tahan *A. besseyi* yaitu ‘Ciherang’, ‘Utri Merah’, dan ‘Utri Rajapan’. Ketahanan varietas padi berkorelasi dengan ekspresi gen PBZ1. Intensitas ekspresi gen PBZ1 yang tinggi sebelum infestasi *A. besseyi* mengindikasikan tanaman lebih siap mengatasi infeksi *A. besseyi*. Ketiga varietas tahan dapat digunakan dalam pengembangan teknologi pengelolaan nematoda parasit tumbuhan melalui teknik identifikasi gen ketahanan dalam proses perakitan varietas unggul tahan *A. besseyi*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abràmoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics international*. 11(7):36–42.
- Agrawal GK, Rakwal R, Jwa NS. 2001. Differential induction of three pathogenesis-related genes, PR10, PR1b and PR5 by the ethylene generator ethephon under light and dark in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 158(1):133–137. DOI: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00186>.
- Agrios G. 2005. *Plant Pathology*. Ed. ke-5. Burlington (UK): Elsevier Academic Press.
- Ahmad HU. 2017. Deteksi dan identifikasi nematoda terbawa benih padi *Aphelenchoides besseyi* Christie di Lampung [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Buchanan BB. 2015. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Ed ke-2. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons.
- Coyne D, Nicol JM, Claudius-Cole B. 2014. *Practical Plant Nematology: A Field and Laboratory Guide*. Ibadan (NG): International Institute of Tropical Agriculture.
- Diana DR, Supramana, Mutaqin KH, Kurniawati F. 2018. Distribusi nematoda pucuk putih padi *Aphelenchoides besseyi* di pulau Jawa. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(4):129–137. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.14.4.129>.
- Doyle JJ, Doyle JL, Hortoriun LB. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*. 12:13–15.
- Hagag ES, Tahoon AM, Elamawi RM. 2024. *Aphelenchoides besseyi* management: evaluation of rice variety resistance and control practices. *Namatropica*. 54:111–130.
- Hapsari R, Susanto U, Satoto S. 2017. Varietas unggul padi tahan hawar daun bakteri: Perakitan dan penyebaran di sentra produksi. *Iptek Tanaman Pangan*. 11(2):119–126.
- Huang C, Huang S. 1972. Bionomics of white-tip nematode, *Aphelenchoides besseyi* in rice florets and developing grains. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 13:1–10.
- Imamah AN, Supramana S, Damayanti TA. 2020. *In Vitro* Cultivation of *Aphelenchoides besseyi* Christie on Fungal Cultures. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 24(1):43–47. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.42227>.
- [IRRI] International Rice Research Institute. 1994. *A manual of rice seed health testing*. Manila (PH): International Rice Research Institute.
- Kim ST, Cho KS, Yu S, Kim SG, Hong JC, Han Cd, Bae DW, Nam MH, Kang KY. 2003. Proteomic analysis of differentially expressed proteins induced by rice blast fungus and elicitor in suspension-cultured rice cells. *Proteomics*. 3(12):2368–2378. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmic.200300577>.
- Kurnianingsih R. 2008. Ekspresi gen PR1 dan PBZ1 yang terlibat dalam sistem toleransi tanaman padi terhadap penyakit blas (Isolat 173) [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kurniawati F, Supramana S. 2016. Tingkat infestasi *Aphelenchoides besseyi* pada benih padi di Bogor. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 12(1):34–37. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.12.1.34>.
- Ladja FT, Widiarta IN. 2015. Varietas unggul baru padi untuk mengantisipasi ledakan penyakit tungro. *Iptek Tanaman Pangan*. 7(1):18–24.

- Liu WH, Lin MS, Li HM, Sun MJ. 2008. Dynamic development of *Aphelenchoides besseyi* on rice plant by artificial inoculation in the greenhouse. *Agricultural Sciences in China*. 7(8):970–976. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60136-4](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60136-4).
- Lubis N, Lisnawita, Safni I. 2020. The effect of the rice white tip nematode, *Aphelenchoides besseyi* Christie, on the yield component of rice cultivars in a glasshouse condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 454:012178. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012178>
- Luc M, Sikora RA, Bridge J. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. Wallingford (UK): CABI Publishing.
- Nishizawa T. 1953. Studies on the varietal resistance of rice plant to the rice nematode disease “senchu shingare byo” (VI). *Bulletin of the Kyushu Agricultural Experiment Station*. 1(3):339–349.
- Parida I, Damayanti TA, Giyanto G. 2016. Isolasi, seleksi, dan identifikasi bakteri endofit sebagai agens penginduksi ketahanan padi terhadap hawar daun bakteri. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 12(6): 199–208. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.12.6.199>.
- Park J, Lee J. 1976. Varietal resistance of rice to the white-tipped nematode *Aphelenchoides besseyi*. *International Rice Research Newsletter*. 1(1):15.
- Popova MB, Zelenskii G, Subbotin A. 1994. An assessment of resistance in cultivars of *Oryza sativa* L. to *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942. *Russian Journal of Nematology*. 2(1):41–44.
- Rahman RM, Munif A, Kurniawati F. 2018. Deteksi dan identifikasi nematoda *Aphelenchoides besseyi* dari benih padi. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(2):39–46.
- Riyanto A, Widiatmoko T, Hartanto B. 2012. Korelasi antar komponen hasil dan hasil pada padi genotip F5 keturunan persilangan G39 X Ciherang. Di dalam: *Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan II*. 2012 Nov 27–28. Purwokerto (ID): Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. hlm 8–12.
- Sari L. 2008. Ekspresi gen penyandi *Pathogenesis Related Protein (PR1 & PBZ1)* pada padi indica yang terlibat dalam sistem toleransi terhadap penyakit blas isolat 001 [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sun MJ, Liu WH, Lin MS. 2009. Effects of temperature, humidity and different rice growth stages on vertical migration of *Aphelenchoides besseyi*. *Rice Science*. 16(4):301–306. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(08\)60094-3](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(08)60094-3).
- Suswati S, Azwana A, Candra IA, Kurniawati F, Siregar KM. 2025. Morphological, molecular, and morphometric analysis of *Aphelenchoides besseyi* on organic rice (*Oryza sativa*) seeds in Beringin district, Deli Serdang Regency, Indonesia. *Makara Journal of Science*. 29(1):158–168. DOI: <https://doi.org/10.7454/mss.v29i1.2335>.
- Togashi K, Hoshino S. 2001. Distribution pattern and mortality of the white tip nematode, *Aphelenchoides besseyi* (Nematoda: Aphelenchoididae), among rice seeds. *Nematology*. 3(1):17–24. DOI: <https://doi.org/10.1163/156854101300106847>.
- Tulek A, Kepenekci I, Ciftcigil TH, Surek H, Akin K, Kaya R. 2015. Reaction of some rice cultivars to the white tip nematode, *Aphelenchoides besseyi*, under field conditions in the Thrace region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 39:958–966.
- Utama MZH, Haryoko W. 2009. Pengujian empat varietas padi unggul pada sawah gambut bukaan baru di Kabupaten Padang Pariaman. *Jurnal Akta Agrosia*. 12(1):56–61.
- Wahab M, Satoto, Rahmat R, Guswara A, Suharna. 2017. Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi 2017. Badan Penelitian dan Penelitian Pertanian. Sukamandi (ID): Kementan.
- Xie J, Yang F, Xu X, Peng Y, Ji H. 2022. Salicylic acid, jasmonate, and ethylene contribute to rice defence against white tip nematodes *Aphelenchoides besseyi*. *Frontiers in Plant Science*. 12:755802. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.755802>.