

Eksplorasi Jamur Entomopatogen sebagai Agen Biokontrol Lalat Buah *Bactrocera* spp. pada Berbagai Varietas Jeruk di Kabupaten Garut

Chrisnasari Yanti Keliat^{1,3*}, Agus Susanto², Yani Maharani², dan Tarkus Suganda²

¹Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran
Kampus Jatinangor, Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21, Jatinangor, 45363

³Balai Karantina Hewan, Ikan, dan Tumbuhan Maluku
Jl. Y. Syaranamual No 1, Kate-Kate, Ambon, 97233

*Alamat korespondensi: asusanto@unpad.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 15-01-2025

Direvisi: 23-03-2025

Dipublikasi: 31-05-2025

ABSTRACT/ABSTRAK

Exploration of entomopathogenic fungi as biocontrol agents of *Bactrocera* spp. fruit flies on various orange varieties in Garut Regency

Keywords:
Beauveria bassiana,
Insect baiting,
Metarhizium
anisopliae, *Tenebrio*
molitor

Bactrocera spp. is one of the main pests of citrus, causing significant yield losses. Eco-friendly control is needed to mitigate losses. This study explored entomopathogens infecting *Bactrocera* spp. and analyzed the indices of diversity, richness, evenness, and dominance in three citrus varieties in Garut Regency. The study was conducted from June to October 2024 in three locations, Neglasari (Siam variety), Kadungora (Keprok Terigas variety), and Sukatani (Lemon variety). Sampling was conducted in a 2500 m² area with five diagonal points. Soil from 20 trees (0–10 cm depth) was stored in darkness at 4 °C before analysis. The method used was insect baiting with *Tenebrio molitor* larvae. The fungi that cover the bodies of infected larvae were isolated and identified. In Lemon variety, 7 isolates were found (4 *B. bassiana*, 3 *M. anisopliae*), in Siam variety 4 isolates (3 *B. bassiana*, 1 *M. anisopliae*), and in Terigas variety 3 isolates (2 *B. bassiana*, 1 *M. anisopliae*). The discovery of these entomopathogenic fungi indicated the potential existence of biological agents for the control of *Bactrocera* spp. The diversity index (H') was low (0.56–0.68), the richness index (DMg) was low (0.51–0.91), the evenness index (E) was high (0.81–0.99), and the dominance index (C) was moderate (0.51–0.63). Despite the low diversity and richness indices, the high evenness value suggests a uniform distribution of fungi across the habitat. This research provides a foundation for conservation strategies, biological management, and the selection of effective fungal isolates for *Bactrocera* spp. control in different citrus varieties.

Kata Kunci:
Beauveria bassiana,
Metarhizium
anisopliae, *Tenebrio*
molitor, Umpan
serangga

Bactrocera spp. merupakan salah satu hama utama pada buah jeruk yang menyebabkan kerugian hasil yang signifikan. Pengendalian ramah lingkungan diperlukan untuk mengatasi kerugian akibat serangannya. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi keberadaan jamur entomopatogen yang menginfeksi *Bactrocera* spp. serta menganalisis indeks keanekaragaman, kekayaan, pemerataan, dan dominansi entomopatogen pada tiga varietas jeruk di Kabupaten Garut. Penelitian dilaksanakan dari bulan Juni hingga Oktober 2024 di tiga lokasi, jeruk Siam di Desa Neglasari, jeruk Keprok Terigas di Desa Kadungora, dan jeruk Lemon di Desa Sukatani. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode sistematis pada area seluas 2500 m², dengan lima titik sampling yang ditentukan secara diagonal. Sampel tanah diambil dari 20 pohon pada kedalaman 0–10 cm dan disimpan dalam kondisi gelap pada suhu 4°C sebelum

dianalisis. Metode yang digunakan yaitu umpan serangga menggunakan larva *Tenebrio molitor*. Jamur yang menyelubungi tubuh larva yang terinfeksi diisolasi dan diidentifikasi. Pada varietas Lemon didapatkan 7 isolat (4 *B. bassiana*, 3 *M. anisopliae*), varietas Siam 4 isolat (3 *B. bassiana*, 1 *M. anisopliae*), dan varietas Terigas 3 isolat (2 *B. bassiana*, 1 *M. anisopliae*). Penemuan jamur entomopatogen ini menunjukkan potensi keberadaan agen hayati untuk pengendalian *Bactrocera* spp. Indeks keanekaragaman (H') rendah (0,56-0,68), indeks kekayaan (DMg) rendah (0,51-0,91), indeks kemerataan (E) tinggi (0,81-0,99), dan indeks dominansi (C) sedang (0,51-0,63). Meskipun indeks keanekaragaman dan kekayaan rendah, namun tingginya nilai kemerataan menunjukkan distribusi yang merata di dalam habitatnya. Penelitian ini menjadi dasar strategi konservasi, pengelolaan hayati, dan pemilihan isolat unggul untuk pengendalian *Bactrocera* spp. pada berbagai varietas jeruk.

PENDAHULUAN

Jeruk merupakan komoditas yang digemari oleh masyarakat Indonesia, dan Kabupaten Garut menjadi salah satu sentra produksinya (Hanif, 2020). Jeruk yang banyak dikembangkan di Kabupaten Garut yaitu jeruk Siam, jeruk Keprok Terigas, dan jeruk Lemon (Balitjestro, 2019). Meskipun memiliki potensi ekonomi yang besar, budidaya jeruk di Garut sering menghadapi ancaman dari serangan lalat buah, yang dapat menurunkan hasil panen hingga 80% dan kualitas buah yang tidak layak konsumsi (Sulfiani & Septiani, 2021; Darmawansyah *et al.*, 2023). Petani biasanya menggunakan insektisida untuk pengendalian lalat buah karena praktis dan cepat (Martuti & Anjarwati, 2022). Seiring berjalannya waktu, pengendalian tersebut dapat menimbulkan dampak negatif seperti resistensi hama, pencemaran lingkungan, dan dapat menimbulkan residu pestisida pada produk hortikultura yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Amilia dkk., 2016; Gomina *et al.*, 2020). Oleh karena itu, diperlukan alternatif berupa pengendalian hayati melalui eksplorasi entomopatogen (Kurniawan & Panggeso, 2020). Entomopatogen merupakan kelompok mikroorganisme yang berpotensi digunakan sebagai bioinsektisida dalam pengendalian lalat buah secara ramah lingkungan (Shaurub, 2023).

Entomopatogen yang telah dikembangkan, dimanfaatkan, dan memberikan hasil yang positif di antaranya adalah jamur, bakteri, dan nematoda. Jamur merupakan entomopatogen yang paling sering dimanfaatkan (Maina *et al.*, 2018). Setiap jenis jamur entomopatogen mempunyai inang yang spesifik dan dapat ditemukan bersama hama yang menjadi inangnya (Islam *et al.*, 2021). Entomopatogen merupakan mikroorganisme yang habitatnya sangat

dipengaruhi oleh lingkungan di sekitarnya, sehingga akan berpengaruh terhadap efektivitasnya. Jamur entomopatogen dapat melakukan penetrasi ke dalam tubuh serangga inang melalui dua cara yaitu tekanan mekanik dan bantuan toksin yang dikeluarkan jamur entomopatogen tersebut (Hasyim dkk., 2016).

Eksplorasi jamur entomopatogen di berbagai varietas jeruk di Garut penting dilakukan untuk mengidentifikasi jenis entomopatogen lokal yang memiliki potensi sebagai agen pengendali hama lalat buah *Bactrocera* spp. Penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran tentang keanekaragaman jamur entomopatogen di berbagai varietas jeruk di Garut, tetapi juga dapat mengarah pada pengembangan strategi pengendalian hama *Bactrocera* spp. berbasis hayati yang lebih efektif dan spesifik. Beberapa jamur entomopatogen seperti *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* dilaporkan sebagai agen biokontrol hama lalat buah (Dias *et al.*, 2018; Shahzad *et al.*, 2021;). Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi keanekaragaman jamur entomopatogen sebagai agen biokontrol lalat buah *Bactrocera* spp. yang ditemukan pada berbagai varietas jeruk di Kabupaten Garut.

BAHAN DAN METODE

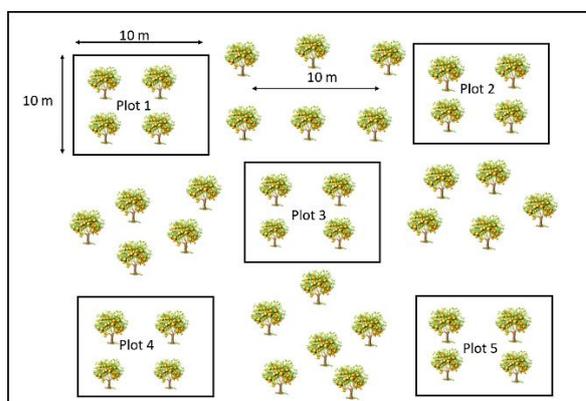
Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga Oktober 2024. Pengambilan sampel tanah dilakukan di lahan jeruk Siam di Desa Neglasari (7°08'88" LS, 107°91'28" BT), Keprok Terigas di Desa Kadungora (7°08'88" LS, 107°91'26" BT), dan Lemon di Desa Sukatani (7°34'56" LS, 107°78'37" BT), Kabupaten Garut, Jawa Barat. Penanganan sampel dilakukan di Laboratorium Pestisida Mikroba dan

identifikasi dilakukan di Laboratorium Fitopatologi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.

Pengambilan Sampel

Luas area pengamatan dalam penelitian ini yaitu 2500 m² terdapat 100 tanaman jeruk dengan sistem tanam sejajar, monokultur, umur tanaman lima tahun, dan jarak tanam 5 x 5 meter. Setiap lahan penelitian dibuat lima titik sampling penelitian yang dipilih dengan membagi lahan secara diagonal (Gambar 1). Setiap titik memiliki luas 10 x 10 m dan jarak antar titik adalah 10 m (Kemp, 2014). Pengambilan sampel dilakukan setiap minggu selama empat minggu dengan mengamati empat pohon di setiap titik sampling. Total 20 pohon yang diamati sepanjang periode pengamatan. Sampel tanah diambil sebanyak 100 g per pohon. Tanah yang diperoleh pada setiap pohon dicampur menjadi satu untuk mendapatkan sampel yang homogen yang mewakili lokasi pengambilan sampel (SNI, 1998). Sampel diambil pada kedalaman 0-10 cm setelah membersihkan serasah permukaan (Leksono *et al.*, 2024).



Gambar 1. Titik sampling penelitian.

Eksplorasi Jamur Entomopatogen

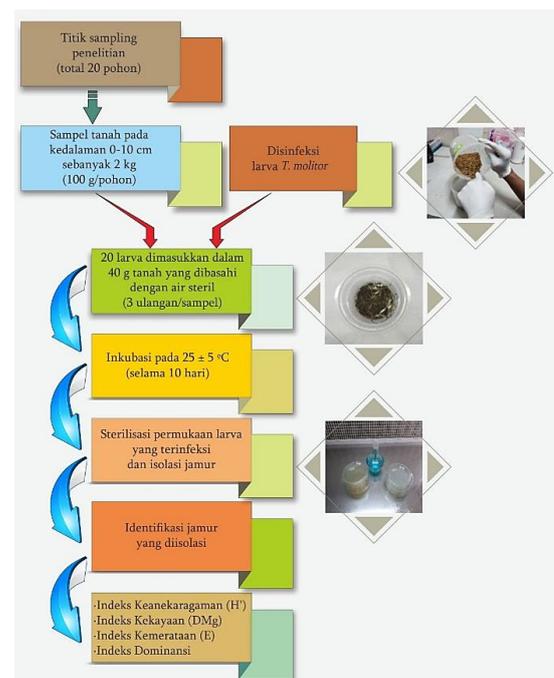
Sampel tanah ditempatkan dalam kantong plastik untuk mencegah kehilangan air dan segera dipindahkan ke laboratorium untuk disimpan pada suhu 4 °C dalam kondisi gelap. Isolasi jamur entomopatogen menggunakan serangga umpan (*insect baiting method*). Ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) digunakan sebagai umpan untuk memancing entomopatogen. Ulat hongkong dibilas dengan air suling. Sebanyak 20 ulat hongkong dimasukkan ke dalam wadah plastik yang berisi 40 g tanah kemudian dibasahi dengan air suling, dan diinkubasi pada suhu 25 °C selama 10 hari (Hallouti *et al.*, 2020).

Isolasi Jamur Entomopatogen

Larva *Tenebrio molitor* yang menunjukkan pertumbuhan miselium jamur pada permukaannya dipilih untuk proses isolasi. Larva tersebut didisinfeksi dengan cara dicuci menggunakan larutan Natrium hipoklorit (NaOCl) 0,3% selama satu menit untuk menghilangkan kontaminan permukaan dan dibilas lima kali dengan akuades untuk menghilangkan sisa larutan disinfektan. Larva *Tenebrio molitor* yang telah disterilisasi ditempatkan langsung ke atas permukaan medium PDA dengan pola simetris dan diinkubasi pada suhu 25 °C selama 3-5 hari. Apabila jamur sudah tumbuh kemudian dipindahkan ke medium PDA baru untuk dilakukan pemurnian. Isolasi ulang dilakukan hingga diperoleh kultur jamur yang murni tanpa kontaminasi.

Identifikasi Morfologi

Identifikasi morfologi dilakukan berdasarkan pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis dari koloni jamur yang diperoleh. Struktur makroskopis jamur yang diamati ialah warna koloni, tekstur koloni, dan bentuk koloni jamur yang tumbuh pada media PDA. Pengamatan secara mikroskopis meliputi warna dan morfologi konidia serta hifa jamur yang dilakukan dengan bantuan mikroskop pada perbesaran 400x. Hasil identifikasi jamur mengikuti kunci determinasi dalam *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* dari Barnett & Hunter (1972). Alur percobaan eksplorasi, isolasi, dan identifikasi jamur entomopatogen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur percobaan eksplorasi, isolasi, dan identifikasi jamur entomopatogen.

Indeks Ekologi Jamur Entomopatogen

Penghitungan keanekaragaman jenis jamur entomopatogen dilakukan dengan menggunakan rumus indeks keanekaragaman jenis dari Shannon-Wiener, indeks dominansi jenis menurut Simpson, indeks kemerataan menurut Shannon-Wiener (Susanto *et al.*, 2023), dan indeks kekayaan jenis dari Margalef (Vayssieres *et al.*, 2015):

1. Indeks Keanekaragaman Jenis

$$H' = - \sum (ni/N) \ln (ni/N)$$

Keterangan:

H' = Indeks Keragaman Shannon-Wiener

ni = Jumlah individu dari spesies yang diamati

N = Jumlah keseluruhan individu

Nilai Indeks Keanekaragaman Jenis menurut Shannon-Wiener adalah:

$H' > 3$: keanekaragaman spesies melimpah tinggi

$H'1 \leq H' \leq 3$: keanekaragaman spesies sedang

$H' < 1$: keanekaragaman spesies sedikit atau rendah

2. Indeks Dominansi Jenis

$$C = \sum (ni/N)^2$$

Keterangan:

C = Indeks dominasi

ni = Jumlah individu ke-i

N = Jumlah keseluruhan individu

Nilai Indeks Dominansi Jenis menurut Simpson adalah:

$0 < C \leq 0,5$: Dominasi rendah

$0,5 < C \leq 0,75$: Dominasi sedang

$0,75 < C \leq 1,0$: Dominasi tinggi

3. Indeks Kemerataan

$$E = H'/\ln S$$

Keterangan:

E : indeks kemerataan jenis Pielou

H' : indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener

S : jumlah jenis yang ditemukan

Nilai Indeks Kemerataan Jenis adalah:

$E < 0,3$: Kemerataan jenis rendah

$0,3 < E < 0,6$: Kemerataan jenis sedang

$E > 0,6$: Kemerataan jenis tinggi

4. Indeks Kekayaan Jenis

$$DMg = (S-1)^{1/\ln N}$$

Keterangan:

DMg: indeks kekayaan jenis Margalef

S : jumlah jenis yang ditemukan

N : jumlah individu seluruh jenis

Nilai Indeks Kekayaan Jenis adalah:

$DMg < 3,5$: Kekayaan jenis rendah

$3,5 < DMg < 5,0$: Kekayaan jenis sedang

$DMg > 5,0$: Kekayaan jenis tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Wilayah Sampel Tanah Asal Entomopatogen

Kondisi lingkungan dari ketiga lokasi sampel tanah untuk isolasi jamur dapat dilihat pada Tabel 1. Ketiga lokasi sampel memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda. Suhu dan kelembapan merupakan faktor lingkungan yang sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan jamur entomopatogen karena dapat mendukung kerja enzim dalam mengurai substrat sebagai sumber nutrisi untuk jamur (Ginting, 2024). Berdasarkan penelitian Barzanti *et al.* (2023) dan Fabrice *et al.* (2020), suhu optimal untuk perkembangan jamur entomopatogen adalah antara 22-27 °C, dengan kelembapan relatif sekitar 80-90%. Kondisi ini dianggap ideal karena mendukung proses sporulasi dan infeksi jamur terhadap inang serangga, yang merupakan faktor utama keberhasilan jamur entomopatogen sebagai agen pengendali hayati. Suhu dan kelembapan lahan penelitian diukur menggunakan termohigrometer. Pengamatan dilakukan setiap pengambilan sampel.

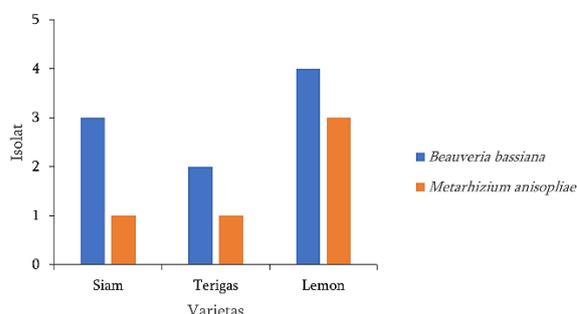
Kondisi suhu di Desa Neglasari mencakup kisaran optimal untuk pertumbuhan jamur entomopatogen pada rentang bawah yaitu 22 °C. Tingkat kelembapan relatif yang mencapai 70% pada puncaknya dapat mendukung proses sporulasi, tetapi kelembapan minimal 56% dapat menjadi penghambat untuk efektivitas infeksi jamur. Sementara itu, di Desa Kadungora, yang memiliki budidaya jeruk Keprok Terigas memiliki kondisi suhu yang cukup mendekati kisaran optimal. Suhu maksimum 33 °C sedikit di atas batas optimal, tetapi suhu rata-rata yang lebih rendah tetap mendukung perkembangan jamur. Kelembapan relatif yang mencapai 66% memberikan lingkungan yang kurang mendukung sporulasi dan infeksi. Kondisi suhu rata-rata harian di Desa Sukatani dengan budidaya Lemon relatif lebih tinggi dibandingkan kisaran optimal, terutama pada suhu maksimum. Namun, kelembapan relatif yang cukup tinggi menjadi faktor kompensasi yang mendukung sporulasi. Meskipun suhu

maksimum agak tinggi, jamur masih dapat tumbuh dan berkembang, meski efektivitasnya mungkin sedikit menurun. Ketiga lokasi penelitian menunjukkan variasi kondisi lingkungan yang berbeda, namun masih relevan untuk mendukung pertumbuhan jamur entomopatogen.

Tabel 1. Identifikasi area sampel tanah asal jamur entomopatogen

Lokasi	Varietas	Ketinggian (mdpl)	Pemupukan	Pestisida (bahan aktif)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
Neglasari	Siam	680	NPK	Profenofos, deltametrin, Kklorantraniliprol, propineb 70%, fluopiram 250 g/l + trifloksistrobin 250 g/l parakuat diklorida, glifosat	22-34	56-70
Kadungora	Terigas	650	NPK	Profenofos, klorpirifos, tetranilipol, difenoconazole 125 g/l + azoksistrobin 200 g/l, tembaga hidroksida, parakuat diklorida, glifosat	22-33	54-66
Sukatani	Lemon	1290	NPK	-	20-33	64-80

Hasil penelitian dari ketiga lokasi sampel yang berbeda tersebut didapatkan sebanyak 14 jamur entomopatogen yang terdiri atas dua spesies jamur, yaitu *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* (Gambar 3). Isolat paling banyak ditemukan pada varietas Lemon di Desa Sukatani sebanyak 7 isolat, varietas Siam di Desa Neglasari sebanyak 4 isolat, dan varietas Keprok Terigas di Desa Kadungora sebanyak 3 isolat. Pengambilan sampel dilakukan pada musim kemarau, pada musim tersebut cuaca sangat panas, sehingga diperkirakan mempengaruhi keberadaan jamur di lapangan yang sedikit. Mora *et al.* (2016) melaporkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara musim hujan dan musim kemarau, dengan kemunculan entomopatogen lebih banyak pada musim hujan dibandingkan musim kemarau.



Gambar 3. Perbandingan jumlah entomopatogen pada tiap varietas jeruk.

Pestisida dan pupuk kimia dalam proses budidaya berpengaruh besar dalam kelimpahan dan keragaman jamur entomopatogen yang diperoleh pada suatu lokasi. Bravo *et al.* (2021) mengemukakan

bahwa keanekaragaman jamur entomopatogen dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu penggunaan pestisida. Jamur entomopatogen banyak ditemukan pada Desa Sukatani karena pada lokasi tersebut menggunakan pupuk organik dan tidak menggunakan pestisida. Penggunaan pupuk buatan dan pestisida yang berlebihan dapat merusak tekstur dan kesuburan tanah, sehingga secara perlahan-lahan mikroorganisme dalam tanah mengalami kematian (Larramendy & Soloneski, 2021).

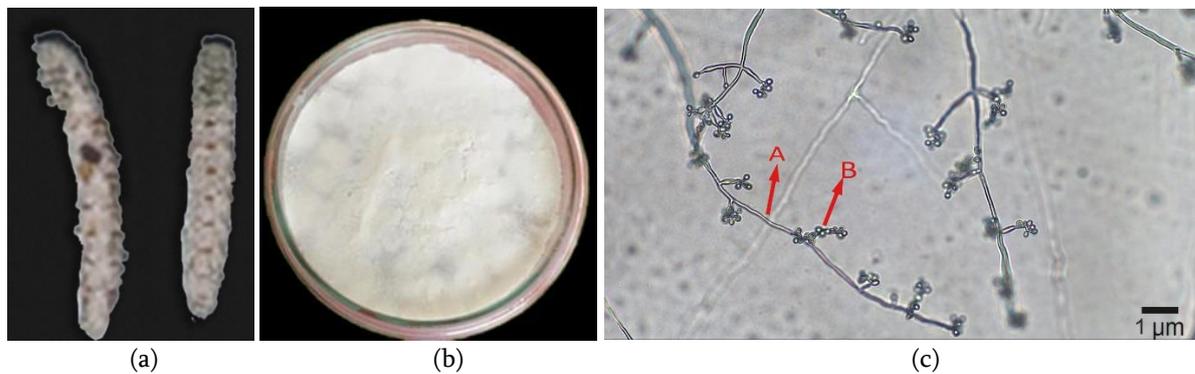
Jamur yang bersifat parasit pada serangga di alam, banyak ditemukan di daerah tropis, yaitu pada tanah yang lembab, dan pada daerah yang berbukit (Safitri *et al.*, 2018). Desa Neglasari dan Kadungora termasuk dalam kategori dataran medium sedangkan Desa Sukatani masuk dalam kategori dataran tinggi. Desa Sukatani memiliki jumlah isolat jamur entomopatogen yang lebih banyak daripada Desa Neglasari dan Kadungora. Hal ini disebabkan karena dataran tinggi memiliki kondisi lingkungan yang berbeda, termasuk kelembapan dan suhu, yang dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan jamur entomopatogen. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Safitri *et al.* (2018), lokasi dataran tinggi atau perbukitan memiliki jumlah isolat jamur yang lebih banyak dibandingkan pada lokasi dataran rendah.

Indeks Ekologi Jamur Entomopatogen

Berdasarkan hasil eksplorasi entomopatogen terhadap *T. molitor* pada tiga varietas jeruk terdapat dua jenis jamur yang menginfeksi serangga. Dua jenis

jamur entomopatogen yang ditemukan yaitu *B. bassiana* dan *M. anisopliae*. Karakteristik isolat jamur *B. bassiana* secara makroskopis dan mikroskopis menunjukkan bahwa warna koloni putih dengan permukaan seperti tepung. Konidia berbentuk oval (Safitri *et al.*, 2018). Kematian larva umpan *T. molitor*

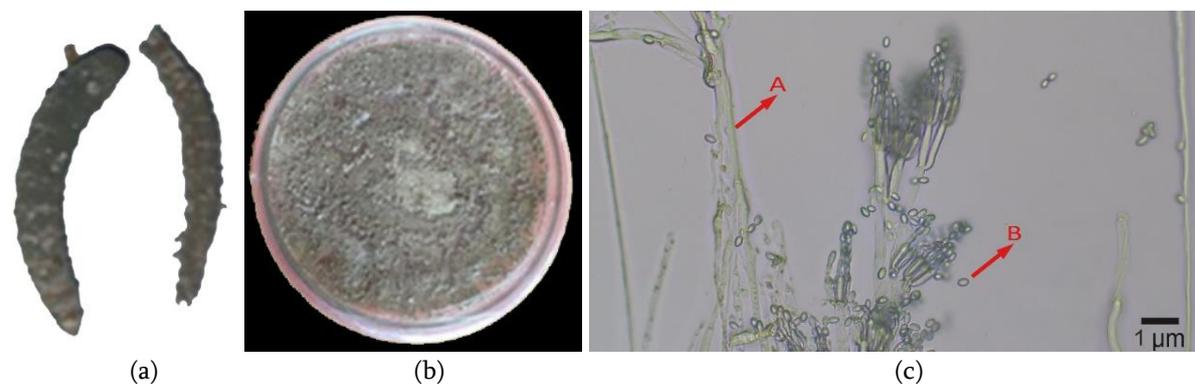
ditandai dengan adanya perubahan warna dan berkembangnya jamur pada jaringan dan miselium jamur tumbuh keluar menutupi sebagian bahkan seluruh tubuh larva. Infeksi pada serangga dikenal dengan *white muscardine* (Gambar 4).



Gambar 4. Karakteristik *B. bassiana* (a) Larva *T. molitor* yang terinfeksi, (b) Koloni, (c) Hifa (A) dan konidia (B) dengan perbesaran 400x.

Karakteristik isolat jamur *M. anisopliae* secara makroskopis dan mikroskopis menunjukkan warna koloni hijau. Konidia dari *M. anisopliae* berbentuk panjang seperti basil. Jamur entomopatogen yang menempel di tubuh serangga memerlukan waktu dan dapat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan. Ciri-ciri serangga yang terserang jamur entomopatogen, pertama bergerak lambat, kemudian serangga

tersebut mati. Serangga yang mati tubuhnya keras dan kaku. Serangga awalnya memiliki warna tubuh oranye, lalu setelah 3-4 hari warnanya berubah menjadi putih yang ditutupi oleh hifa jamur. Hari ketujuh mengalami perubahan menjadi warna hijau. Infeksi pada serangga dikenal dengan *green muscardine* (Gambar 5).



Gambar 5. Karakteristik *M. anisopliae*. (a) Larva *T. molitor* yang terinfeksi, (b) Koloni, Hifa (A) dan konidia (B) dengan perbesaran 400x.

Setiap varietas jeruk memiliki karakteristik yang berbeda, seperti ketebalan kulit, kandungan senyawa kimia, dan kandungan nutrisi dapat mempengaruhi perilaku lalat buah (*Bactrocera* spp.) dalam memilih tempat bertelur dan perkembangan pupa. Jeruk dengan kulit tebal seperti Lemon lebih sulit bagi lalat buah untuk menembus kulit dan meletakkan telur. Namun, pori-pori yang lebih banyak pada permukaan kulit Lemon dapat memberikan ruang bagi lalat buah untuk meletakkan

telurnya. Sebaliknya, jeruk dengan kulit tipis, lebih halus, dan licin seperti Siam dan Terigas dapat mengurangi kemampuan lalat buah untuk bertelur, sehingga lebih jarang mengalami infestasi dibandingkan Lemon (Budiyati dkk., 2021; Sarni dkk., 2021). Varietas jeruk yang lebih disukai lalat buah akan memiliki jumlah pupa yang lebih banyak di dalam tanah. Perbedaan jumlah pupa di dalam tanah ini dapat memengaruhi keberadaan jamur entomopatogen, karena tanah dengan populasi pupa

yang lebih tinggi menyediakan lebih banyak inang potensial bagi jamur entomopatogen untuk berkembang.



Gambar 6. Lahan pertanaman jeruk Lemon di Desa Sukatani.

Kondisi lingkungan sekitar tanaman jeruk seperti keberadaan serasah daun yang melimpah, tidak hanya memengaruhi tingkat kelangsungan hidup pupa, tetapi juga menciptakan mikrohabitat yang mendukung pertumbuhan berbagai jenis jamur entomopatogen (Hallouti *et al.*, 2020). Lahan pertanaman jeruk Lemon juga memiliki serasah daun yang melimpah, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Serasah daun menyediakan habitat yang kaya akan bahan organik dan kelembapan, yang sangat mendukung pertumbuhan dan perkembangan entomopatogen. Serasah dapat memberikan perlindungan bagi pupa predator dan parasit, tetapi juga dapat menjadi tempat dimana entomopatogen dapat menginfeksi pupa tersebut. Penelitian Islam *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kondisi tanah dan serasah yang optimal dapat meningkatkan infeksi jamur terhadap pupa. Sementara itu, keanekaragaman hayati yang dipengaruhi oleh jumlah spesies, individu, dan populasi total, juga memainkan peran penting dalam ekosistem.

Berdasarkan hasil penelitian, indeks keanekaragaman (H') untuk ketiga varietas jeruk relatif rendah (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa tiap varietas jeruk memiliki sedikit spesies entomopatogen dan distribusi individu yang tidak merata. Indeks kekayaan (DMg) pada ketiga varietas jeruk berada pada kategori rendah. Hal ini berarti bahwa jumlah spesies entomopatogen dalam tiap varietas jeruk relatif sedikit dibandingkan dengan jumlah total individu. Indeks kemerataan (E) pada ketiga varietas jeruk berada pada kategori tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa setiap spesies jamur entomopatogen memiliki jumlah individu yang relatif sama. Indeks dominansi (C) yang sedang pada ketiga varietas menunjukkan bahwa tidak ada spesies jamur entomopatogen yang sangat mendominasi.

Tabel 2. Indeks keanekaragaman, kekayaan, kemerataan, dan dominansi entomopatogen pada beberapa varietas jeruk

Varietas	N	H'	Kriteria	DMg	Kriteria	E	Kriteria	C	Kriteria
Siam	4	0,56	Rendah	0,72	Rendah	0,81	Tinggi	0,63	Sedang
Terigas	3	0,64	Rendah	0,91	Rendah	0,92	Tinggi	0,56	Sedang
Lemon	7	0,68	Rendah	0,51	Rendah	0,99	Tinggi	0,51	Sedang

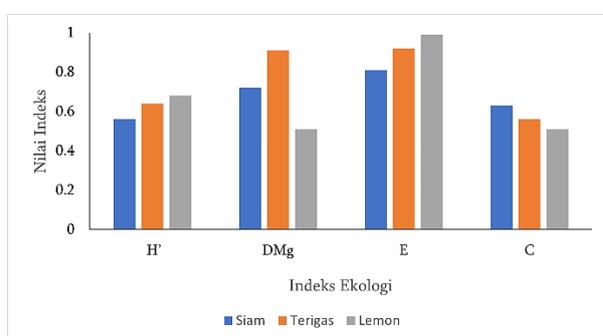
Keterangan: N = jumlah keseluruhan individu, H' = indeks keanekaragaman, DMg = indeks kekayaan, E = indeks kemerataan, C = indeks dominansi.

Jumlah spesies yang ada, jumlah individu dalam setiap spesies, dan populasi total dari semua individu dapat memengaruhi nilai indeks keanekaragaman. Oliveira *et al.* (2016) menjelaskan bahwa tingkat keanekaragaman berkaitan dengan dominansi dan kemerataan jenis, jika ada satu spesies yang mendominasi, kemerataan dapat tidak seimbang, sehingga keanekaragaman menjadi rendah. Berdasarkan Gambar 7, diketahui bahwa indeks keanekaragaman dan kemerataan tertinggi ada pada Lemon dengan nilai 0,68 (rendah) dan 0,99 (tinggi), sedangkan indeks dominansi sebesar 0,51 (sedang). Hal ini sejalan dengan penelitian yang

dilakukan oleh Izzaty dkk. (2023) yang menyatakan bahwa nilai indeks dominansi berbanding terbalik dengan nilai indeks keanekaragaman dan kemerataan. Keberadaan inang yang cukup, kondisi lingkungan yang mendukung (suhu dan kelembapan) serta praktik pertanian berperan penting dalam mendukung kelangsungan hidup dan keanekaragaman jamur entomopatogen.

Menurut Hallouti *et al.* (2020), lahan hutan memiliki kelimpahan dan keanekaragaman jamur entomopatogen yang lebih tinggi daripada kebun jeruk. Hal ini dikarenakan tanah dari kebun jeruk terpengaruh oleh residu pestisida sehingga menjadi

kurang ideal untuk perkembangan jamur. Sejalan dengan hasil penelitian, varietas jeruk Lemon memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan Siam dan Terigas karena tidak menggunakan pestisida. Berdasarkan penelitian Safitri *et al* (2018), indeks keanekaragaman jamur entomopatogen juga dipengaruhi oleh ketinggian di mana dataran tinggi memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi karena suhu dan kelembapannya yang efektif untuk pertumbuhan jamur entomopatogen. Hal ini sejalan dengan penelitian, varietas Lemon memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan Siam dan Terigas, karena Lemon berada di dataran tinggi.



Gambar 7. Grafik indeks ekologi jamur entomopatogen. H' = indeks keanekaragaman, DMg = indeks kekayaan, E = indeks pemerataan, C = indeks dominansi.

Penemuan isolat jamur entomopatogen *B. bassiana* dan *M. anisopliae* pada berbagai varietas jeruk menunjukkan adanya potensi pemanfaatan agen hayati yang beragam untuk pengendalian hayati *Bactrocera* spp. Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Shahzad *et al.* (2019), pada berbagai konsentrasi suspensi *B. bassiana* yang disemprotkan ke larva instar ketiga *B. dorsalis* selama 60 detik (*in vitro*) memberikan persentase kematian larva *B. dorsalis* antara 49-94%. Sementara itu, menurut Shaurub (2023), penggunaan *M. anisopliae* pada tahap *in vivo* dapat mengurangi infestasi buah hingga 45%. Pada penelitian tersebut spora *M. anisopliae* disemprotkan pada daun dan batang tanaman serta diaplikasikan langsung ke tanah.

Variasi jumlah isolat pada masing-masing varietas jeruk (Siam, Terigas, dan Lemon) menunjukkan bahwa karakteristik spesifik varietas, seperti struktur tajuk, kandungan nutrisi, atau interaksi dengan mikroorganisme lain dapat memengaruhi keberadaan dan persebaran jamur entomopatogen. Tingginya indeks pemerataan

menunjukkan distribusi yang relatif merata dari spesies jamur di habitatnya, meskipun keanekaragaman dan kekayaan jenisnya rendah. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan berperan penting dalam mendukung kelangsungan hidup jamur entomopatogen. Selain itu, praktik budidaya seperti pemupukan dan penggunaan pestisida, turut memengaruhi keberadaan dan dominansi jamur tersebut. Hasil penelitian ini memberikan dasar ilmiah untuk mengembangkan strategi pengelolaan hama *Bactrocera* spp. yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan isolat unggul dari jamur entomopatogen yang ditemukan. Implementasi strategi ini perlu disesuaikan dengan karakteristik varietas jeruk yang dibudidayakan, kondisi tanah di lokasi, serta praktik budidaya yang mendukung keberlanjutan ekosistem mikroba tanah. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengendalian hayati sekaligus menjaga produktivitas jeruk.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat jamur entomopatogen yang berpotensi untuk pengendalian lalat buah berhasil diperoleh dari tanah di sekitar tanaman jeruk pada beberapa varietas. Pada varietas Lemon dengan sistem pertanian tanpa penggunaan pestisida yang intensif ditemukan isolat jamur entomopatogen yang lebih banyak yaitu 4 isolat *B. bassiana* dan 3 isolat *M. anisopliae* dengan indeks keanekaragaman tertinggi. Sebaliknya, pada lahan yang intensif dalam penggunaan pestisida memiliki indeks keanekaragaman dan jumlah isolat jamur entomopatogen yang lebih rendah yaitu 3 isolat *B. bassiana* dan 1 isolat *M. anisopliae* pada varietas Siam serta 2 isolat *B. bassiana* dan 1 isolat *M. anisopliae* pada varietas Keprok Terigas. Hasil dari riset ini menunjukkan bahwa intensitas penggunaan pestisida akan memengaruhi indeks keanekaragaman jamur entomopatogen dan dapat berdampak pada efektivitas penerapan agen biokontrol dalam strategi pengendalian lalat buah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Kementerian Pertanian Republik Indonesia dan Badan Karantina Indonesia atas dukungan biaya studi dan biaya penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Amilia, E, Joy, B, dan Sunardi. 2016. Residu pestisida pada tanaman hortikultura (Studi kasus di Desa Cihanjuan Rahayu Kecamatan Parongpong Kabupaten Bandung Barat). *Jurnal Agrikultura*. 27(1): 23–29. DOI: 10.24198/agrikultura.v27i1.8473.
- [Balitjestro]. Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika 2019. Laporan Kinerja Tahun 2019. Balitjestro. Malang.
- Barnett, HL, and BB Hunter. 1972. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi (Third Edition)*. Burgess Publishing Company. Minnesota.
- Barzanti, GP, J Enkerli, C Benvenuti, A Strangi, G Mazza, G Torrini, S Simoncini, F Paoli, and L Marianelli. 2023. Genetic variability of *Metarhizium* isolates from the Ticino Valley Natural Park (Northern Italy) as a possible microbiological resource for the management of *Popillia japonica*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 197: 107891. DOI: 10.1016/j.jip.2023.107891.
- Bravo, MF, F Gschwend, J Mayerhofer, A Hug, F Widmer, and J Enkerli. 2021. Land-use type drives soil population structures of the entomopathogenic fungal genus *metarhizium*. *Microorganisms*. 9(7): 1380. DOI: 10.3390/microorganisms9071380.
- Budiyati, E, A Andriani, C Martasari, dan L Zamzami. 2021. *Teknologi Inovatif Jeruk Sehat Nusantara*. IPB Press. Bogor.
- Darmawansyah, S Ulpah, and TE Sabli. 2023. Effect of application intervals of various types of insecticides in controlling fruit fly (*Bactrocera* sp.) pests on production of curly red chili (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*. 5(1): 108–119. DOI: 10.36378/juatika.v5i1.2622.
- Dias, NP, MJ Zotti, P Montoya, IR Carvalho, and DE Nava. 2018. Fruit fly management research: A systematic review of monitoring and control tactics in the world. *Crop Protection*. 112: 187–200. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.05.019.
- Fabrice, DH, DA Elie, DO Kobi, ZA Valerien, HA Thomas, T Joelle, EIAT Maurille, OB Denis, and T Manuele. 2020. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*. 3(24): 1–21. DOI: 10.1186/s42397-020-00061-5.
- Ginting, S, T Pamekas, dan Z Neildi. 2024. Eksplorasi, isolasi, dan identifikasi jamur entomopatogen asal rizosfer tanaman jagung di Bengkulu dengan metode baiting insect. *Jurnal Agrikultura*. 35(2): 308–320. DOI: 10.24198/agrikultura.v35i2.55390.
- Gomina, M, JF Vayssieres, BD Kassene, IA Glitho, and K Amevo. 2020. Diversity of parasitoids associated with fruit flies on cultivated and wild plants in southern Togo. *International Journal of Tropical Insect Science*. 40(4): 887–898. DOI: 10.1007/s42690-020-00147-2.
- Hallouti, A, MA Hamza, A Zahidi, RA Hammou, R Bouharroud, AAB Aoumar, and H Boubaker. 2020. Diversity of entomopathogenic fungi associated with Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae)) in Moroccan Argan forests and nearby area: Impact of soil factors on their distribution. *BMC Ecology*. 20: 64. DOI: 10.1186/s12898-020-00334-2.
- Hanif, Z. 2020. *Pengembangan Agribisnis Jeruk Nusantara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura. Bogor.
- Hasyim, A, W Setiawati, A Hudayya, dan N Luthfy. 2016. Sinergisme jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* dengan insektisida kimia untuk meningkatkan mortalitas ulat bawang Spodoptera exigua. *Jurnal Hortikultura*. 26(2): 257–266. DOI: 10.21082/jhort.v26n2.2016.p257-266.
- Islam, W, M Adnan, A Shabbir, H Naveed, YS Abubakar, M Qasim, M Tayyab, A Noman, MS Nisar, KA Khan, and H Ali. 2021. Insect-fungal-interactions: A detailed review on entomopathogenic fungi pathogenicity to combat insect pests. *Microbial Pathogenesis*. 159: 105122. DOI: 10.1016/j.micpath.2021.105122.
- Izzaty, H, Y Zamroni, dan IW Suana. 2023. Keanekaragaman lalat buah *Bactrocera* spp. di pasar di Pulau Lombok. *Jurnal Bios Logos*. 13(3): 158–168. DOI: 10.35799/jbl.v13i3.51875.
- Kemp, JE. 2014. *Untangling Mechanisms Structuring Insect Diversity Patterns in the Cape Floristic Region: The Restionaceae and Their Herbivores*. [Thesis]. Stellenbosch University. Stellenbosch.
- Kurniawan, A, dan J Panggeso. 2020. Efektivitas cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* terhadap mortalitas dan daya hambat makan

- ulat daun kubis *Plutella xylostella* L. Agrotekbis: Jurnal Ilmu Pertanian. 8(3): 686–695.
- Larramendy, ML, and S Soloneski. 2021. Soil Contamination – Threats and Sustainable. IntechOpen. Argentina.
- Leksono, AS, ZP Gama, B Yanuwadi, A Rizali, and Y Vera. 2024. The effect of soil depth on pupation of *Bactrocera dorsalis* collected from chilli. BIO Web of Conferences. 91: 01004. DOI: 10.1051/bioconf/20249101004.
- Maina, UM, IB Galadima, FM Gambo, and D Zakaria. 2018. A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. Journal of Entomology and Zoology Studies. 6(1): 27-32.
- Martuti, NKT, dan R Anjarwat. 2022. Keanekaragaman serangga parasitoid (Hymenoptera) di perkebunan jambu biji Desa Kalipakis Sukorejo Kendal. Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences. 45(1): 1–8. DOI: 10.15294/ijmns.v45i1.36369.
- Mora, MAE, JRC Rouws, and ME Fraga. 2016. Occurrence of entomopathogenic fungi in Atlantic forest soils. Microbiology Discovery. 4(1): 1. DOI: 10.7243/2052-6180-4-1.
- Oliveira, N, IW Susila, dan IW Supartha. 2016. Keragaman jenis lalat buah dan tingkat parasitasi parasitoid yang berasosiasi dengan tanaman buah-buahan di Distrik Lautem, Timor Leste. Jurnal Agroteknologi Tropika. 5(1): 93–5102.
- Safitri, A, S Herlinda, and A Setiawan. 2018. Entomopathogenic fungi of soils of freshwater swamps, tidal lowlands, peatlands, and highlands of South Sumatra, Indonesia. Biodiversitas. 19(6): 2365–2373. DOI: 10.13057/biodiv/d190647.
- Sarni, M Nadila, dan S Sujud. 2021. Intensitas serangan lalat buah (*Bactrocera* sp.) pada beberapa varietas tanaman pare (*Momordica charantia* L.). Cannarium. 19(1): 54–59. DOI: 10.33387/cannarium.v19i1.3410.
- Shahzad, MU, MA Qayyum, M Ishtiaq, RM Ikram, and MA Saleem. 2021. Entomopathogenicity of *Beauveria Bassiana* against two Bactrocera species (Tephritidae: Diptera) under laboratory condition. Agricultural Sciences Journal. 1(1): 19–24. DOI: 10.56520/asj.v1i1.24.
- Shaurub, ESH. 2023. Review of entomopathogenic fungi and nematodes as biological control agents of tephritid fruit flies: current status and a future vision. Entomologia Experimentalis et Applicata. 171(1): 17–34. DOI: 10.1111/eea.13244.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1998. Petunjuk Pengambilan Contoh Padatan [SNI 19-0428-1998]. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sulfiani, dan T Septiani. 2021. Efektivitas formulasi ekstrak terhadap *Bactrocera* spp pada pertanaman hortikultura Kecamatan Tanasitolo Kabupaten Wajo. Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan. 9(1): 27-33. DOI: 10.30605/PERBAL.V9I1.1561.
- Susanto, A, MA Efendi, S Rasiska, S Hidayat, T Suganda, and SNS Putri. 2023. Diversity of fruit flies on three varieties of mango in Kuningan Regency, West Java, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1287(21): 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/1287/1/012021.
- Vayssieres, JF, MD Meyer, I Ouagoussounon, A Sinzogan, A Adandonon, S Korie, R Wargui, F Anato, H Hougbo, C Didier, HD Bon, and G Goergen. 2015. Seasonal abundance of mango fruit flies (Diptera: Tephritidae) and ecological implications for their management in mango and cashew orchards in Benin (Centre & North). Journal of Economic Entomology. 108(5): 2213–2230. DOI: 10.1093/jee/tov143.