

Eksplorasi dan Identifikasi Morfologi Cendawan Entomopatogen Isolat Lokal Sulawesi Selatan sebagai Calon Biopestisida Potensial

Exploration and Morphology Identification of Entomopathogenic Fungi Local Isolate South Sulawesi as Potential Biopesticide Candidates

Elisurya Ibrahim¹, Firmansyah¹, Mansur², Yusmani Prayogo¹

¹Pusat Riset Tanaman Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong Science Center- Botanical Garden, Jl.Raya Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong Bogor, Jawa Barat16911

²Loka Penelitian Penyakit Tungro Jl. Bulu No.101 Lanrang, Sidrap Sulawesi Selatan 91651

*E-mail: elisuryaibrahim@gmail.com

NASKAH DITERIMA 03 JANUARI 2022 ; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 31 OKTOBER 2022

ABSTRAK

Cendawan entomopatogen merupakan salah satu jenis agens hayati yang potensial digunakan sebagai biopestisida dalam pengendalian hama. Untuk mendapatkan cendawan entomopatogen yang efektif dan potensial dapat dilakukan melalui eksplorasi dari isolat lokal yang mempunyai daya adaptasi, virulensi dan kemampuan epizootik lebih unggul dibandingkan isolat dari hasil introduksi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan isolat lokal cendawan entomopatogen di Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan yang dilaksanakan mulai bulan Juli hingga September 2020. Metode eksplorasi yang digunakan adalah isolasi menggunakan sistem pengumpanan serangga (*insect baiting*). Isolat yang diperoleh kemudian diuji patogenitasnya pada larva ulat *Tenebrio molitor*. Hasil eksplorasi dan identifikasi morfologi menunjukkan bahwa seluruh isolat lokal cendawan entomopatogen yang diperoleh mempunyai peluang yang cukup besar untuk digunakan sebagai agens pengendalian hayati. Dua isolat diantaranya yang cukup menonjol, yaitu *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* memiliki kemampuan membunuh serangga uji *T. molitor* hingga 80-100% dengan indeks kematian berkisar 5-9 hari. Isolat cendawan *M. anisopliae* yang diperoleh dari Merittengae lebih patogenik, karena mampu menyebabkan mortalitas *T. molitor* mencapai 100% hanya dalam waktu lima hari jika dibandingkan dengan isolat lainnya. Oleh karena itu, isolat tersebut mempunyai potensi besar untuk digunakan sebagai agens hayati dalam pengendalian hama karena mampu menyebabkan epizootik.

Kata kunci: biopestisida, cendawan entomopatogen, eksplorasi, morfologi, isolat

ABSTRACT

Entomopathogenic fungi are one of the potential biological agents to be used as biopesticides for pest control. To obtain an effective and potential entomopathogenic fungus, it can be done through exploration of local isolates which have superior adaptability, virulence and epizootic ability compared to those of introduction isolates. This study aimed to obtain local isolates of entomopathogenic fungi in Sidrap Regency, South Sulawesi which was carried out from

July to September 2020. The exploration method used was isolation using an insect baiting system. The isolates obtained were then tested for pathogenicity on the larvae of the caterpillar *Tenebrio molitor*. The exploration and identification showed that all local isolates of entomopathogenic fungi obtained had opportunity to be used as biological control agents. Two types of them, namely *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* had the ability to kill *T. molitor* test insects up to 80-100% with a mortality index ranging from 5-9 days. The isolate of *M. anisopliae* fungus obtained from Merittengae was more pathogenic compared to other isolates because it caused *T. molitor* mortality up to 100% in just five days. Therefore, these isolates have great potential to be used as biological agents to control pests as they have epizootic capabilities.

Keywords: biopesticides, entomopathogenic fungi, exploration, morphology, isolate

PENDAHULUAN

Hama menjadi salah satu kendala utama dalam upaya peningkatan produktivitas berbagai komoditas tanaman pangan, perkebunan maupun hortikultura, yang semakin sulit dikendalikan. Kondisi tersebut terjadi akibat cekaman lingkungan seperti terjadinya resistensi dan resurgensi terhadap sebagian besar formulasi produk pestisida sintetik yang beredar, perubahan iklim global yang tidak menentu seperti musim kemarau yang berkepanjangan sehingga memicu peningkatan produksi hormon perkembangan (*juvenile hormone*) dan terbentuknya strain atau biotipe baru (Fang *et al.* 2014; Nayak *et al.* 2020; Skendzic *et al.* 2021). Selain itu, tuntutan pencapaian swasembada pangan dengan menerapkan peningkatan indeks pertanaman (IP) 300 menjadi 400 mendorong terbentuknya sistem tanam monokultur sepanjang tahun. Hal ini berakibat keanekaragaman hayati menjadi sangat terbatas (Sing 2017; Sarina dan Singh 2017). Pada kondisi demikian, teknologi konvensional yang diandalkan petani sebagai senjata ampuh justru tidak

memperoleh hasil seperti yang diharapkan karena populasi hama di lapangan semakin meningkat. Oleh karena itu, strategi pengendalian hama yang tepat, efektif, dan efisien sangat diperlukan untuk menekan terjadinya resistensi maupun resurgensi (Zhu *et al.* 2016; Ibrahim dan Mugiasih 2020; Liu *et al.* 2020).

Salah satu alternatif yang menjadi pilihan untuk menekan atau menghambat terjadinya resistensi dan resurgensi yaitu memanfaatkan biopestisida yang berasal dari agens hayati khususnya cendawan entomopatogen (Sujeetha dan Sahayaraj 2014; Maina *et al.* 2018; Chang *et al.* 2021). Cendawan entomopatogen merupakan organisme heterotrof yang bersifat patogenik yang dapat menginfeksi serangga inang (*host*) dengan cara penetrasi menggunakan tabung kecambah (*germ tube*). Tabung kecambah kemudian memproduksi berbagai enzim seperti protease, kitinase, dan lipase untuk mendegradasi kutikula. Tabung kecambah berkembang membentuk miselium masuk ke dalam hemosol untuk mengabsorpsi darah (*hemolymph*) serangga. Selanjutnya, cendawan membentuk blastospora yang memproduksi berbagai jenis toksin seperti *beauvericin*, *bassionalide*, *oosporein*, *tenellin*, dan *bassiacridin* yang dapat meracuni darah dan mengganggu sistem saraf sehingga aktivitas serangga menjadi lamban yang diakhiri dengan kematian (Gul *et al.* 2014; Mascarin *et al.* 2021; Wang *et al.* 2021).

Kematian serangga umumnya terjadi antara tiga sampai empat hari setelah infeksi (HSI) atau tergantung dari jenis isolat cendawan entomopatogen. Miselium berkembang memenuhi seluruh rongga hemosol, setelah nutrisi habis di dalam hemosol selanjutnya miselium menembus ke luar tubuh serangga dan mengkolonisasi menginfeksi inang yang lain dengan memproduksi konidia sebagai organ infeksi. Tubuh atau bangkai serangga (*cadaver*) yang sudah mati terinfeksi dan terkolonisasi miselium cendawan entomopatogen umumnya mengeras seperti mumi (*mumification*) (Mwanburi *et al.* 2019; Sharma *et al.* 2020). Isolat cendawan entomopatogen yang memiliki virulensi tinggi mampu membunuh inang dalam rentang waktu lebih singkat dibandingkan dengan isolat yang avirulen.

Eksplorasi isolat cendawan entomopatogen dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain: mengambil bangkai serangga yang terinfeksi cendawan di lapangan, isolasi dari permukaan tanah serta sistem pengumpanan menggunakan serangga (*insect baiting*) yang diberi tanah (Herlinda 2010; Masoudi *et al.* 2020; Kidanu dan Hagos 2020; Manzoukas *et al.* 2020). Isolat lokal cendawan entomopatogen yang diperoleh dari lokasi setempat

akan mempunyai adaptasi dan kinerja yang lebih tinggi dalam membunuh hama sasaran dibandingkan dengan agens hayati yang diintroduksi dari daerah lain (Nidhi *et al.* 2018; Teja dan Rahman 2020; Alfiky 2021; Sahin dan Yanar 2021; Sutanto *et al.* 2021). Isolat lokal cendawan entomopatogen bersifat kosmopolit sehingga sangat mudah diperoleh di berbagai negara agraris terutama di Indonesia (Herdatiarni *et al.* 2014; Ginting *et al.* 2020; Herlinda *et al.* 2020a; Suwandi 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan isolat lokal cendawan entomopatogen yang potensial sebagai agens hayati untuk pengendalian hama di Kabupaten Sidrap. Sulawesi Selatan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli sampai September 2020 di Laboratorium Loka Penelitian Penyakit Tungro (Lolit Tungro) Sulawesi Selatan. Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), lokasi pengambilan sampel digunakan sebagai perlakuan, dan masing-masing perlakuan diulang tiga kali sehingga terdapat 18 titik pengambilan sampel tanah. Lokasi tersebut berada di Provinsi Sulawesi Selatan Kabupaten Sidrap meliputi; 1) Marittengae (-3°52'54", 120°0'44", -101,7FT, 141°), 2) Panca Rijang (-3°50'57", 119°49'29", 92,0m), 3) Pitu Riase III (-3°52'53", 120°0'43", -162,7FT, 245°), 4) Pitu Riase II (-3°49'19", 120°1'59", -163,4FT, 191°), 5) Pitu Riase I (-3°48'50", 120°2'24", 124,0FT, 93°) dan 6) Pitu Riawa (-3°50'51", 119°58'16", 85,0m). Pada setiap titik, sampel tanah diambil pada areal berukuran 20 cm x 20 cm.

Sampel tanah diambil dengan menggali tanah pada kedalaman sekitar 15 cm (*top soil*) di sekitar perakaran tanaman pisang. Pada setiap titik diambil kurang lebih sebanyak 2000 g tanah, kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label sesuai dengan informasi lokasi dan tanggal pengambilan sampel. Sampel tanah kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan proses isolasi cendawan.

Isolasi cendawan dari tanah dilakukan dengan metode perangkap serangga (*Insect bait method*) yang sudah dimodifikasi mengacu metode Nishi *et al.* (2011), Anwar *et al.* (2015), dan Nishi dan Sato (2019). Sampel tanah dibersihkan dari kotoran dan akar tumbuhan kemudian dimasukkan ke dalam kotak plastik yang berukuran 13 x 13 x 10 cm³. Masing-masing kotak diisi 500 g tanah. Sampel tanah dilembabkan menggunakan air steril kemudian dimasukkan sebanyak 25 ekor larva *Tenebrio molitor* instar V yang sudah berganti ganti kulit (*moulting*),

selanjutnya kotak plastik ditutup. Sampel tanah yang sudah berisi larva *T. molitor* diinkubasi selama 2 minggu pada suhu $\pm 21^\circ\text{C}$ di dalam ruang gelap dengan posisi kotak plastik dibolak balik setiap hari selama 1 minggu pertama untuk meningkatkan kelembaban sehingga cendawan mampu membentuk tabung kecambah dan melakukan penetrasi ke lapisan kutikula serangga. Mortalitas larva *T. molitor* karena terinfeksi cendawan diamati setiap hari.

Pengamatan persentase mortalitas *T. molitor* yang terinfeksi cendawan entomopatogen dilakukan dengan menghitung jumlah larva *T. molitor* yang mati pada saat perlakuan metode perangkap serangga berdasarkan Hofgaard *et al.* (2016) yaitu:

$$IP = \frac{ib}{tb} \times 100 \%$$

Keterangan;

IP = Inokulum potensial

ib = Jumlah larva *T. molitor* yang mati terinfeksi cendawan

tb = Jumlah total larva *T. molitor* yang diuji.

Indeks kecepatan kematian atau masa inkubasi serangga uji *T. molitor* akibat infeksi cendawan entomopatogen dilakukan dengan menghitung jumlah larva *T. molitor* yang mati pada sistem perangkap mengacu metode Setiawan dan Supriyadi (2014) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = T_1P_1 + T_2P_2 + T_3P_3 + T_nP_n \cdot k_n / N$$

Keterangan;

T = Waktu pengamatan

P = Jumlah serangga yang mati terinfeksi cendawan entomopatogen

n = waktu pengamatan yang diperlukan hingga selesai

N = Jumlah total serangga yang diuji

Isolasi cendawan entomopatogen diawali dengan memotong-motong bangkai larva (*cadaver*) *T. molitor* yang terinfeksi cendawan entomopatogen berukuran 0,5 - 1 cm kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri steril yang berisi cairan sodium hipoklorit 1% selama 30 detik. Selanjutnya preparat direndam air steril di dalam cawan petri selama 30 detik perendaman dilakukan 3 kali, kemudian dikeringkan menggunakan kertas saring. Preparat yang sudah kering kemudian diinkubasi pada media *potato dextrose agar* (PDA) dan disimpan di dalam *moist chamber* kurang lebih selama tujuh hari untuk merangsang pertumbuhan koloni cendawan mengikuti metode yang dikembangkan Rosa *et al.*

(2020) dan Rodrigues *et al.* (2021). Setelah tujuh hari, masing-masing miselium dari isolat cendawan yang tumbuh dari hasil isolasi bangkai *T. molitor* dimurnikan dengan cara mengambil miselium menggunakan jarum ose, ditumbuhkan di dalam media PDA dan diinkubasi selama tujuh hari. Masing-masing isolat biakan cendawan entomopatogen yang sudah dimurnikan selanjutnya diamati menggunakan mikroskop untuk proses identifikasi berdasarkan kunci determinasi.

Identifikasi berdasarkan karakter morfologi yang terbentuk dengan mengacu metode yang dikembangkan Samson dan Evans (2013), serta Benjamin *et al.* (2017). Identifikasi secara makroskopis berdasarkan penampakan morfologi cendawan, baik bentuk dan warna koloni serta bentuk konidia. Pengamatan secara mikroskopis berdasarkan bentuk konidia menggunakan mikroskop Olympus CX31 dengan perbesaran 100x.

Data yang sudah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan program Minitab 16, apabila terdapat perbedaan antarperlakuan maka dilanjutkan dengan uji jarak berganda (*Duncan multiple range test*) pada taraf uji dengan $\alpha = 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan karakterisasi morfologi koloni cendawan entomopatogen

Identifikasi morfologi cendawan entomopatogen dari enam lokasi pengambilan sampel memperoleh dua jenis cendawan entomopatogen. Isolat pertama yaitu cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* yang diperoleh hanya dari satu titik pengambilan sampel, yaitu di Kecamatan Pitu Riawa. Jenis isolat kedua yaitu cendawan entomopatogen *Metharizium anisopliae* yang diperoleh dari lima titik pengambilan sampel masing-masing di Kecamatan Pitu Riase I, Pitu Riase II, Pitu Riase III, Panca Rijang dan Marittengae. Karakterisasi cendawan menunjukkan warna dan bentuk koloni serta hifa yang beragam.

Isolat *B. bassiana* menunjukkan warna koloni putih dengan bentuk koloni melingkar dan hifa hialin, sedangkan bentuk konidia bulat dan hialin. Koloni *B. bassiana* berwarna putih pada media PDA (Gambar 1), selanjutnya koloni berubah warna menjadi kuning keruh dengan bertambahnya umur sesuai yang dilaporkan Bayu *et al.* (2021) dan Bich *et al.* (2021). Hasil eksplorasi *B. bassiana* dari larva ulat sutra (Wang *et al.* 2013) dan dari kutu putih (Yadav *et al.* 2019) menunjukkan koloni *B. bassiana* berwarna putih pada media PDA. Namun Wang *et al.* (2022) melaporkan ragam warna koloni isolat *B. bassiana* mulai putih hingga kuning keruh sesuai

dengan jenis isolat tersebut diperoleh dan umur koloni.

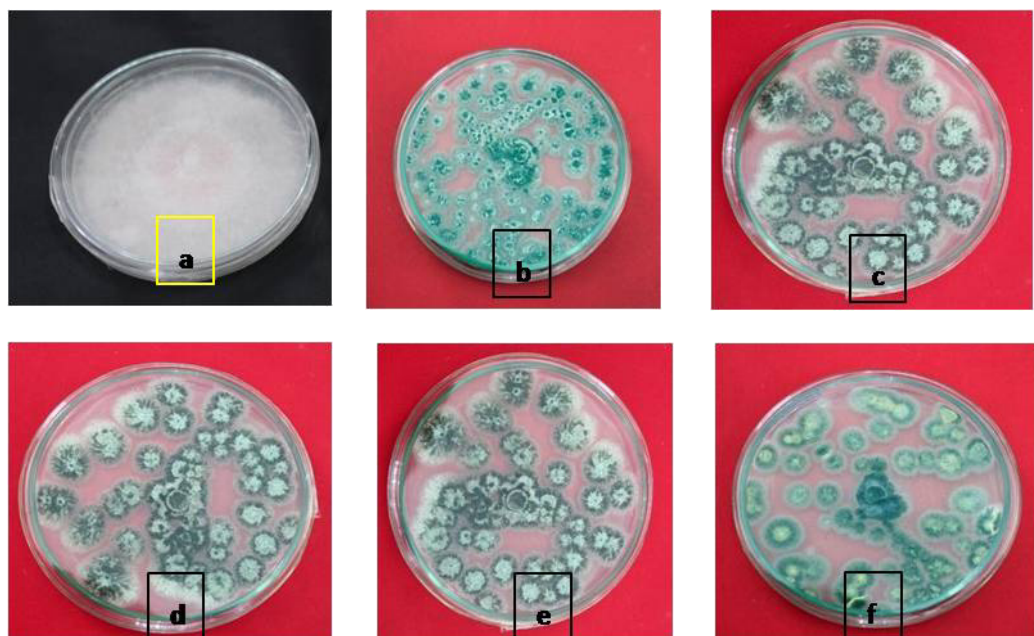
Isolat cendawan *M. anisopliae* yang ditemukan pada lima titik juga menunjukkan warna koloni yang beragam mulai dari kuning kehijauan, putih kehijauan, sampai hijau tua dengan bentuk koloni menyebar dan melingkar, sedangkan bentuk hifa dan konidia seragam yaitu hialin dan silinder (Tabel 1). Menurut Herlinda *et al.* (2020b) isolat *Metarhizium* sp. yang tumbuh pada media PDA memiliki koloni berwarna putih kemudian berubah warna menjadi putih kekuningan, selanjutnya berubah menjadi hijau dengan bertambahnya umur koloni. Oleh karena itu, isolat cendawan *M. anisopliae* cukup beragam dan mampu menginfeksi lebih dari 200 species serangga dari ordo Coleoptera, Dermoptera, Homoptera, Lepidoptera, Ortoptera dan serangga dari ordo lainnya (Feed dan Jin 2011; Chinniah *et al.* 2016a dan 2016b; Nishi dan Sato 2017).

Karakteristik mikroskopik cendawan *B. bassiana* dan *M. anisopliae* dicantumkan pada Gambar 2. Konidiofor *B. bassiana* memiliki ciri miselium berwarna putih seperti tepung, konidiofor tunggal, berkelompok tidak teratur, konidia (*sympodulo-spores*) hialin agak bulat hingga ovoid dan bersel satu (Wargane *et al.* 2019; Bich *et al.* 2021). Menurut beberapa peneliti sebelumnya bahwa bentuk konidia bulat dengan panjang berkisar $2,27 \pm 0,22 \mu\text{m}$ dan lebar $1,85 \pm 0,32 \mu\text{m}$ (Ali 2010; Lopez-Perez *et al.* 2015; Oliveira *et al.* 2015; Castrejon-Antonio *et al.* 2020) (Gambar 3a). Sedangkan konidia cendawan *M. anisopliae* berbentuk silindris bersel satu yang memanjang dengan konidiofor yang hialin tersusun tegak, berlapis, bercabang dan konidia membentuk rantai paralel jika jumlahnya banyak (Gambar 2b).

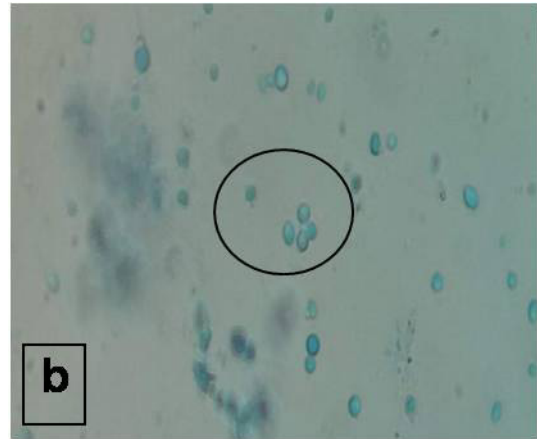
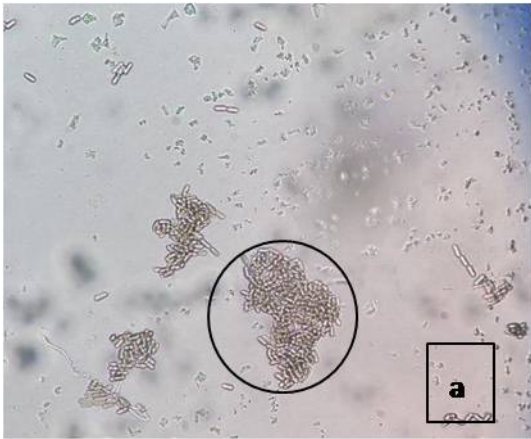
Gambar 3 menunjukkan hasil penelitian beberapa peneliti sebelumnya bahwa konidia cendawan *M. anisopliae* juga bervariasi dengan

Tabel 1. Karakterisasi morfologi cendawan entomopatogen hasil pengumpulan serangga dari enam lokasi pengambilan sampel tanah

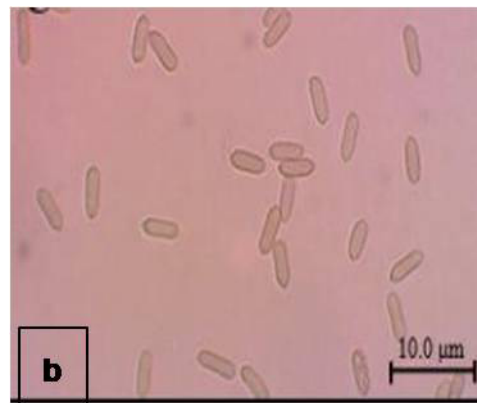
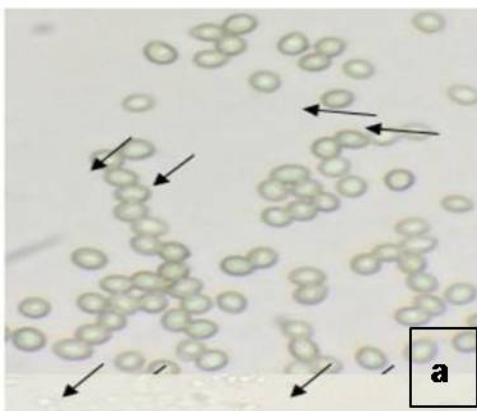
Lokasi	Jenis isolat cendawan entomopatogen	Karakteristik makroskopis cendawan			
		Warna koloni	Bentuk koloni	Hifa	Konidia
Marittengae	<i>M. anisopliae</i>	Hijau Tua	Melingkar	Hialin	Silinder, hialin
Panca Rijang	<i>M. anisopliae</i>	Putih Kehijauan	Melingkar	Hialin	Silinder, hialin
Pitu Riase III	<i>M. anisopliae</i>	Putih Kehijauan	Menyebar	Hialin	Silinder, hialin
Pitu Riase II	<i>M. anisopliae</i>	Hijau tua	Menyebar	Hialin	Silinder, hialin
Pitu Riase I	<i>M. anisopliae</i>	Kuning Kehijauan	Menyebar	Hialin	Silinder, hialin
Pitu Riawa	<i>B. bassiana</i>	Putih	Melingkar	Hialin	Bulat, hialin



Gambar 1. Karakter koloni isolat cendawan entomopatogen yang ditumbuhkan pada media PDA dari enam titik pengambilan sampel tanah (a) *B. bassiana* (b) *M. anisopliae* (c) *M. anisopliae* (d) *M. anisopliae* (e) *M. anisopliae* dan (f) *M. anisopliae*.



Gambar 2. Pengamatan mikroskopis konidia isolat cendawan entomopatogen *M. anisopliae* dari Merittengae yang berbentuk silinder (a) dan isolat konidia cendawan *B. bassiana* dari Pitu Riawa yang berbentuk bulat hingga oval (b).



Gambar 3. Bentuk konidia *B. bassiana* (a) dan bentuk konidia *M. anisopliae* (b). Sumber: Ali (2010), Oliveira *et al.* (2015), Castrejon-Antonio *et al.* (2020), dan Shahriari *et al.* (2021).

panjang berkisar antara 5,09-6,50 μm dan lebar berkisar antara 1,92-1,99 μm , tergantung jenis isolat dan jenis media tumbuh (Shahriari *et al.* 2021)

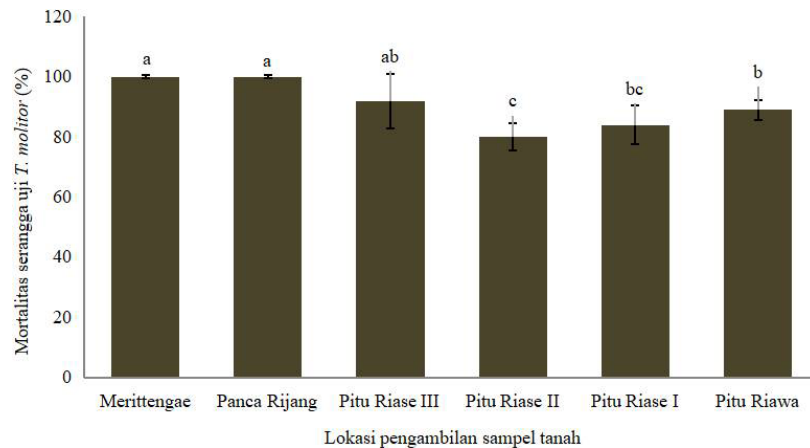
Sopialena *et al.* (2020) mengemukakan bahwa cendawan *Metarhizium* sp. memiliki ciri hifa bersepta, konidiofor dan konidia hialin, konidianya ber sel satu dan berbentuk bulat silinder. Sementara itu, Chen *et al.* (2019) dan Ayele *et al.* (2020) melaporkan bahwa *M. anisopliae* memiliki konidiofor hialin, bercabang, membentuk lapisan sporulasi, phialides tunggal, berpasangan atau dalam lingkaran, konidia berbentuk bulat telur panjang sampai silindris dan diproduksi dalam rantai basipetal.

Mortalitas larva *T. molitor*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mortalitas *molitor* larva uji *T. tertinggi* dihasilkan oleh isolat cendawan *M. anisopliae* yang diambil dari rizosfer tanaman pisang dari Kecamatan Panca Rijang dan Marittengae dengan jumlah larva mati mencapai 100%. Demikian pula isolat cendawan *M. anisopliae* yang diperoleh dari daerah Pitu Riase III menyebabkan kematian 92% serangga uji, dan tidak

berbeda nyata dengan tingkat mortalitas di Kec. Panca Rijang dan Marittengae (Gambar 4). Isolat cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* yang diperoleh dari Pitu Riawa juga tergolong tinggi karena mampu menyebabkan kematian serangga uji mencapai 89% dan tidak berbeda signifikan dengan isolat *M. anisopliae* yang diperoleh dari Pitu Riase III. Sementara itu, isolat cendawan entomopatogen *M. anisopliae* yang diperoleh dari Pitu Riase I juga mampu menyebabkan mortalitas serangga uji relatif tinggi, yaitu mencapai 84% tetapi tidak berbeda signifikan dengan isolat cendawan *B. bassiana* dari Pitu Riawa.

Hasil uji mortalitas menunjukkan perbedaan tingkat kematian *T. molitor* yang disebabkan oleh masing-masing isolat cendawan. Perbedaan tingkat mortalitas serangga uji diduga terjadi karena faktor virulensi dari masing-masing isolat dan faktor lingkungan seperti kelembaban maupun penggunaan pupuk, serta pestisida sintetik yang dilakukan di lokasi pengambilan sampel. Hal ini sesuai dengan penelitian Permadi *et al.* (2018) dan Arsi *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa aplikasi pupuk dan pestisida



Gambar 4. Mortalitas larva serangga uji *T. molitor* yang terinfeksi isolat lokal cendawan entomopatogen dari enam lokasi di Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan menggunakan metode perangkap serangga (*insect baiting*).

sintetik berdampak negatif terhadap kinerja cendawan entomopatogen dalam menyebabkan mortalitas serangga uji. Concalves *et al.* (2019) juga melaporkan bahwa beberapa jenis fungisida sintetik dapat mempengaruhi efikasi cendawan entomopatogen terhadap tingkat mortalitas serangga uji. Mishra *et al.* (2015) sebelumnya menyatakan bahwa faktor lingkungan khususnya kelembaban cukup berperan dalam menentukan tingkat mortalitas pada pengujian efikasi cendawan entomopatogen *B. bassiana*. Namun demikian, ditegaskan Trizelia *et al.* (2017) dan Pedrini (2022) bahwa produk enzimatis dan toksin yang dihasilkan oleh cendawan entomopatogen lebih berpengaruh terhadap tingkat mortalitas larva *T. molitor*.

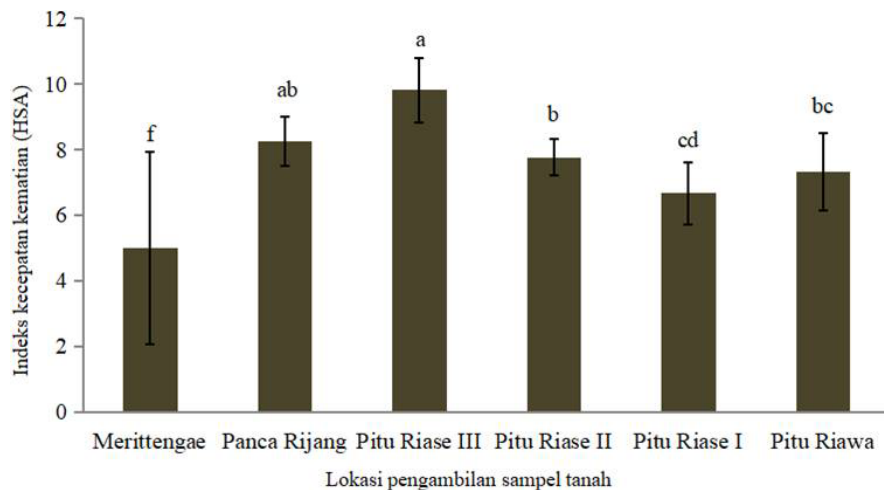
Tingkat mortalitas larva *T. molitor* terendah terjadi pada isolat yang diperoleh dari Pitu Riase II yaitu sekitar 80% meskipun persentase kematian serangga uji tersebut tidak berbeda nyata dengan isolat cendawan *M. anisopliae* yang diperoleh dari Pitu Riase I (Gambar 4). Dilihat dari tingkat mortalitas serangga uji, isolat *M. anisopliae* dan *B. bassiana* menyebabkan kematian serangga uji berkisar 80-100% sehingga kedua isolat tersebut potensial untuk digunakan sebagai calon agens pengendalian hayati. Menurut Godonou *et al.* (2009), Dembilio *et al.* (2010), Abdel-Raheem *et al.* (2015), dan Erler dan Ates (2015), serta Sullivan *et al.* (2022), isolat cendawan entomopatogen dapat dikatakan potensial jika mempunyai kemampuan membunuh serangga inang di atas 60%.

Indeks kecepatan kematian

Indeks kecepatan kematian atau masa inkubasi serangga uji *T. molitor* setelah terinfeksi isolat cendawan entomopatogen menggunakan metode pengumpanan diperoleh kisaran waktu antara 5-9 hari setelah pengumpanan (HSP). Indeks kematian

tercepat terjadi pada isolat cendawan entomopatogen *M. anisopliae* yang diperoleh dari Merittengae yaitu hanya lima HSP (Gambar 5). Isolat cendawan *M. anisopliae* yang diperoleh dari Pitu Riase I juga relatif tergolong agak cepat dalam menyebabkan kematian serangga uji yaitu sekitar 6 HSP atau lebih lambat satu hari jika dibandingkan isolat dari Merittengae. Begitu juga isolat yang diperoleh dari Pitu Riawa, Pitu Riase II dan Panca Rijang masing-masing menyebabkan waktu kematian berselang satu hari yaitu 7-8 HSP. Sementara itu, indeks kecepatan kematian paling lambat terjadi pada isolat yang diperoleh dari Pitu Riase III yaitu mencapai 9,8 HSP.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat cendawan *M. anisopliae* yang berasal dari Merittengae mampu menyebabkan indeks kecepatan kematian serangga uji jauh lebih pendek dengan tingkat mortalitas mencapai 100% sehingga tergolong patogenik. Dengan demikian, isolat tersebut berpotensi besar dalam menyebabkan epizootik dan dapat menekan populasi hama sasaran dalam waktu singkat jika digunakan sebagai agens hayati di lapangan. Isolat cendawan *M. anisopliae* lainnya dan *B. bassiana* juga mempunyai peluang yang tinggi untuk digunakan sebagai agens hayati dalam pengendalian hama karena mampu menyebabkan mortalitas serangga uji di atas 80%, terutama isolat dari Panca Rijang meskipun indeks kecepatan kematian sedikit lebih lambat. Cendawan entomopatogen tersebut masih bertindak secara tunggal dan belum dikombinasikan dengan komponen teknologi pengendalian lainnya. Apabila dikombinasikan dengan komponen teknologi pengendalian lainnya seperti predator maupun parasitoid yang memiliki kompatibilitas dan sinergisme tinggi, maka potensinya akan meningkat (Labe *et al.* 2009, Wu *et al.* 2015, Wang *et al.* 2015,



Gambar 5. Indeks kecepatan kematian larva serangga uji *T. molitor* (hari) yang terinfeksi isolat lokal cendawan entomopatogen dari enam lokasi di Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan menggunakan metode perangkap serangga (*insect baiting*).



Gambar 6. Cadaver serangga uji *T. molitor* yang terkolonisasi cendawan entomopatogen dari hasil sistem pengumpanan (*insect baiting*). (a) Isolat *B. bassiana* dari Pitu Riawa, (b) Isolat *M. anisopliae* dari Pitu Riase I, (c) Isolat *M. anisopliae* dari Pitu Riase II, (d) Isolat *M. anisopliae* dari Pitu Riase III, (e) Isolat *M. anisopliae* dari Panca Rijang, dan (f) Isolat *M. anisopliae* dari Maritengae.

Abbas 2020, Assadi *et al.* 2021; Basat *et al.* 2021). Sementara itu, isolat-isolat tersebut juga masih dapat ditingkatkan efikasinya melalui penambahan seyawa kitin dalam media tumbuh atau bahan aditif seperti minyak esensial (Mohamed 2009, Saputro *et al.* 2019, Birnbaum *et al.* 2021, Gopal *et al.* 2021).

Gambar 6 menunjukkan bangkai larva (*cadaver*) *T. molitor* yang terkolonisasi cendawan *B. bassiana* maupun *M. anisopliae* setelah sembilan HSP. Kondisi abdomen mengeras dan kaku karena seluruh cairan tubuh khususnya darah serangga (*hemolymph*) sudah habis diabsorpsi oleh cendawan. Safitri *et al.* (2018) melaporkan bahwa tubuh serangga yang terinfeksi cendawan entomopatogen akan mengering, berkerut dan bagian luar integumen terlapisi miselia dan kumpulan konidia cendawan.

Oleh karena itu, beberapa ahli patologi serangga memberi istilah terjadi mumifikasi (*mummification*) (Shang *et al.* 2015, Wu *et al.* 2015). Kolonisasi cendawan *B. bassiana* pada bangkai tubuh larva *T. molitor* tampak berwarna putih sehingga sering disebut dengan istilah *white muscardine* (Tuan 2014, Kathirvelu 2018, Kovac *et al.* 2020). Sementara itu, kolonisasi cendawan *M. anisopliae* pada bangkai tubuh larva *T. molitor* tampak berwarna hijau gelap sehingga dikenal dengan istilah *green muscardine* (Ard *et al.* 2012, Ung *et al.* 2018).

Hasil eksplorasi dan identifikasi yang dilakukan di Kabupaten Sidrap, provinsi Sulawesi Selatan menunjukkan terdapat isolat lokal cendawan entomopatogen *B. bassiana* dan *M. anisopliae* yang mempunyai kemampuan untuk menyebabkan

kematian serangga uji *T. molitor* di atas 80%. Bahkan dua isolat cendawan entomopatogen tersebut mampu menyebabkan mortalitas hingga mencapai 100% sehingga mempunyai karakter epizootik yang sangat tinggi. Meskipun demikian, seluruh isolat lokal cendawan entomopatogen yang diperoleh tersebut juga berpotensi untuk digunakan sebagai agens hayati dalam upaya pengendalian hama. Potensi yang tinggi dapat dicapai karena isolat lokal tersebut masih bekerja secara tunggal (*single action*) dan belum dikombinasikan dengan komponen teknologi pengendalian hama yang lain (Kumar & Kaur 2017; Ozdemir *et al.* 2020). Sementara itu, dalam konsep pengelolaan hama terpadu kombinasi berbagai komponen teknologi pengendalian sangat dianjurkan agar dapat memperoleh tingkat efikasi pengendalian hama yang efektif dan efisien dalam menurunkan populasi hama hingga di bawah ambang kendali dan dapat menandingi efikasi pestisida sintetis (Ownley *et al.* 2004; Hollingsworth *et al.* 2020).

KESIMPULAN

Hasil eksplorasi yang dilakukan di Kabupaten Sidrap telah diperoleh satu isolat lokal cendawan entomopatogen *B. bassiana* dan lima jenis isolat *M. anisopliae*. Isolat cendawan *M. anisopliae* asal Merittengae mampu membunuh serangga uji dengan mortalitas mencapai 100% hanya dalam rentang waktu lima hari sehingga mempunyai kemampuan epizootik cukup tinggi dibandingkan isolat cendawan lainnya. Seluruh isolat lokal cendawan entomopatogen yang diperoleh juga berpotensi sebagai agens hayati untuk pengendalian hama karena mampu membunuh serangga uji larva *T. molitor* antara 80-100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas MST. 2020. Interactions between entomopathogenic fungi and entomophagous insects. *Advances in Entomology* 8: 130-146. <https://doi.org/10.4236/ae/2020.83010> [diakses 21 Juni 2022].
- Abdel-Raheem MA, Ismail IA, Rahman RSA, Farag NA, Rahman AIE. 2015. Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Bals.) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) as biological control agenst on some stored product insects. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3(6): 316-320.
- Alfiky A. 2021. Screening and identification of indigenous entomopathogenic fungal isolates from Agricultural farmland soils in Nile Delta, Egypt. *Journal of Fungi* 8(54): 1-12. <https://doi.org/10.3390/jof8010054> [diakses 19 Juni 2021].
- Ali SS. 2010. Isolation, identification and pathogenicity assessment of a new isolate of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* in Iran. *Journal of Plant Protection Research* 50(2): 158-163.
- Anwar W, Khan SK, Aslam M, Haider MS, Shaid AA, Ali M. 2015. Exploring fungal flora associated with insects of cotton agroecological zones of punjab, Pakistan *Entomology* 37(1): 27-31.
- Ard WS, Suksen K, Kernasa O. 2012. Utilisation of the green muscardine, *Metarhizium anisopliae* to control the sugarcane longhorn stem borer *Dorysthenes buqueti* Guerin (Coleoptera: Cerambycidae) *International Sugar Journal* 114(1357): 37-40.
- Arsi A, Pujiastuti Y, Kusuma SSH, Gunawan B. 2020. Eksplorasi, isolasi dan identifikasi jamur entomopatogen yang menginfeksi serangga hama. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropis* 1(2): 70-76.
- Assadi BH, Chouokhi S, Ettaib R, M'hamdi NB Belkadhi MS. 2021. Effect of the native strain of the predator *Nesidiocoris tenuis* Reuter and the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium muscarium* against *Bemisia tabaci* (Genn.) under greenhouse conditions in Tunisia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31(47): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00395-5> [diakses 21 Juni 2022].
- Ayele BA, Muleta D, Venegas J, Assefa F. 2020. Morphological, molecular, and pathogenicity characteristics of the native isolates of *Metarhizium anisopliae* against the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Ethiopia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 30:59 <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00261-w> [diakses 21 Juni 22].
- Bayu, MSYI, Prayogo Y, Indiaty SW. 2021. *Beauveria bassiana*: Biopestisida ramah lingkungan dan efektif untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman. *Buletin Palawija* 19(1): 41-63.
- Benjamin L, Kennedy SJ, Sevuggaperumal N. 2017. Morphological and molecular characterization of entomopathogenic fungi, isolated from different *Beauveria bassiana* from India. *Green Farming. International Journal of Applied Agricultural & Horticulture Science* 8(4): 940-944.
- Basat R, Akter M, Tumpa TA, Sharmin D, Ullah MS. 2021. Laboratory bioassay of six pesticides, an entomopathogenic fungus, and a botanical pesticide on two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Persian Journal Acarology* 10(23): 269-280.
- Bich GA, Castrillo ML, Kramer FL, Villalba LL, Zapata PD. 2021. Morphological and molecular identification of entomopathogenic fungi from agricultural and forestry crops. *Floresta e Ambiente* 28(2): e20180086. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-Floram-2018->

0086 [diakses 23 Juni 2022].

- Birnbaum N, Reingid V, Matveev S, Kottakota C, Davidovitz M, Mani KA, Faidbaum R, Yaakov N, Mechrez G, Ment D. 2021. Not only a formulation: The effects of pickering emulsion on the entomopathogenic action of *Metarhizium brunneum*. *Journal Fungi* 7(7): 499. <https://doi.org/10.3390/jof707499> [diakses 22 Juni 2022].
- Chang JC, Wu SS, Liu YC, Yang YH, Tsai YF, Li YH, Tseng CT, Tang LC, Na YS. 2021. Construction and Selection of an Entomopathogenic Fungal Library From Soil Samples for Controlling *Spodoptera litur*. *Front. Sustain. Food Syst.* <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.596316/full> [diakses 18 Juni 2022].
- Castrejon-Antonia JE, Tamez-Guerra P, Montesinos-Matias R, Ek-Ramos MJ. 2020. Selection of *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) strains to control *Xyleborus affinis* (Curculionidae: Scolytinidae) females. <https://doi.org/10.7717/preerj.9472>. [diakses 23 Juni 2022].
- Chen WH, Han YF, Liang JD, Liang ZQ. 2019. Morphological and phylogenetic characterization of novel *Metarhizium* species in Guizhou, China. *Phytotaxa* 419(2):189-196.
- Chinniah C, Ravikumar A, Kalyanasundaram M, Parthiban P. 2016a. Management of sucking pests, by integration of organic sources of amendments and foliar application of entomopathogenic fungi on chilli. *Journal Biopesticide* 9(1): 34-40. Chinniah C, Ravikumar A, Kalyanasundaram M, Parthiban P. 2016b. Field evaluation of *Metarhizium anisopliae* liquid formulation (Bio-Magic) against brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* Stal on rice. *Journal Biopest* 9 (2):211- 219.
- Concalves VP, Farias CRJ, Moreira-Nunez V, Moccellini R, Gaviria-Hernandez V, Rosa APSA. 2019. Effect of agrochemicals used in the cultivation of soybean and irrigated rice on *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. *Journal of Agricultural Science* 11(17). <https://doi.org/10.5539/jas.v11n17p167> [diakses 23 Juni 2022].
- Dembrío O, Quesada-Moraga E, Santiago-Alvarez C, Jacas JA. 2010. Potential of an indigineous strains of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biological control agent against the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *Journal of Invertebrate Pathology* 104(3): 214-221.
- Erlér F, Ates A. 2015. Potential of two entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Coleoptera: Scarabidaeidae) as biological control agents against the June beetle. *Medicine, Biology Journal of Insect Science* 15(1):44. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev029> [diakses 21 Juni 22].
- Fang O, cang H, Saiying G, Xin-Yuan M, Zi-Hua Z, Pei-Jian S, Yong-Sheng Z, Bai-Lian L. 2014. Weakening density depece from climate change and agricultural intensification triggers pest outbreaks. *Ecology and Evolution* 4(17): 3362–3374 [diakses 18 Juni 2022].
- Feed S, Jin FJ. 2011. Determination of genetic variability among the isolates of *M.anisopliae* var. *Anisopliae* from different geographical origins. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 27(2): 359-370.
- Ginting S, Narawati, Zarkani A, Sumarni T. 2020. Natural incidence of entomopathogenic fungus *Noruraea rileyi* on *Spodoptera frugiperda* infesting corn in Bengkulu. *Journal of Tropical Plant Pests and Diseases* 20(2): 85-91
- Godonou I, James B, Atacha-Ahowe C, Vodouhe S, Kooyman C, Ahanchede Am Korie S. 2009. Potential of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates from Benin to control *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protecion* 28(3): 220-224.
- Gopal GS, Venkateshalu B, Nadaf AM, Guru PN, Pattepur S. 2021 Management of the grape mealy bug, *Maconellicoccus hirsutus* (green), using entomopathogenic fungi and botanical oils: A laboratory study. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31(100): 1-8.
- Gul HT, Saeed S, Khan FZA. 2014. Entomopathogenic fungi as effective insect pest management tactic: a review. *Applied Sciences and Business Economics* 1(1): 10-18.
- Herdatiarni F, Himawan T, Rachmawati R. 2014. Eksplorasi cendawan entomopatogen *Beauveria* sp. menggunakan serangga umpan pada komoditas jagung, tomat dan wortel organik di Batu, Malang. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan* 1(3): 1-11.
- Herlinda S, Irsan C, Rekamayasari, Septariani S. 2010. Identification and selection of entomopathogenic fungi as biocontrol agents for *Aphis gossypii* from South Sumatra. *Microbiology Indonesia* 4(3): 137-142.
- Herlinda S, Octariati N, Suwandi S, Hasbi. 2020a. Exploring entomopathogenic fungi from South Sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasivemaize pest, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas* 21(7): 2955-2965.
- Herlinda S, Effendi RA, Suharjo R, Hasbi, Setiawan A, Elfita, Verawaty M. 2020b. New emerging entomopathogenic fungi isolated from soil in South Sumatra (Indonesia) and their filtrate and conidial insecticidal activity against *Spodoptera litura*. *Biodiversitas* 21(11): 5103-5113.
- Hofgaard IS, Seehusen T, Aamot HU, Riley H, Razzaghian J, Le VH, Hjelkrem AGR, Macky RD, Brodal G. 2016. Inoculum potential of *Fusarium* spp.

- relates to tillage and straw management in Norwegian fields of spring oats. *Frontiers in Microbiology* 7(556): 1-15.
- Hollingsworth R, Aristizabal LF, Shiner S, Mascarin GM, Moral RA, Arturs SP. 2020. Incorporating *Beauveria bassiana* into an integrated pest management plant for coffee berry borer in Hawaii. *Front Sustainable Food Systems* 27. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00022> [diakses 24 Juni 2022].
- Ibrahim E, Mugiasih A. 2020. Diversity of pests and natural enemies in rice field agroecosystem with ecological engineering and without ecological engineering. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 484. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012108>.
- Kathirvelu C. 2018. Field evaluation of white muscardine fungus *Beauveria bassiana* 1.15% W/W against leaf folder *Cnaphalocrosis medinalis* Guenee in rice. *International Journal of Current Research in Life Science* 07(4): 1518-1528
- Kidanu S, Hagos L. 2020. Research and application of entomopathogenic fungi as pest management option: A Review. *Journal of Environment and Earth Science* 10(3): 31-39.
- Kovac M, Lackovic N, pernek M. 2020. Effect of *Beauveria bassiana* fungal infection on survival and feeding behavior of pine-tree lappet moth (*Dendrolimus pini* L.). *Forests* 11(9): 974. <https://doi.org/10.3390/f11090974> [diakses 22 Juni 2022].
- Kumar S, Kaun J. 2017. Efficacy of *Beauveria bassiana* and *Bacillus thuringiensis* as ecosafe alternatives to chemical insecticides against sunflower capitulum borer *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(2): 185-188.
- Labbe RM, Gillespie DR, Cloutier C, Brodeur J. 2009. Compatibility of an entomopathogenic fungus with a predator and a parasitoid in the biological control of greenhouse whitefly. *Biocontrol Science and Technology* 19(4): 429-446.
- Liu B, Hu, Kang B, Huang X. 2020. Analysis of a hybrid pest management model incorporating pest resistance and different control strategies. *Mathematical Biosciences and Engineering*. MBE 17(5): 4364-4383. <https://www.aimspress.com/journal/MBE> [diakses 23 Juni 2022].
- Liu XC, Ni NT, Chang JC, Liu YH, Lee MR, Kim JS, Nai YS. 2021. Isolation and Selection of Entomopathogenic Fungi from Soil Samples and Evaluation of Fungal Virulence against Insect Pests. *JoVE Journal Biology* 28. doi: 10.3791/62882
- Lopez-Perez M, Redrigues-Gomez D, Loera O. 2015. Production of conidia *Beauveria bassiana* in solid-state culture: current status and future perspectives. *Critical Reviews in Biotechnology* 35(3): 334-341. <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.857293> [diakses 23 Juni 2022].
- Maina UM, Galadina IB, Gambo FM, Zakaria D. 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.
- Mantzoukas S, Lagogiannis I, Ntoulas A, Aliopoulos PA, Kouretas D, Karpouzas D, Poulas K. 2020. Trapping entomopathogenic fungi from vine terroir soil samples with insect baits for controlling serious pests. *Journal Applied Science* 10(10): 3539-3549. <https://doi.org/10.3390/app10103539>. www.mdpi.com/journal/applsci [diakses 19 Juni 2022].
- Mascarin GM, Iwanicki NSA, Ramirez L, Delalibera Jr I, Dunlap CA. 2021. Transcriptional responses of *Beauveria bassiana* blastospores cultured under varying Glucose concentrations. *Frontier in Cellular and Infection Microbiology Fungal Pathogenesis* 24. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.644372> [diakses 19 Juni 2022].
- Masoudi A, Wang M, Zhang X, Wang C, Qiu Z, Wang W, Wang H, Liu J. 2020. Meta-analysis and evaluation by insect mediated baiting reveal different patterns of Hypocrealean entomopathogenic fungi in the soil from two regions of China. *Frontiers in Microbiology* 12. Section Fungi and Their Interactions. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01113> [diakses 19 Juni 2022].
- Mishra S, Kumar P, Malik A. 2015. Effect of temperature and humidity on pathogenicity of native *Beauveria bassiana* isolate against *Musca domestica* L. *Journal of Parasitic Diseases* 39(4): 697-704.
- Mohamed GA. 2009. Increasing the efficacy of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Metchnikoff) Sorokin and *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. using certain essential oils against desert locust and grasshopper. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 19(1): 67-72.
- Mwanburi LA, Laing MD, Miller RM. 2019. External development of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the Housefly (*Musca domestica*). *Biological Science* 89(3): 833-839.
- Nayak SB, Rao KS, Ramalakshmi. 2020. Impact of climate change on insect pests and their natural enemies. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 2(4): 579-584.
- Nidhi K, Gaur N, Pandey R. 2018. A survey of the local isolates of entomopathogenic fungi in Uttarakhand region. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6(1): 1725-1730.
- Nishi O, Iiyama K, Yasunaga-Aoki C, Shimizu S. 2011. Isolation of entomopathogenic fungi from soil by using bait method with termite, *Reticulitermes speratus*.

- Project: Ecology of soil entomopathogenic fungi *Metarhizium* spp. <https://www.researchgate.net> [diakses 19 Juni 2022].
- Nishi O, Sato H. 2017. Species diversity of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *M. flavoviride* species complexes isolated from insects in Japan. *Mycoscience* 58(6): 472-479.
- Nishi O, Sato H. 2019. Isolation of *Metarhizium* spp. from rhizosphere soils of wild plants reflects fungal diversity in soil but not plant specificity. *Mycology* 10(1): 22- 31. <https://doi.org/10.1080/21501203.2018.1524799> [diakses 21 Agustus 2022].
- Oliveira DGP, Pauli G, Mascarini GM, Delalibera I. 2015. A protocol for determination of conidial viability of the fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* from commercial products. *Journal of Microbiological Methods* 119(12): 44-52.
- Ownley BH, Pereira RM, Klingeman WE, Quigley NB, Lecide BM. 2004. *Beauveria bassiana*, a dual purpose biocontrol organism, with activity against insect pests and plant pathogens. *Emerging Concepts in Plant Health Management*:255-269.
- Ozdemir IO, Tuncer C, Erper I, Kushiye R. 2020. Efficacy of the entomopathogenic fungi: *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* F. Coleoptera: Chrysomelidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 2020(30): 24. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00219-y> [diakses 24 Juni 2022].
- Pedrini N. 2022. The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* shows its toxic side within insects: Expression of genes encoding secondary metabolites during pathogenesis. *Journal of Fungi* 8: 488-497. <https://doi.org/10.3390/jof8050488> [diakses 19 Juni 2022].
- Permadi MA, Lubis RA, Sari D. 2018. Eksplorasi cendawan entomopatogen dari berbagai rizosfer tanaman hortikultura di beberapa wilayah Kabupaten Mandailing Natal Provinsi Sumatera Utara. *Agritech* 20(1): 23-32.
- Rodrigues J, Bergamini C, Montala C, Humber RA, Luz C. 2021. Simple method to detect and to isolate entomopathogenic fungi (Hypocreales) from mosquito larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* 182(6). <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107581> [diakses 19 Juni 2022].
- Rosa E, Ekowato CN, Handayani TT, Widiastuti EL. 2020. Isolation and identification entomopathogenic fungi as candidate of bioinsecticide from flies and cockroaches "insect vector disease". IOP Publishing. *Journal of Physics: Conference Series* 1751(2021)012049. doi:10.1088/1742-6596/1751/1/012049.
- Safitri A, Herlinda S, Setiawan A. 2018. Entomopathogenic fungi of soils of freshwater swamps, tidal lowlands, peatlands, and highlands of South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas* 19(6): 2365-2373.
- Sahin F, Yanar Y. 2021. Pathogenicity of some local entomopathogenic fungus isolates on the cotton leafworm larvae, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31: 150-156. <https://doi.org/10.116/s41938-021-00494-3> [diakses 19 Juni 2022].
- Samson RA, Evans HC, Latge JP. 2013. Atlas of entomopathogenic fungi. <https://books.google.co.id/books/> [diakses 18 Juni 2022].
- Saputro TB, Prayogo Y, Rohman FL, Alami NH. 2019. The virulence improvement of *Beauveria bassiana* in infecting *Cylas formicarius* modulated by various chitin based compounds. *Biodiversitas* 20(9): 2486-2493.
- Sarina M, Michael NA. 2017. Broad spectrum pesticide application alters natural enemy communities and may facilitate secondary pest outbreaks. *PeerJ*. 5:e4179. <https://doi.org/10.7717/peerj.4179>. PMID: 29302395; PMCID: PMC5740959. [diakses 18 Juni 2022].
- Setiawan AN, Supriyadi A. 2014. Uji efektivitas berbagai konsentrasi pestisida nabati Bintaro (*Cerbera manghas*) terhadap hama ulat grayak (*Spodoptera litura*) pada tanaman kedelai. *Planta Tropika Journal of Agro Science* 2(2): 99-105.
- Shang Y, Feng P, Wang C. 2015. Fungi that infect insects: altering host behavior and beyond. *Plos Pathogens* 11(8): e10050337. doi:10.1371/ journal. ppat. 1005037
- Sharma A, Srivastava A, Shuka AK, Srivastava K, Srivastava A, Saxena A. 2020. Entomopathogenic fungi: a potential source for biological control of insect pests. In M. K. Solanki et al. (eds.), *Phytobiomes: Current Insights and Future Vistas*. pp. 225-250. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3151-4_9 [diakses 19 Juni 2022].
- Shahriari M, Zibae A, Khodaparast SA, Fazeli-Dinann M. 2021. Screening and virulence of the entomopathogenic fungi associated with *Chilo suppressalis* Walker. *Journal Fungi* 7(1): 34. <https://doi.org/10.3390/jof7010034> [diakses 22 Juni 2022].
- Singh SKD. 2017. Pest outbreak, insecticidal resistance in agricultural pests. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 8(3): 2012-2016.
- Skendizc S, Zovko M, Zivkovic IP, Lesic V, Lemic D. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insect* 12(5):440. <https://doi.org/10.390/insects1250440> [diakses 4 Juli 2022].
- Sopialena MA, Mirza R, Soraya. 2020. Influence of biopesticides on growth (*Colletotrichum capsici* Sydow) causes antraknosa in cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agroekoteknologi*

- Tropika Lembab 2(2): 105-110.
- Sujeetha ARP, Sahayaraf K. 2014. Role of entomopathogenic fungus in pest management. Basic and Applied Aspects of Biopesticides:31-46. doi.10.1007/978-81-322-1877-7-3.
- Sullivan CF, Parker BL, Skinner M. 2022. A review of commercial *Metarhizium* and *Beauveria*-based biopesticides for the biological control of Ticks in the USA. Insects 13(3): 260; <https://doi.org/10.3390/insects13030260> [diakses 21 Juni 2022].
- Sutanto KD, Huain M, Rasool KG, Al-Qahtani WH, Aldawood AS. 2021. Pathogenicity of local and exotic entomopathogenic fungi isolates against different life stages of red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). Plos ONE 16(7): 1-12. e0255029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255029> [diakses 19 Juni 2022].
- Suwandi. 2021. Exploration entomopathogenic fungi from South Sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasive maize pest, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). <http://repository.unsri.ac.id/id/id/eprint/48279>. [diakses 19 Juni 2022].
- Teja C, Rahman SJ. 2020. Virulence of local isolates of entomopathogenic fungi on the common agricultural pest *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). International Journal of Current Microbiology and Applied Science 9(2): 1-11. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.902.xx> [diakses 19 Juni 2022].
- Trizelia, Winarto, Tanjung A. 2017. Keanekaragaman jenis cendawan endofit pada tanaman gandum (*Triticum aestivum*) yang berpotensi sebagai bioinsektisida. Prosiding Seminar Masyarakat Biodiversitas Indonesia 3(3): 433-477. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m030323>.
- Tuan PP. 2014. Dermal toxicity of white muscardine fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. on vertebrates. Innovative Systems Design and Engineering 5(3): 42-49.
- Ung NH, Hanh DK, Xuan TT, Vang LV, Hai TV. 2018. Effectiveness of green muscardine fungus *Metarhizium anisopliae* and some insecticides on lesser coconut weevil *Diocalandra frumenti* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae). Can Tho University Journal of Science 54(8): 1-7.
- Wang JJ, Yang L, Qiu X, Liu YG, Zhou W, Wan WJ. 2013. Diversity analysis of *Beauveria bassiana* isolated from infected silkworm in outhwest China based on molecular data and morphological features of colony Word Journal Microbiol Biotechnol 29(7): 1263-1269.
- Wang H, Peng H, Li W, Cheng P, Gong M. 2021. The toxin of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. Frontiers in Microbiology 12: 7-5343. doi:10.3389/fmicb.2021.7-5343. www.frontiersin.org [diakses 19 Juni 2022].
- Wargane VS, Parate SRL, Bramhankar DSB, Rakhonde PN, Sonune BD, Mane KK, Lavhe. 2019. Cultural and morphological characterizations of *Beauveria bassiana*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(9): 591-594.
- Wu SY, Gao YL, Xu Xn, Goettel MS, Lei ZR. 2015. Compatibility of *Beauveria bassiana* with *Neoseiulus narkeri* for control of *Frankliniella occidentalis*. Journal of Integrative Agriculture 14(1): 98-105.
- Yadav DS, Ranade S, Mhaske S, Ghule S. 2019. Compatibility of insecticides with *Metarhizium brunneum* (Petch) and *Beauveria bassiana* (Bals.) for bio-intensive management of pink mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (green) in grapes. Journal of Biological Control 33 (3): 253-263.
- Zhu F, Lavine L, O'Neal S, Lavine M, Foss C, Walsh D. 2016. Insecticide resistance and management strategies in urban ecosystems. Insect 7(2); doi:10.3390/insects7010002 www.mdpi.com/journal/insects [diakses 23 Juni 2022].