



Keberadaan Cendawan Entomopatogen di Rizosfer Tanaman Jagung yang Diberi Pupuk Organik dan Anorganik di Lembah Palu

Occurrence of Entomopathogenic Fungi in the Rhizosphere of Corn Plants Fertilized with Organic and Inorganic Fertilizers in the Palu Valley

Alam Anshary*, Flora Pasaru, Nur Edy, Shahabuddin, dan Abd. Wahid

Program Studi Proteksi Tanaman, Universitas Tadulako, Kampus Bumi Tadulako -
Jl Soekarno Hatta, KM 09 Palu 94118, Sulawesi Tengah

* Penulis korespondensi : densyu3012@gmail.com

ABSTRAK. Keberadaan cendawan patogen serangga, yang berperan dalam mengatur populasi serangga di alam dan menginfeksi hama pada tanaman jagung sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut adalah penggunaan pupuk organik dan anorganik oleh petani. Penelitian ini dilaksanakan dengan dua perlakuan, yaitu penggunaan pupuk kimia (anorganik), pupuk kandang (organik). Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan komposisi spesies dan keberadaan cendawan entomopatogenik di ladang jagung manis varietas Kumala yang diberi pupuk bahan organik dan anorganik. Pengambilan sampel cendawan di lapangan, digunakan metode umpan serangga pupa *Spodoptera frugiperda*. *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii*, dan *Aspergillus* sp. (berasal dari tanah yang diberi pupuk organik) paling sering terdeteksi dan membentuk lebih banyak koloni dibandingkan *M. anisopliae* dan *Aspergillus* sp. (berasal dari tanah yang diberi pupuk anorganik). Sepuluh isolat cendawan entomopatogen yang diperoleh, hanya empat isolat yang virulen terhadap larva *S. frugiperda*. *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *V. lecanii*, dan *Aspergillus* sp. menyebabkan mortalitas *S. frugiperda* pada kisaran 30% - 55%. Isolat cendawan entomopatogen virulen ditemukan dari tanah yang diberi pupuk organik, oleh karena itu salah satu rekomendasi yang diperlukan untuk mempertahankan prevalensi cendawan entomopatogen melalui penerapan praktik budidaya jagung yang tepat dengan pengurangan penggunaan pupuk anorganik.

Kata kunci: identifikasi cendawan, isolasi, *S. frugiperda*

ABSTRACT. The presence of insect pathogenic fungi, which play a role in regulating insect populations in nature and infecting pests in corn plants, is greatly influenced by several factors. These factors are the use of organic and inorganic fertilizers by farmers. This research was conducted with two treatments, namely the use of chemical fertilizers (inorganic) and manure (organic). The purpose of this study was to compare the species composition and the presence of entomopathogenic fungi in sweet corn fields of the Kumala variety fertilized with organic and inorganic materials. Fungal sampling in the field used the *Spodoptera frugiperda* pupae bait method. *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Verticillium lecanii*, and *Aspergillus* sp. (originating from soil fertilized with organic fertilizer) were most frequently detected and formed more colonies than *M. anisopliae* and *Aspergillus* sp. (originating from soil fertilized with inorganic fertilizer). Of the ten entomopathogenic fungal isolates obtained, only four isolates were virulent against *S. frugiperda* larvae. *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *V. lecanii*, and *Aspergillus* sp. caused mortality of *S. frugiperda* in the range of 30% - 55%. Virulent entomopathogenic fungal isolates were found from soil treated with organic fertilizers, therefore one of the recommendations needed to maintain the prevalence of entomopathogenic fungi is through the implementation of appropriate corn cultivation practices with reduced use of inorganic fertilizers.

Keywords: identification of fungi, isolation, *S. frugiperda*

Pendahuluan

S. frugiperda J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) merupakan hama baru pada perkebunan jagung di Indonesia, pertama kali ditemukan di Sumatera Barat pada tahun 2019 (Sartiami *et al.*, 2020). Serangga ini berasal dari Amerika dan telah menyebar ke beberapa negara, menyebabkan kerugian hasil panen yang signifikan pada tanaman jagung. Di beberapa pusat produksi jagung di Indonesia, hama ini dilaporkan menyerang tanaman jagung di Palu-Sulawesi Tengah (Fadel dan Anshary, 2023), selain itu di Manado (Liput *et al.*, 2022), Bandung, Garut, dan Kabupaten Sumedang (Maharani *et al.*, 2019), Garut (Asfiya *et al.*, 2020), Lampung (Trisyono *et al.*, 2019), Kabupaten Rembang (Sartiami *et al.*, 2023), Kabupaten Minahasa (Mamahit *et al.*, 2020), Jambi (Wilyus *et al.*, 2021), Padang (Nelly *et al.*, 2023). Serangan *S. frugiperda* menyebabkan kerugian bagi petani jagung, karena dapat menyebabkan kerusakan hingga 100% (Trisyono *et al.*, 2019).

Upaya mengatasi kerugian akibat *S. frugiperda* memerlukan taktik pengendalian yang efektif (Kumar *et al.*, 2022). Hingga saat ini, pengendalian hama menggunakan pestisida sintetis masih menjadi teknik pengendalian utama. Penggunaan pestisida sintetis yang tidak bijaksana telah menjadi ancaman bagi keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif metode pengendalian hama yang aman, namun tetap mendukung pencapaian produksi tanaman maksimal. Salah satu alternatif adalah teknik pengendalian biologis yang ramah lingkungan. Pengendalian hama dengan taktik pengendalian hayati yang umum dikenal adalah penggunaan predator, parasitoid, dan cendawan entomopatogen (Trdan *et al.*, 2020).

Entomopatogen adalah mikroorganisme yang mampu menyebabkan penyakit pada serangga. Mikroorganisme ini meliputi cendawan, bakteri, virus, nematoda, dan protozoa (Deka *et al.*, 2021). Kelompok entomopatogen yang dapat digunakan sebagai agen biologi adalah cendawan entomopatogenik. Cendawan entomopatogenik yang telah banyak digunakan untuk pengendalian hayati hama serangga adalah *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Trizelia *et al.*, 2015), *Metarhizium*, *Verticillium*, dan *Nomuraea* (Deka *et al.*, 2021). Cendawan-cendawan ini bersifat patogenik terhadap berbagai jenis serangga dengan rentang inang yang luas. Kemampuan cendawan entomopatogenik untuk membunuh serangga hama bervariasi dan sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisiologis dan genetik cendawan (Trizelia *et al.*, 2015). Cendawan entomopatogenik sering ditemukan di sekitar rizosfer tanaman di tanah, karena ketersediaannya relatif tinggi (Kin *et al.*, 2017). *Metarhizium* sp., *Beauveria* sp., *Penicillium* sp., dan *Aspergillus* sp. ditemukan di rizosfer (Nelly *et al.*, 2019). Kehadiran cendawan entomopatogenik di dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kandungan air tanah, bahan organik, rasio karbon dan nitrogen (Kin *et al.*, 2017).

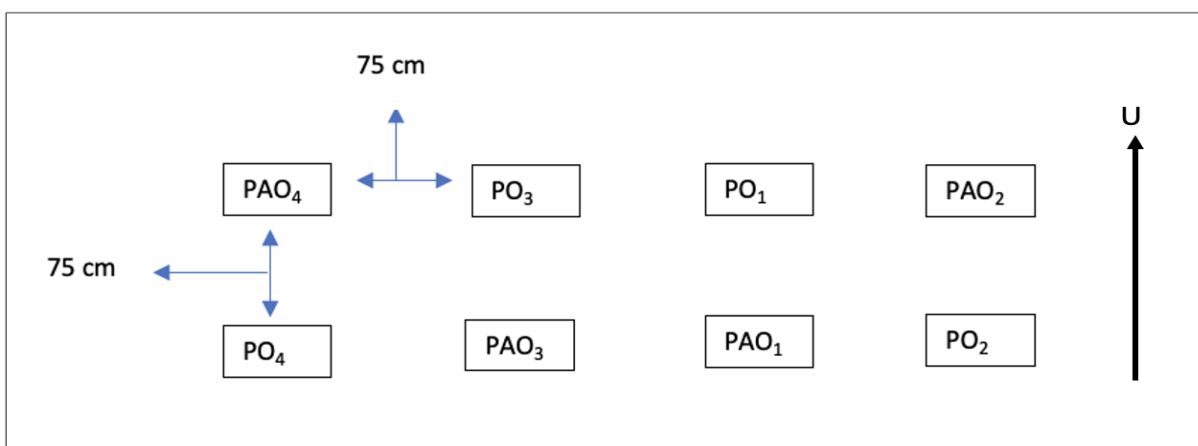
Selain hal tersebut pada alinea di atas, keragaman cendawan entomopatogen juga dipengaruhi oleh teknik budidaya tanaman (Trizelia *et al.*, 2015). Teknik budidaya pertanian konvensional, yang ditandai dengan penggunaan pupuk kimia berlebihan dan pestisida, berdampak pada penurunan jumlah dan keragaman cendawan entomopatogen di dalam tanah (Klingen & Jørgen Eilenberg, 2022; Tkaczuk *et al.*, 2014). Sebaliknya, pertanian organik ditandai dengan penggunaan pupuk organik dan pestisida yang dibuat dari bahan alami, relatif lebih cocok bagi pertumbuhan dan perkembangan cendawan entomopatogen. Oleh karena itu, tanaman yang diaplikasikan pupuk organik berpotensi memiliki kelimpahan dan keragaman cendawan entomopatogen dengan proporsi angka lebih besar dibandingkan dengan pertanian konvensional (Clifton *et al.*, 2015; Ramos *et al.*, 2017).

Saat ini, komunitas pertanian dan masyarakat umum semakin sadar akan bahaya dampak penggunaan bahan kimia anorganik pada tanah pertanian, menyebabkan pergeseran perhatian publik dari pertanian konvensional ke pertanian yang menggunakan bahan organik (pupuk organik, pestisida yang diproduksi dari bahan alami) (Reganold & Jonathan M. Wachter, 2016; Mie *et al.*, 2017). Salah satu bagian integral dari pertanian yang dikelola secara organik adalah penghindaran total terhadap bahan kimia pertanian sintetik. Diharapkan, program pengendalian hama bergantung sepenuhnya pada pengendalian alami, salah satunya adalah peran musuh alami, termasuk cendawan entomopatogen. Tujuan spesifik penelitian ini adalah (i) menganalisis frekuensi entomopatogen yang terisolasi (%) dengan umpan serangga *S. frugiperda* dari tanah yang dipupuk dengan bahan organik dan anorganik (ii) menguji mortalitas cendawan entomopatogen terhadap larva *S. frugiperda* sebagai organisme target. Pengetahuan tentang aspek-aspek ini sangat penting ketika cendawan entomopatogen asli pada tanaman diharapkan dapat memberikan layanan pengendalian hama dalam agroekosistem.

Metode

Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di dua tempat yaitu: (a) desa Lolu, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah (0°57'30.8" S 119°54'51.3" E) dan (b) Laboratorium Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Tahapan penelitian meliputi pengolahan tanah, penanaman benih, pemupukan, isolasi cendawan entomopatogenik, isolasi dan uji virulensi cendawan entomopatogenik, identifikasi cendawan entomopatogenik, dan analisis data. Penelitian dirancang dalam desain eksperimental dengan 2 perlakuan dan 4 ulangan. Perlakuan aplikasi pupuk (pupuk organik: kotoran ayam dan kompos), dan aplikasi pupuk kimia Urea, TSP, dan KCl (anorganik). Jumlah petak penelitian adalah 8 petak. Jumlah tanaman per petak adalah 90 tanaman. Jumlah tanaman sampel per petak adalah 20 tanaman. Jarak tanam 60 cm x 25 cm. Luas plot adalah 13,5 m² (3 m x 4,5 m), luas area penelitian adalah 162 m² (13,5 m² x 8 plot). Jumlah total tanaman adalah 720 tanaman. Jarak antar plot adalah 75 cm, jarak antara perlakuan 75 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Denah plot percobaan dan tata letak perlakuan di lapangan. I-IV: unit ulangan, P01-P04: unit perlakuan pupuk organik, PA01-PA04: unit perlakuan pupuk anorganik, jarak antar plot ulangan dan jarak antar plot perlakuan: masing-masing 75 cm.

Penanaman Benih dan Pemupukan

Penanaman jagung manis varietas Kumala dilakukan di kebun petani dengan luasan berdasarkan luas petak perlakuan (162 m^2). Sebelum penanaman, benih jagung terlebih dahulu direndam dalam air bersih selama 30 menit, kemudian ditanam dengan menggunakan tugal sedalam 10 cm. Setiap lubang diisi dengan dua biji benih jagung dan kemudian ditutup dengan tanah sekitarnya. Tanaman yang tumbuh dirawat dengan cara disiram dengan air secara merata, dan penyiangan gulma. Aplikasi pupuk disesuaikan dengan perlakuan, yaitu: aplikasi pupuk organik (kotoran ayam dan kompos, perbandingan 2 :1), aplikasi pupuk organik satu minggu sebelum penanaman jagung dengan dosis 20 ton/ha atau 5 kg/petak (Asfaw dan Fufa, 2023).

Pemupukan dengan pupuk anorganik dilakukan 3 kali, yaitu pemupukan pertama 7 hari setelah tanam (HST), pemupukan kedua 15 (HST), dan pemupukan ketiga 35 HST. Perhitungan kebutuhan pupuk anorganik pada luas tanah 162 m^2 menggunakan petunjuk dari (Taye *et al.*, 2015, dimodifikasi dan mengacu pada Wordpress.com, 2015). Pemupukan pertama: Urea (Nitrogen) = 2,70 kg Urea; TSP (Fosfor) = 2,64 kg TSP; KCl 80 (K_2O) = 4,58 kg KCl. Pemupukan kedua: Urea (Nitrogen) = 5,40 kg Urea; TSP (Fosfor) = 0,88 kg TSP; KCl 80 (K_2O) = 0,76 kg KCl. Pemupukan ketiga : Urea (Nitrogen) = 2,70 kg Urea; TSP (Fosfor) = 0,88 kg TSP; KCl 80 (K_2O) = 0,76 kg KCl. Pemupukan dilakukan dengan cara menggali tanah di bagian samping tanaman jagung pada jarak 15 cm dan kedalaman 10 cm, kemudian menutupnya dengan tanah.

Sampel Tanah, Isolasi dan Identifikasi Cendawan Entomopatogen

Sampel tanah diambil dari zona perakaran tanaman jagung pada delapan petak percobaan dengan kedalaman 15 cm dari permukaan tanah. Pengambilan sampel tanah sebanyak dua kali, yaitu pada saat pertumbuhan tanaman jagung mencapai fase vegetatif dan generatif. Fase vegetatif (Fase V6-V10) pada 18-35 HST (Hari Setelah Tanam), dan fase generatif (V1-R6) pada 36-65 HST (Nlelya dan Kleinjan, 2019). Cendawan entomopatogen diisolasi dari tanah menggunakan metode umpan serangga (Sharma *et al.*, 2018) dan media selektif (Meyling dan Eilenberg 2006). Sebanyak sepuluh kotak plastik (berwarna hitam) pada setiap unit percobaan (80 kotak) berkapasitas 300 ml diisi dengan tanah yang telah diambil dari setiap petak percobaan.

Sepuluh larva instar dua *S. frugiperda* ditempatkan (diinokulasikan) ke dalam setiap kotak plastik berwarna hitam berisi tanah, kemudian kotak tersebut ditempatkan dalam inkubator pada suhu 20°C . Pengamatan terhadap mortalitas larva *S. frugiperda* mulai pada tujuh hari setelah inokulasi dengan interval tiga hari hingga semua larva mati. Setiap larva yang mati dicatat. Larva yang mati ditempatkan dalam cawan petri berdiameter sembilan cm yang dilapisi kertas saring dan dibasahi dengan akuades (Clifton *et al.*, 2015). Larva yang mati tanpa gejala infeksi cendawan disterilkan dengan larutan natrium hipoklorit 1%, lalu dibilas dengan air suling sebanyak tiga kali. Larva kemudian ditempatkan dalam cawan petri yang telah dibasahi dengan kertas saring. Cawan petri ditutup rapat dengan *parafilm* dan dibiarkan dalam kondisi gelap selama satu hingga dua minggu.

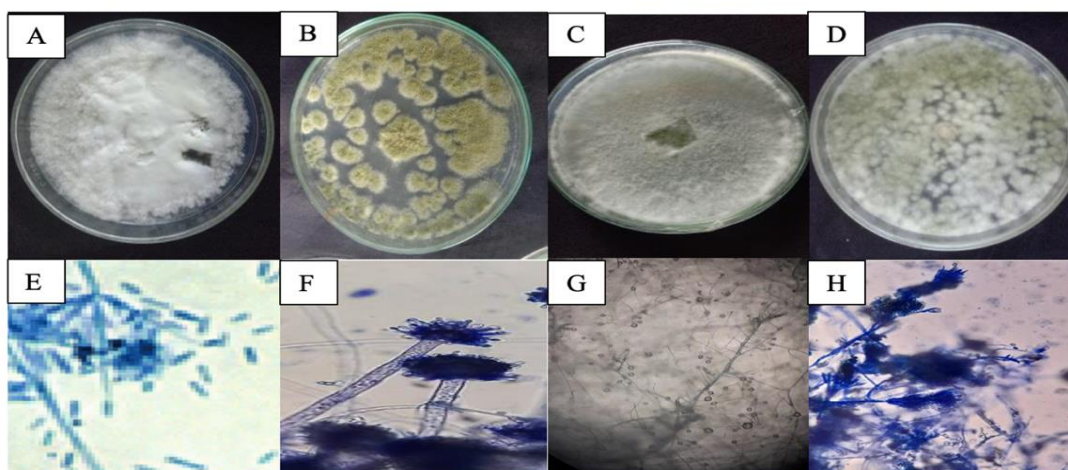
Persiapan mikroskopis dari miselium cendawan dan spora yang tumbuh di permukaan serangga diambil dan dimurnikan dalam media PDA (Potato Dextrose Agar). Hasil pemurnian cendawan entomopatogen menjadi dasar untuk identifikasi. Identifikasi cendawan menggunakan petunjuk dari Meyling, (2007); Samson, (1981); dan (Sharma & Sharma, 2021). Data hasil identifikasi cendawan sebagai acuan frekuensi cendawan entomopatogen yang terisolasi. Data mortalitas larva *S. frugiperda* pada tanah

yang telah diaplikasi pupuk organik dan anorganik menggunakan analisis uji-t dua rata-rata (Liptakova, 2021).

Hasil dan Pembahasan

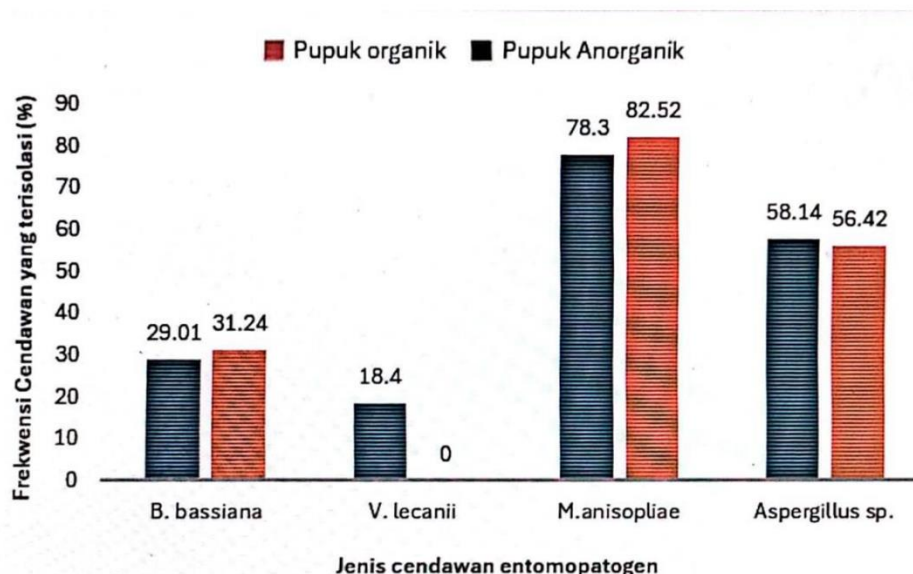
Cendawan *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *Aspergillus* sp., dan *V. lecanii* adalah spesies cendawan entomopatogen telah diidentifikasi dari tanah tanaman jagung yang dipupuk dengan pupuk organik dan anorganik (Gambar 2). Hasil penelitian bahwa cendawan tersebut dapat menginfeksi dan menyebabkan mortalitas pada serangga *S. frugiperda*. Metode penelitian, cara isolasi, serta identifikasi cendawan tersebut telah dilaporkan oleh Amin *et al.* (2014); Clifton *et al.* (2018); Meyling (2007); Tkaczuk *et al.* (2014); Keller dan Zimmerman (1989). Penggunaan metode umpan pada serangga *S. frugiperda* telah dapat diisolasi empat spesies cendawan entomopatogen. Spesies-spesies tersebut ditemukan dari tanah yang telah diaplikasikan dengan pupuk organik (kotoran ayam+kompos) dan pupuk anorganik pada pertanaman jagung (Tabel 1). Dhanapal *et al.* (2020) melaporkan penggunaan metode umpan serangga untuk mengisolasi cendawan entomopatogen dari sampel tanah, karena serangga paling sensitif terhadap serangan cendawan entomopatogen.

Keller *et al.* (2003) telah menguji metode umpan serangga dan metode selektif dan hasilnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Mantzoukas *et al.* (2020) dan Correa *et al.* (2022) melaporkan bahwa cendawan entomopatogen yang hidup di tanah telah diisolasi menggunakan metode yang sama dalam penelitian ini yaitu metode umpan serangga. Beberapa peneliti melaporkan bahwa untuk menentukan kelimpahan cendawan entomopatogen di tanah secara lebih rinci dan lengkap, disarankan menggunakan beberapa spesies serangga sebagai perangkap karena kerentanan serangga terhadap infeksi cendawan kemungkinan bervariasi. Yuliana *et al.* (2019) telah menemukan empat spesies cendawan patogen serangga yang diisolasi dari lapisan tanah, yaitu *Aspergillus* sp., *Beauveria* sp., *Verticillium* sp., dan *Fusarium* sp. menggunakan metode umpan serangga *C. cramerella*.



Gambar 2. Bentuk makroskopis dan mikroskopis cendawan entomopatogen dalam media potato dextrose agar diantaranya *Beauveria bassiana* (A dan E perbesaran 40 x 10), B. *Aspergillus* sp. (B dan F 40 x 10), C. *Verticillium lecanii* (C dan G perbesaran 40 x 10), D. *Metarhizium anisopliae* (D dan H perbesaran 10 x 40).

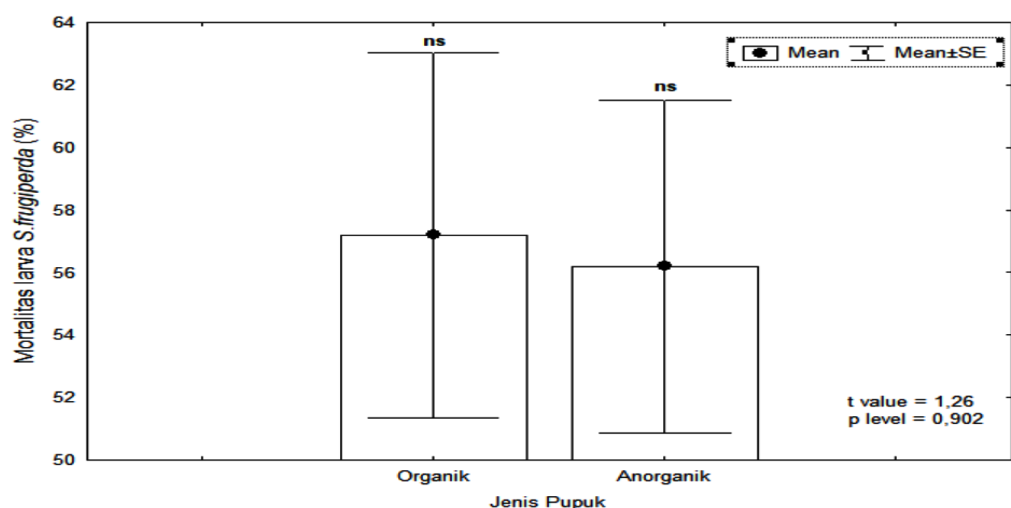
Frekuensi spesies cendawan entomopatogen yang terisolasi menggunakan metode umpan serangga (Gambar 3). *M. anisopliae* adalah cendawan yang paling sering terisolasi dari tanah yang dipupuk dengan bahan organik dan anorganik. Cendawan ini terdeteksi pada rata-rata frekuensi 82,52% dari lahan yang dipupuk dengan bahan organik dan rata-rata frekuensi 78,3% dari tanah yang dipupuk dengan bahan anorganik. Tidak ditemukan cendawan *V. lecanii* dari tanah yang diaplikasi pupuk bahan anorganik, namun cendawan ini terdeteksi dan diisolasi dari tanah yang diaplikasi dengan pupuk organik dengan frekuensi rata-rata 18,4%. Spesies cendawan *B. bassiana* terdeteksi baik pada tanah yang diaplikasi dengan pupuk organik maupun anorganik dengan frekuensi masing-masing 31,24% dan 29,01% (Gambar 3). Spesies lain adalah *Aspergillus* sp., yang terdeteksi di tanah yang diberi pupuk bahan organik dan tanah yang diberi pupuk anorganik dengan frekuensi masing-masing 58,14% dan 56,42%. Frekuensi cendawan entomopatogenik yang terisolasi dalam metode umpan serangga, baik pada tanah yang diberi pupuk organik maupun anorganik, angka tertinggi pada cendawan *M. anisopliae*, diikuti secara berturut-turut oleh cendawan *Aspergillus* sp., *B. bassiana*, dan *V. lecanii*.



Gambar 3. Frekuensi entomopatogen yang terisolasi (%) dengan umpan serangga *Spodoptera frugiperda* dari tanah yang dipupuk dengan bahan organik dan anorganik

Persentase larva serangga *S. frugiperda* yang terinfeksi oleh spesies cendawan entomopatogen dalam tanah yang berasal dari tanah yang dipupuk dengan bahan anorganik tidak berbeda secara signifikan dengan persentase yang diamati dalam tanah yang berasal dari tanah organik pada uji- $t=1,26$ dan $p=0,902$ (Gambar 4). Afandhi (2022) dan Bidochka *et al.* (1998) melaporkan bahwa cendawan *M. anisopliae* ditemukan dominan dalam tanah yang telah diolah, namun jarang ditemukan di habitat alami. Apabila membandingkan keberadaan *M. anisopliae* di tanah yang diaplikasi pupuk organik dan pupuk anorganik, angka persentase hasilnya sangat bervariasi (Chaundhary *et al.* 2023; Afandhi *et al.* 2022; Tkaczuk, 2014), tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara keberadaan cendawan entomopatogen di tanah dengan budidaya tanaman organik dan konvensional. Tkaczuk (2014); Tkaczuk *et al.* (2012) menemukan dua spesies cendawan

entomopatogen, yaitu *M. anisopliae* dan *I. fumosorosea*, sebagai spesies dominan di tanah pertanian organik. Hasil penelitian (Qesada-Moraga *et al.*, 2007; Clifton *et al.*, 2015; Meyling dan Eilenberg, 2006; Canfora *et al.*, 2023; Machin-Suarez *et al.*, 2022) menemukan cendawan entomopatogen *B. bassiana* sebagai spesies dominan dalam tanah di berbagai negara pertanian di Eropa.



Gambar 4. Mortalitas larva *Spodoptera frugiperda* (%) yang berasal dari tanah yang dipupuk bahan organik dan anorganik.

Simpulan

Hasil isolasi ditemukan bahwa *M. anisopliae* adalah cendawan entomopatogen dengan nilai frekuensi terbesar yang terisolasi dibandingkan cendawan *B. bassiana*, *Aspergillus* sp, dan *V. lecanii*, baik pada perlakuan pupuk organik maupun anorganik. Cendawan *M. anisopliae*, *B. bassiana*, *Aspergillus* sp., dan *V. lecanii* dapat menyebabkan mortalitas pada serangga *S. frugiperda* hama pada tanaman jagung.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Tadulako, Direktur Pascasarjana, dan Kepala Lembaga Penelitian Untad atas telah terlaksananya kegiatan penelitian ini dengan dukungan Dana BLU Pascasarjana Universitas Tadulako Tahun Anggaran 2023 Sesuai dengan Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian No: 1224.f/UN28.2/PL/2023, tanggal 26 Mei 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandhi A, Choliq FA, Fernando I, Marfaung YMAN, Setiawan Y. 2022. Occurrence of soil-inhabiting entomopathogenic fungi within a conventional and organic farm and their virulence against *Spodoptera litura*. *Biodiversitas*. 23(2): 1172-1180. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230263>.
- Amin N, Daha La, Nuraryaty A. 2014. The study on the role of entomopathogenic fungal endophytes in controlling the cocoa pod borer (*Conopomorpha cramerella* (Snellen))

- (Lepidoptera: Gracillariidae) on Cocoa Plant. *Journal of Entomology*. 11(3):142-152. doi: <https://doi.org/10.3923/je.2014.142.152>.
- Asfaw SG, Fufa BO, 2023. Growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* L.) has influenced by different rates of nitrogen fertilizer at Guder, West Shoa, Ethiopia. *World Journal of Applied Chemistry*. 8(2):39-42
- Asfiya W, Subagyo VNO, Dharmayanthi AB, Fatimah, Rachmatiyah R. 2020. Intensitas serangan *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) pada pertanaman jagung di Kabupaten Garut dan Tasikmalaya, Jawa Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 17(3):163–167. doi: <https://doi.org/10.5994/jei.17.3.163>.
- Bidochka MJ, Kasperski J., Wild GAM. 1998. Occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in soils from temperate and near-northern habitats. *Can. J. Bot.* 76, 1198–1204. doi: <https://doi.org/10.1139/b98-115>.
- Canfora L, Tartanus M, Manfredini A, Tkaczuk C, Safaryan AM, Malusà E. 2022. The impact of *Beauveria* species bioinocula on the soil microbial community structure in organic strawberry plantations. *Front. Microbiol.* 13:1073386. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1073386>.
- Chaudhary PJ, Raghunandan BL, Patel HK, Mehta PV, Patel NB, Sonth B, Dave A; Bagul SY, Divya, Jain MD, *et al.* 2023. Plant Growth-Promoting potential of entomopathogenic fungus *Metarhizium pinghaense* AAUBC-M26 under Elevated Salt Stress in Tomato. *Agronomy*. 13(1577):4-23. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061577>
- Clifton EH, Jaronski ST, Hodgson EW, Gassmann AJ. 2015. Abundance of soil-borne entomopathogenic fungi in organic and conventional fields in the midwestern usa withan emphasis on the effect of herbicides and fungicides on fungal persistence. *PLoS ONE*, 10(7):e0133613. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133613>.
- Correa TA, Santos TAFS, Camargo MG, Quinelato S, Bittencour VREP, Golo PS. 2022. Comparison of methods for isolating entomopathogenic fungi from soil samples. *J. Vis. Exp.* 179:e63353. doi: <https://doi.org/10.3791/63353>.
- Deka B, Chittaranjan B, Azariah B. 2021. Entomopathogenic microorganisms: Their role in insect pest management. *Egypt J Biol Pest Control*. 31:121. doi: <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00466-7>.
- Dhanapal R, Kumar DVSR, Lakshmipathy R, Rani CS, Kumar VM. 2020. Isolation of indigenous strains of the white halo fungus as a biological control agent against 3rd instar larvae of tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 30:89. doi: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00286-1>.
- Fadel M, Anshary A. 2023. Biologi ulat grayak, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) pada tanaman jagung. *e-J. Agrotekbis*. 11(1):155 – 164.
- Jumiati J, Anshary A. 2021. Aplikasi cendawan *Aspergillus flavus* untuk pengendalian hama kutu putih (*Pseudococcus* sp) pada tanaman terung (*Solanum melongena* L.). *Agrotekbis: E- Jurnal Ilmu Pertanian*. 9(1): 219–226.
- Keller S, Zimmermann G, 1989. *Mycopathogen of soil insects*. In: *Insects – Fungus Interactions*. London: Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-751800-8.50016-1>.
- Keller S, Kessler P, Schweizer C. 2003. Distribution of insect pathogenic soil fungi in Switzerland with special reference to *Beauveria brongniartii* and *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol*, 48:307–319. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023646207455>.
- Kin PK, Wahizatul AA, Norman K, Siti RAA, Ramle M. (2017). The occurrence of

- entomopathogenic fungi on mineral and peat soils in peninsular Malaysia. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 12(1):1.12. doi: <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2017.1.12>.
- Klingen I, Jørgen E. 2022. Effects of farming system, field margins, and bait insect on the occurrence of insect pathogenic fungi in soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 91:191–198. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00227-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00227-4).
- Kumar RM, Basana GG, Venkatesh P, Parveen K, Yamanura M, Nagesha N, Farman U. (2022). Sustainable management of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 12(9):2150. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12092150>.
- Liptakova E. 2021. T-test for two dependent samples – some practical notes. *Slovak Journal of Sport Science* 7(1):48-55. doi: <https://doi.org/10.24040/sjss.2021.7.1.48-55>.
- Liput DE, Pinaria BAN, Rante CS, Wanta NN. 2022. Populasi hama *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) pada pertanaman jagung di Kecamatan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*. 3(1):92-98.
- Machin-Suarez, del Pozo NEM, Garcia C, Hector AEF, Dominguez Y, Guerrero-Morales, Chavez MJA, Escobedo BCM, Verez-Alvarez S. 2022. Isolation and characterization of one autochthonous *Beauveria* sp. isolate from Cuban fields. *Biotecnia*. 31(1) :142-150. doi: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1553>.
- Maharani Y, Dewi VK, Puspasari LP, Rizkie L, Hidayat Y, Dono D. 2019. Cases of fall army worm *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) attack on maize in Bandung, Garut and Sumedang District, West Java. *Jurnal Cropsaver*. 2(1): 38-46. doi: <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v2i1.23013>
- Mamahit JME, Manueke L, Pakasi SE. 2020. Invasive pests fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) on maize in Minahasa District. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020*. pp. 616-624. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).
- Mantzoukas S, Lagogiannis I, Ntoukas A, Eliopoulos PA, Kouretas D, Karpouzas DG, Poulas K. 2020. Trapping entomopathogenic fungi from vine terroir soil samples with insect baits for controlling serious pests. *Appl. Sci.*10, 3539. doi: <https://doi.org/10.3390/app10103539>.
- Meyling NV. 2007. Methods For Isolation of Entomopathogenic Fungi from The Soil Environment. *Laboratory Manual*.
- Meyling NV, Eilenberg J. 2006. Occurrence and distribution of soil borne entomopathogenic fungi within a single organic agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 4(113):336-341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.011>.
- Meyling NV, Kristensen KT, Eilenberg J. 2011. Below and aboveground abundance and distribution of fungal entomopathogens in experimental conventional and organic cropping systems. *Biological Control*. 59(2):180-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.017>.
- Mie A, Helle RA, Gunnarsson S, Johannes K, Emmanuelle KG, Ewa R, Gianluca Q, & Philippe G. 2017. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environmental Health*. 16:111. doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0315-4>.
- Mantzoukas S, Lagogiannis I, Ntoukas A, Eliopoulos PA, Kouretas D, Karpouzas DG, Poulas K. 2020. Trapping entomopathogenic fungi from vine terroir soil samples

- with insect baits for controlling serious pests. *Appl. Sci.*10: 3539. doi: <https://doi.org/10.3390/app10103539>.
- Nelly N, Hamid H, Lina EC, Yusmania, Andi A, Putri YD. 2023. The development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on several varieties of maize. *Biodiversitas*. 24(1):523-530. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240161>.
- Nelly N, Syahrawati MY, Hamid H, Habazar T, Gusnia DN. 2019. Diversity and characterization of entomopathogenic fungi from rhizosphere of maize plants as potential biological control agents. *Biodiversitas*, 20(5):1435-144. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200536>.
- Nleya T, Kleinjan J. 2019. Corn growth and development, best management practices. a service of SDSU extention. Diakses 2025 Jun 5. Tersedia pada: <https://extension.sdstate.edu/sites/default/files/2019-09/S-0003-05-Corn.pdf>.
- Puspitarini RD, Afandhi A, Fernando I. 2021. Evaluation of indigenous fungal entomopathogens and aqueous leaf extract of *Annona muricata* against *Polyphagotarsonemus latus* infesting I in Indonesia. *Biodiversitas*. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220713>.
- Quesada-Moraga E, Navas-Cortes JA., Maran-Hao AA, Ortiz-Urquiza A, Santiago-Alvarez C. 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycol. Res.* 111:947-966. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.06.006>.
- Ramos Y, Orelvis P, Erik L, Meyling NV, Ingeborg K. 2017. Diversity and abundance of *Beauveria bassiana* in soils, stink bugs and plant tissues of common bean from organic and conventional fields. *Journal of Invertebrate Pathology*, 150:114-120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.10.003>.
- Reganold JP, Jonathan MW. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2:15221. doi: <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>.
- Samson RA. 1981. Identification: Entomopathogenic Deuteromycetes. In: Burges HD. (ed.). *Microbial Control of Pests and Plants Diseases 1970-1980*. London: Academic Press.
- Sartiami D, Dadang, Harahap IS, Kusumah YM, and Anwar, R. 2020. First record of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Indonesia and its occurrence in three Provinces. Southeast Asia Plant Protection Conference 2019. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 468(2020):012021 doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012021>.
- Sartiami D, Paryoto, Albarki HR, Saputri Z, Sari KN, Sa'adha N; Khalidah NN, Sofi LIZ. Inanah MN. 2023. Pengenalan dan pengendalian hama ulat grayak frugiperda (*Spodoptera frugiperda*) di Desa Bonjor, Kabupaten Rembang. *Agrokreatif*. 9 (1):17-25. doi: <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.9.1.17-25>.
- Sharma L, Irene O, Fernando R, Laura T, Guilhermina M. 2018. Soil chemical properties barely perturb the abundance of entomopathogenic *Fusarium oxysporum*: a case study using a generalized linear mixed model for microbial pathogen occurrence countdata. *Pathogens*, 7(4):89. Doi: <https://doi.org/10.3390/pathogens7040089>.
- Sharma R, Sharma P. 2021. Fungal Entomopathogens: A Systematic Review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 31(57). doi: <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00404-7>.
- Taye G, Kindie T, Tolessa D. 2015. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield of maize (*Zea mays* L.) at Nedjo, West Wollega, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*. 5(13):197-202.

- Tkaczuk C, Krzyczkowski T, Wegensteiner R. 2012. The occurrence of entomopathogenic fungi in soils from mid-field woodlots and adjacent small-scale arable fields. *Acta Mycol.* 47(2):191–202. doi: <https://doi.org/10.5586/am.2012.024>.
- Tkaczuk C, Król A, Majchrowska-Safaryan A, Łukasz N. 2014. The occurrence of entomopathogenic fungi in soils from fields cultivated in a conventional and organic system. *J. of Ecological Engineering.* 15(4): 137–144.
- Trdan S, Laznik Z, Anja B. 2020. Thirty years of research and professional work in the field of biological control (predators, parasitoids, entomopathogenic and parasitic nematodes) in Slovenia: A Review. *Applied Sciences*, 10(21):7468. doi: <https://doi.org/10.3390/app10217468>.
- Trisyono YA, Suputa VEF, Aryuwandari, Haman M, Jumari. 2019. Occurrence of heavy infestation by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new alien invasive pest, in corn in Lampung Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia.* 23(1): 156–160. doi: <https://doi.org/10.22146/jpti.46455>.
- Trizelia NA, Hetrys J. 2015. Keanekaragaman cendawan entomopatogen pada rizosfer berbagai tanaman sayuran. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversity Indonesia*, 1(5):998–1004. doi: <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010507>.
- Wilyus HM, Siregar, Aulia R. 2021. Perkembangan *Spodoptera frugiperda* J.E Smith Pada Tanaman Jagung Manis (*Zea mays* L. *saccharata*). *Jurnal Media Pertanian*, 6(2):104–108. doi: <https://doi.org/10.33087/jagro.v6i2.121>.
- Yuliana, Anshary A, Yunus M. 2019. Identifikasi cendawan entomopatogen dan mortalitas serangga umpan pada beberapa lapisan tanah dari perkebunan kakao (*Theobroma cacao* L.). *Agrotekbis: E-Jurnal Ilmu Pertanian.* 7(1):140–148.