

PENGUNAAN *Metarhizium anisopliae* DENGAN BERBAGAI DOSIS DAN KETEBALAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DALAM MENGENDALIKAN LARVA *Oryctes rhinoceros* DI PT. BUMIHUTANI LESTARI KALIMANTAN TENGAH

THE USE OF *Metarhizium anisopliae* AT VARIOUS DOSES AND EMPTY BUNCH THICKNESSES IN CONTROLLING *Oryctes rhinoceros* LARVAE AT PT BUMIHUTANI LESTARI CENTRAL KALIMANTAN

Jeplin Sipayung¹, Merlyn Mariana^{1*}, Wikka Sasvita¹, dan Azis Herdiyanto Riyadi¹

¹Jurusan Perkebunan, Politeknik Pembangunan Pertanian Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding Author. E-mail address: marianamerlyn06@gmail.com

PERKEMBANGAN ARTIKEL:

Diterima: 11-6-2026

Direvisi: 22-9-2026

Disetujui: 24-9-2026

KEYWORDS:

Biocontrol, Empty fruit bunch, Entomopathogenic fungus, Larval mortality, Oil palm

ABSTRACT

The rhinoceros beetle (*Oryctes rhinoceros*) is a major pest in oil palm plantations capable of causing yield losses, particularly in immature stands. This study aimed to determine the effects of various dosages of *Metarhizium anisopliae* and thicknesses of oil palm empty fruit bunches (EFB) on the mortality of *Oryctes rhinoceros* larvae, to analyze the median lethal time (LT50) across different treatment combinations, and to analyze the cost-efficiency of each treatment in controlling the larvae. The research was conducted at PT Bumihutani Lestari (Eagle High Plantation Tbk) in Katingan Regency, Central Kalimantan Province, from December 2025 to February 2026. A factorial Randomized Block Design (RBD) was employed, featuring four dosage levels of *M. anisopliae* (P0: control, P1: 60 g, P2: 80 g, and P3: 100 g) and three levels of EFB thickness (K1: 1 layer/10 cm, K2: 2 layers/20 cm, and K3: 3 layers/30 cm), with four replications and 15 larvae per experimental unit, totaling 720 larvae. Observed parameters included larval mortality, LT50, and treatment costs. Data were analyzed using two-way analysis of variance (ANOVA) at the 5% significance level, followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). The results indicated that *M. anisopliae* dosage and EFB thickness significantly influenced *Oryctes rhinoceros* larval mortality starting from the second week. Treatment P3 (100 g) yielded the highest cumulative mortality: 13.00 larvae (86.67%). The P3K3 interaction produced the highest mortality at 13.50 larvae (90.00%). The fastest LT50 was observed in the P3K1 combination, at 2.8 weeks. Cost analysis results indicate that the 60 g dosage (P1) incurred the lowest cost per 1% of larval mortality, making it the most efficient option based on this criterion. Thus, while the 100 g dosage of *M. anisopliae* combined with three layers of oil palm empty fruit bunches (TKKS) yielded the highest larval mortality, the 60 g dosage demonstrated superior cost-efficiency based on the cost per 1% mortality. The study findings suggest that *M. anisopliae* combined with TKKS has the potential to serve as an environmentally friendly biological control method against *Oryctes rhinoceros* in oil palm plantations.

ABSTRAK

KATA KUNCI:

Agens hayati, entomopatogen, kumbang tanduk, mortalitas, Tandan kosong, kelapa sawit

Kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) merupakan salah satu hama utama pada perkebunan kelapa sawit yang dapat menyebabkan kehilangan hasil, terutama pada tanaman belum menghasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tandan kosong kelapa sawit (tankos) terhadap mortalitas larva *Oryctes rhinoceros*, menganalisis waktu lethal 50 (LT50) pada berbagai kombinasi perlakuan, serta menganalisis efisiensi biaya masing-masing perlakuan dalam mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros*. Penelitian dilaksanakan di PT Bumihutani Lestari (Eagle High Plantation Tbk), Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah, pada Desember 2025 hingga Februari 2026. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan empat taraf dosis *M. anisopliae* (P0: kontrol, P1: 60 g, P2: 80 g, dan P3: 100 g) dan tiga taraf ketebalan TKKS (K1: 1 lapis/10 cm, K2: 2 lapis/20 cm, dan K3: 3 lapis/30 cm), dengan empat ulangan dan 15 larva pada setiap unit percobaan, sehingga total 720 larva. Parameter yang diamati meliputi mortalitas larva,

LT50, dan biaya perlakuan. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dua arah pada taraf 5% dan dilanjutkan dengan Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis *M. anisopliae* dan ketebalan TKKS berpengaruh nyata terhadap mortalitas larva *Oryctes rhinoceros* mulai minggu kedua. Perlakuan P3 (100 g) menghasilkan mortalitas kumulatif tertinggi, yaitu 13,00 larva atau 86,67%. Interaksi P3K3 menghasilkan mortalitas tertinggi sebesar 13,50 larva atau 90,00%. LT50 tercepat diperoleh pada kombinasi P3K1, yaitu 2,8 minggu. Hasil analisis biaya menunjukkan bahwa dosis 60 g (P1) memiliki biaya terendah per 1% mortalitas larva, sehingga paling efisien berdasarkan kriteria tersebut. Dengan demikian, dosis *M. anisopliae* 100 g yang dikombinasikan dengan TKKS 3 lapis menghasilkan mortalitas larva tertinggi, sedangkan dosis 60 g memiliki efisiensi biaya terbaik berdasarkan biaya per 1% mortalitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *M. anisopliae* yang dikombinasikan dengan TKKS berpotensi digunakan sebagai metode pengendalian hayati yang ramah lingkungan terhadap *Oryctes rhinoceros* pada perkebunan kelapa sawit.

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan tahun 2025, luas areal kelapa sawit Indonesia mencapai sekitar 16,83 juta hektare dengan produksi sebesar 46,55 juta ton minyak sawit mentah (CPO) dan produktivitas rata-rata sebesar 3,6 ton/ha. Kalimantan Tengah merupakan salah satu sentra produksi kelapa sawit di Indonesia dengan produksi mencapai sekitar 7,59 juta ton pada tahun 2025 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2025). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberlanjutan produksi kelapa sawit di tingkat perkebunan sangat dipengaruhi oleh pengelolaan budidaya dan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT), termasuk hama *Oryctes rhinoceros*. PT. Bumihutani Lestari yang berlokasi di Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah, merupakan salah satu perusahaan perkebunan kelapa sawit yang dalam kegiatan pengelolaannya menghadapi permasalahan hama *Oryctes rhinoceros*. Berdasarkan data internal perusahaan, areal yang dikelola terdiri atas beberapa unit kebun dengan total luas yang dilaporkan sebesar 8.714,03 ha dan produktivitas sekitar 12 ton/ha/tahun. Tingginya aktivitas *O. rhinoceros* di areal perkebunan juga terlihat dari hasil pemantauan menggunakan ferotrap. Data internal perusahaan mencatat sebanyak 1.673 unit ferotrap digunakan dengan hasil tangkapan mencapai 11.459 ekor *O. rhinoceros* dewasa. Selain itu, ditemukan larva dengan total bobot 34,4 kg pada 118 tumpukan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Data tersebut menunjukkan adanya keberadaan populasi *O. rhinoceros* pada areal perkebunan yang perlu mendapatkan perhatian dalam upaya pengendalian hama. Produksi minyak sawit Indonesia pada tahun 2024 mencapai 45,44 juta ton, dengan perkebunan besar swasta sebagai kontributor utama yang menyumbang 58,01% dari total produksi nasional.

Salah satu faktor pembatas produktivitas kelapa sawit adalah serangan hama kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros* L.). Hama ini menyerang bagian pucuk dan jaringan muda tanaman dengan membuat gerakan menuju titik tumbuh, sehingga dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Serangan *O. rhinoceros* pada perkebunan kelapa sawit dilaporkan dapat menurunkan produksi tandan buah segar (TBS) hingga 69% pada tahun pertama menghasilkan serta menyebabkan kematian tanaman muda hingga 25% (Efendi et al., 2025). Tingginya dampak serangan tersebut menunjukkan bahwa *O. rhinoceros* merupakan salah satu hama yang perlu mendapat perhatian dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Selain menimbulkan kerugian langsung secara fisik, luka bekas serangan juga membuka pintu masuk bagi infeksi patogen sekunder yang memperparah kondisi tanaman (Wong et al., 2022).

Salah satu masalah utama yang memperbesar risiko serangan *Oryctes rhinoceros* di lapangan adalah penggunaan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) atau tankos sebagai bahan organik lahan. Tandan kosong mengandung sekitar 22-23% dari bobot tandan buah segar (TBS) yang diproses dan merupakan limbah padat utama pabrik kelapa sawit (Fauzana et al., 2023). Tumpukan TKKS menyediakan habitat ideal dan media kaya nutrisi bagi perkembangbiakan

Oryctes rhinoceros, sehingga aplikasi langsung ke lahan tanpa pengelolaan yang tepat dapat memicu peningkatan populasi hama secara signifikan (Handoko et al., 2017 dalam Fauzana et al., 2023). Hasil monitoring internal PT. Eagle High Plantation Tbk di lokasi penelitian menunjukkan bahwa populasi *O. rhinoceros* yang tertangkap melalui ferotrap mencapai 11.459 ekor, sedangkan larva yang dikumpulkan memiliki total bobot sekitar 34,8 kg selama periode Januari-Oktober 2025, menunjukkan tingkat serangan aktif yang tinggi.

Pengendalian *O. rhinoceros* secara kimiawi menggunakan insektisida sintetik telah banyak diterapkan, namun penggunaan yang tidak bijaksana dapat memicu resistensi hama, terbunuhnya musuh alami, serta pencemaran lingkungan (Simarmata, 2024). PT. Bumihutani Lestari sebagai perusahaan yang menerapkan prinsip keberlanjutan dalam pengelolaan perkebunan perlu melaksanakan pengendalian hama secara terpadu dengan mempertimbangkan metode biologis, mekanis, fisik, dan penggunaan pestisida secara bijaksana. Prinsip tersebut sejalan dengan kriteria RSPO yang mensyaratkan penerapan Integrated Pest Management (IPM) untuk mengelola hama, penyakit, gulma, dan spesies invasif serta mendorong penggunaan berbagai metode pengendalian untuk meminimalkan penggunaan bahan kimia (RSPO, 2024). Salah satu alternatif pengendalian biologis yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae*. Dalam konteks ini, jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* (Metch.) menjadi alternatif yang sangat menjanjikan. Jamur ini bekerja melalui mekanisme penetrasi kutikula larva menggunakan tekanan mekanik dan aktivitas enzimatik (kitinase dan protease), kolonisasi hemolimfa, serta produksi toksin sekunder berupa destruxin yang melumpuhkan fisiologi inang hingga menyebabkan kematian (Hidayat, 2022).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas *Metarhizium anisopliae* dalam mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros*. Fauzana dan Fadilla (2022) melaporkan mortalitas sebesar 56% dengan aplikasi dosis 50 g pada media tankos. Hasibuan et al. (2024) menyebutkan bahwa *Metarhizium anisopliae* mampu menurunkan populasi larva kumbang badak secara signifikan. Simarmata (2024) melaporkan mortalitas larva mencapai 100% pada hari ke-30 pengamatan. Namun, penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh kombinasi dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tandan kosong kelapa sawit (tankos) sebagai media aplikasi terhadap pengendalian larva *Oryctes rhinoceros* di lapangan perkebunan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui pengaruh berbagai dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tankos terhadap mortalitas larva *Oryctes rhinoceros*; (2) menganalisis waktu lethal 50 (LT50) pada berbagai kombinasi dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tankos; dan (3) menganalisis efisiensi biaya masing-masing perlakuan dalam mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros*.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Desember 2025 hingga April 2026. Perlakuan dan pengamatan dilaksanakan selama enam minggu, mulai Desember 2025 hingga Januari 2026, sedangkan pengolahan dan analisis data dilakukan pada Februari hingga April 2026 di Politeknik Pembangunan Pertanian Medan. Perlakuan dan pengamatan dilaksanakan di Blok E05 Divisi 3 Rinjani Estate, PT Bumihutani Lestari (Eagle High Plantation Tbk), Kecamatan Katingan Tengah, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah, yang secara geografis berada pada sekitar 01°42'01,46" LS dan 112°55'19,56" BT. Tanaman kelapa sawit pada lokasi penelitian berumur 25 tahun dengan tahun tanam 2000.

2.2 Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial yang terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah dosis *Metarhizium anisopliae* (P) dengan empat taraf: P0 (kontrol, tanpa jamur), P1 (60 g), P2 (80 g), dan P3 (100 g). Faktor kedua adalah ketebalan tankos (K) dengan tiga taraf: K1 (1 lapis, setara 10 cm), K2 (2 lapis, setara 20 cm), dan K3 (3 lapis, setara 30 cm). Kombinasi kedua faktor menghasilkan 12 perlakuan yang masing-masing diulang empat kali, sehingga diperoleh 48 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan menggunakan 15 larva *Oryctes rhinoceros* instar III, dengan total 720 larva selama penelitian berlangsung.

Model matematika yang digunakan adalah $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + P_k + \varepsilon_{ijk}$, di mana Y adalah nilai pengamatan, μ adalah nilai tengah, α adalah pengaruh dosis jamur, β adalah pengaruh ketebalan tankos, $(\alpha\beta)$ adalah pengaruh interaksi kedua faktor, P adalah pengaruh ulangan/kelompok, dan ε adalah galat percobaan (Prasetyio, 2023).

2.3 Tahapan Pelaksanaan

Petak percobaan berukuran 1 m × 1 m dibuat menggunakan pelepah kelapa sawit di bawah tegakan tanaman menghasilkan dengan jarak antarpetak 30 cm. Setiap petak diberi pembatas dan plang identitas sesuai kombinasi perlakuan. Tankos segar diaplikasikan pada setiap petak sesuai taraf ketebalan perlakuan, yaitu K1 (1 lapis/10 cm) dengan bobot 40 kg, K2 (2 lapis/20 cm) dengan bobot 80 kg, dan K3 (3 lapis/30 cm) dengan bobot 120 kg per petak. Penentuan ketebalan tankos dilakukan secara langsung di lapangan dengan mengukur tinggi tumpukan tankos menggunakan penggaris atau roll meter hingga mencapai ketebalan 10, 20, dan 30 cm. Setelah ketebalan sesuai dengan perlakuan, tankos diratakan pada setiap petak sehingga membentuk media percobaan sesuai taraf yang ditetapkan.

Larva *Oryctes rhinoceros* instar III diperoleh dari tumpukan tankos di lapangan, kemudian dipilih larva yang berada dalam kondisi sehat, ditandai dengan larva yang aktif bergerak dan tidak menunjukkan kerusakan fisik maupun gejala infeksi. Sebanyak 15 ekor larva sehat dimasukkan ke dalam setiap satuan percobaan. Jamur *Metarhizium anisopliae* ditimbang menggunakan timbangan digital sesuai dosis perlakuan, yaitu 60, 80, dan 100 g, kemudian ditaburkan secara merata pada permukaan tankos, sedangkan perlakuan kontrol tidak diberikan *M. anisopliae*. Pengamatan dilakukan satu kali setiap minggu selama enam minggu berturut-turut setelah aplikasi dengan menghitung jumlah larva yang mati. Larva dinyatakan mati apabila tidak menunjukkan respons gerakan ketika disentuh atau digeser secara perlahan, sedangkan infeksi *M. anisopliae* dikonfirmasi berdasarkan perubahan warna tubuh dan munculnya miselium atau konidia pada permukaan tubuh larva.

2.4 Parameter Pengamatan

Mortalitas Larva

Mortalitas larva diamati setiap minggu selama 6 minggu. Larva dinyatakan mati apabila tidak menunjukkan pergerakan saat disentuh dan menunjukkan gejala infeksi *M. anisopliae*. Persentase mortalitas dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{A}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

P	=	Persentase mortalitas larva (%)
A	=	Jumlah Larva
B	=	Jumlah Larva yang diamati

Waktu Lethal 50 (LT50)

LT50 merupakan waktu yang diperlukan *M. anisopliae* untuk menyebabkan kematian 50% larva. Nilai LT50 dihitung berdasarkan data mortalitas kumulatif menggunakan analisis probit. Nilai LT50 dinyatakan dalam minggu.

Efisiensi Biaya

Efisiensi biaya dihitung berdasarkan biaya *M. anisopliae* terhadap persentase mortalitas larva dengan rumus:

$$E = \frac{C}{M}$$

2.5 Analisis Data

Data mortalitas larva dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan taraf signifikansi 5%. Model matematis yang digunakan yaitu $Y_{ijk} = \mu + \pi_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \epsilon_{ijk}$, dengan Y_{ijk} sebagai nilai pengamatan, μ sebagai nilai tengah umum, π_i sebagai pengaruh kelompok, α_j sebagai pengaruh dosis *M. anisopliae*, β_k sebagai pengaruh ketebalan TKKS, $(\alpha\beta)_{jk}$ sebagai interaksi dosis dan ketebalan TKKS, serta ϵ_{ijk} sebagai galat percobaan. Apabila hasil ANOVA menunjukkan pengaruh nyata, dilakukan uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan (Fitri et al., 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* pada Minggu Pertama

Hasil analisis sidik ragam pada minggu pertama (M1) menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh nyata dari seluruh sumber keragaman yang diamati, baik dari faktor dosis (P), ketebalan tankos (K), interaksi keduanya (P×K), maupun kelompok ulangan. Nilai F-Hitung untuk semua variabel tercatat sebesar 0,00, jauh di bawah nilai F-Tabel pada taraf 5% maupun 1%, sehingga seluruh variabel memperoleh notasi TN (Tidak Nyata). Hal ini secara biologis mengindikasikan bahwa pada minggu pertama, belum terdapat perbedaan mortalitas larva antar perlakuan.

Fenomena tidak nyata pada pengamatan awal merupakan respons biologis yang wajar bagi agens hayati jamur entomopatogen. Berbeda dengan pestisida kimia yang bekerja secara instan melalui efek neurotoksik, *Metarhizium anisopliae* memerlukan fase inkubasi yang meliputi proses adhesi konidia pada kutikula larva, perkecambahan spora (germinasi), dan penetrasi integumen melalui aktivitas enzimatis. Bugti et al. (2024) menyebutkan bahwa jamur entomopatogen memerlukan waktu rata-rata 3 hingga 7 hari hanya untuk menembus integumen larva sebelum menginfeksi jaringan tubuh secara sistemik. Penelitian Nasution et al. (2021) di laboratorium juga menyatakan bahwa *Metarhizium anisopliae* baru mulai menunjukkan gejala klinis kematian larva *Oryctes rhinoceros* pada hari ke-4 hingga ke-7 setelah aplikasi, bergantung pada virulensi isolat dan kondisi lingkungan.

Ketidakhayatan hasil pada variabel kelompok ulangan sekaligus mengonfirmasi bahwa lingkungan percobaan bersifat homogen dan bebas dari bias posisi plot. Kondisi ini memperkuat validitas data penelitian bahwa apabila terjadi mortalitas pada minggu-minggu berikutnya, hal tersebut dapat dipastikan murni disebabkan oleh pengaruh perlakuan yang diberikan, bukan faktor lingkungan eksternal. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar RAK yang bertujuan mengisolasi keragaman lingkungan sehingga respon antar perlakuan dapat dibandingkan secara adil (Prasetyio, 2023).

3.2 Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* pada Minggu Kedua

Dinamika mortalitas larva mengalami perubahan signifikan pada minggu kedua (M2). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor dosis *M. anisopliae* (F-Hitung = 15,01; FTabel 5% = 2,88) memberikan pengaruh sangat nyata (**), faktor ketebalan tankos (F-Hitung = 4,44; FTabel 5% = 3,27) memberikan pengaruh nyata (*), dan interaksi kedua faktor (F-Hitung = 11,13; FTabel 5% = 2,38) memberikan pengaruh sangat nyata (**). Sementara itu, faktor kelompok (F-Hitung = 0,83) tetap tidak nyata, membuktikan konsistensi kondisi lingkungan percobaan.

Tabel 1. Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* terhadap Perlakuan Dosis *Metarhizium anisopliae* pada Pengamatan Minggu Kedua

Perlakuan Dosis <i>Metarhizium anisopliae</i>	Rataan Mortalitas (Ekor)
P0 (Kontrol)	0,00 c
P1 (60 g)	1,50 ab
P2 (80 g)	1,00 b
P3 (100 g)	2,08 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata menurut DMRT taraf 5%

Berdasarkan Tabel 1, perlakuan P3 menghasilkan rataan mortalitas tertinggi sebesar 2,08 ekor yang berbeda nyata dengan P0 dan P2, namun tidak berbeda nyata dengan P1. Munculnya pengaruh sangat nyata pada minggu kedua menandai berakhirnya fase inkubasi dan dimulainya fase patogenesis aktif. Pada fase ini, jamur berhasil menembus eksoskeleton larva melalui kombinasi tekanan mekanik dan aktivitas enzimatis kitinase dan protease. Yin et al. (2023) menjelaskan bahwa setelah *Metarhizium anisopliae* berhasil masuk ke dalam hemolimfa, toksin sekunder berupa destruxin mulai diproduksi, menyebabkan kelumpuhan sistem saraf dan otot pencernaan larva yang berujung pada kematian. Tingginya mortalitas pada P3 mengonfirmasi teori kepadatan inokulum, di mana semakin banyak konidia yang menempel pada tubuh larva, semakin besar peluang penetrasi serentak yang mempercepat kematian (Lapinangga et al., 2025).

Ketebalan tankos K1 menghasilkan rataan mortalitas tertinggi (1,63 ekor) pada minggu ini, berbeda nyata dengan K2 (0,88 ekor) dan K3 (0,94 ekor). Fenomena ini dijelaskan oleh intensitas kontak awal yang lebih tinggi pada media tipis, di mana ruang gerak larva lebih terbatas sehingga frekuensi kontak kutikula dengan konidia jamur lebih intens. Nuraisyah et al. (2025) menyatakan bahwa dua minggu setelah aplikasi merupakan fase penetrasi integumen di mana jamur memerlukan kondisi lingkungan yang stabil untuk berkecambah dan melakukan adhesi konidia pada permukaan inang. Interaksi P3K1 menunjukkan mortalitas tertinggi (4,75 ekor) pada minggu kedua, mengindikasikan sinergi antara kepadatan inokulum tinggi dengan aerasi optimal pada media tipis yang mempercepat germinasi konidia.

3.3 Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* pada Minggu Ketiga

Pada pengamatan minggu ketiga (M3), seluruh faktor perlakuan menunjukkan peningkatan signifikansi. Faktor dosis mencapai F-Hitung = 28,51 (sangat nyata**), faktor ketebalan tankos meningkat dari nyata menjadi sangat nyata dengan F-Hitung = 5,63 (**), dan interaksi kedua faktor tetap sangat nyata dengan F-Hitung = 9,09 (**). Peningkatan nilai F-Hitung secara

konsisten dari minggu ke minggu menunjukkan bahwa proses patogenesis jamur semakin masif seiring bertambahnya waktu paparan.

Perlakuan P3 mempertahankan posisinya sebagai perlakuan dengan rata-rata mortalitas tertinggi (4,42 ekor), meskipun P1 (3,75 ekor) dan P2 (3,33 ekor) tidak berbeda nyata dengan P3. Hal ini mengindikasikan bahwa pada minggu ketiga, seluruh dosis yang mengandung *Metarhizium anisopliae* telah mencapai ambang batas infeksi yang efektif terhadap sistem imun larva *Oryctes rhinoceros*. Menurut Hasibuan et al. (2024), tiga minggu merupakan periode krusial di mana hifa jamur telah berhasil menembus eksoskeleton dan menginfeksi jaringan hemolimfa. Proses ini melibatkan pelepasan enzim hidrolitik kitinase dan protease yang mendegradasi integumen larva secara progresif.

Meningkatnya signifikansi faktor ketebalan tankos (K) dari nyata menjadi sangat nyata pada minggu ketiga memberikan gambaran penting tentang peran media tankos dalam mendukung proses sporulasi sekunder. Nasution et al. (2021) menyebutkan bahwa kelembaban yang konsisten di dalam media organik sangat mendukung viabilitas konidia jamur entomopatogen. Media yang tebal mampu memfasilitasi sporulasi sekunder, di mana jamur tumbuh keluar dari tubuh larva yang telah mati dan menjadi sumber inokulum baru bagi larva yang masih hidup. Perlakuan K1 tetap menunjukkan mortalitas tertinggi (3,69 ekor) pada minggu ketiga, yang berkaitan dengan keterbatasan ruang gerak larva pada media tipis sehingga intensitas kontak dengan spora lebih tinggi (Novianti et al., 2021). Interaksi P3K1 kembali mendominasi dengan mortalitas 8,50 ekor, sedangkan interaksi lain pada dosis rendah dengan media tebal menunjukkan mortalitas yang lebih rendah.

3.4 Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* pada Minggu Keempat

Hasil analisis sidik ragam minggu keempat (M4) menunjukkan faktor dosis tetap sangat nyata dengan nilai F-Hitung yang meningkat tajam menjadi 59,05, jauh melampaui F-Tabel pada taraf 5% (2,88) maupun 1% (4,41). Faktor ketebalan tankos memberikan pengaruh nyata ($F_{\text{Hitung}} = 3,70$; *), dan interaksi $P \times K$ tetap sangat nyata ($F_{\text{Hitung}} = 6,94$; **). Tingginya nilai F_{Hitung} pada faktor dosis di minggu keempat mengindikasikan bahwa konsentrasi konidia *M. anisopliae* telah menjadi variabel penentu utama dalam mempercepat kematian larva, sejalan dengan fase patogenesis lanjut di mana hifa jamur telah mengolonisasi hemolimfa secara masif.

Tabel 2. Rataan Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* terhadap Perlakuan Dosis *Metarhizium anisopliae* pada Pengamatan Minggu Keempat

Perlakuan Dosis <i>M. anisopliae</i>	Rataan Mortalitas (Ekor)
P0 (Kontrol)	0,00 c
P1 (60 g)	5,50 b
P2 (80 g)	6,83 a
P3 (100 g)	6,92 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata menurut DMRT taraf 5%

Berdasarkan Tabel 2, perlakuan P3 dan P2 tidak berbeda nyata satu sama lain namun keduanya berbeda nyata dengan P1. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan dosis dari 80 g ke 100 g tidak lagi memberikan perbedaan mortalitas yang signifikan pada fase ini, namun kedua dosis tersebut jauh lebih efektif dibandingkan dosis 60 g. Menurut Gunawan et al. (2023),

pada periode empat minggu pertumbuhan hifa di dalam rongga tubuh serangga (haemocoel) sudah sangat masif, menyebabkan kerusakan jaringan internal secara menyeluruh. Penelitian Ilmi et al. (2022) menambahkan bahwa stabilitas mikroiklim di dalam tumpukan bahan organik mencegah spora jamur mengalami kekeringan (desikasi), sehingga proses infeksi sekunder dari larva yang mati ke larva yang masih hidup dapat berlangsung lebih optimal. Interaksi P3K1 kembali menghasilkan mortalitas tertinggi (10,50 ekor) pada minggu keempat, menunjukkan konsistensi pola sinergi antara dosis tinggi dengan media tipis.

3.5 Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* pada Minggu Kelima dan Keenam

Pada pengamatan minggu kelima (M5), terjadi perubahan dinamika statistik yang sangat menarik. Faktor dosis tetap sangat nyata dengan F-Hitung yang melonjak drastis menjadi 87,04, namun faktor ketebalan tankos (F-Hitung = 1,19) dan interaksi P×K (F-Hitung = 0,97) menunjukkan hasil tidak nyata. Pada minggu keenam (M6), tren ini semakin menguat dengan FHitung dosis mencapai 161,90, sementara ketebalan tankos (F-Hitung = 2,99) dan interaksi (FHitung = 0,64) tetap tidak nyata.

Tabel 3. Rekapitulasi Rataan Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* terhadap Perlakuan Dosis *Metarhizium anisopliae* Selama Enam Minggu Pengamatan

Perlakuan	M2	M3	M4	M5	M6
P0	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 b	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c	0,00 ± 0,00 c
P1	1,50 ± 1,09 ab	3,75 ± 1,82 a	5,50 ± 1,73 b	8,00 ± 1,86 b	9,08 ± 2,07 b
P2	1,00 ± 0,85 b	3,33 ± 1,56 a	6,83 ± 2,44 a	9,25 ± 3,08 b	9,92 ± 2,31 b
P3	2,08 ± 2,11 a	4,42 ± 3,15 a	6,92 ± 2,84 a	11,42 ± 1,31 a	13,00 ± 0,74 a

Keterangan: M = minggu ke-; nilai disajikan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD). Angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf 5%. P0 = kontrol; P1 = 60 g *M. anisopliae*; P2 = 80 g *M. anisopliae*; P3 = 100 g *M. anisopliae*.

Hilangnya pengaruh nyata faktor ketebalan tankos dan interaksi antara dosis *Metarhizium anisopliae* dengan ketebalan tankos pada minggu kelima dan keenam menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan media tidak lagi menghasilkan perbedaan mortalitas yang signifikan pada tahap akhir pengamatan. Pada kondisi tersebut, faktor dosis *M. anisopliae* memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap mortalitas larva dibandingkan dengan perbedaan ketebalan tankos. Hasibuan et al. (2024) menjelaskan bahwa setelah infeksi *M. anisopliae* berkembang di dalam tubuh inang, lingkungan eksternal terutama berperan dalam mendukung perkembangan dan sporulasi jamur. Rismawanto et al. (2022) menambahkan bahwa larva yang terpapar dosis optimal *M. anisopliae* dapat mengalami perkembangan infeksi yang semakin parah akibat aktivitas senyawa metabolit, termasuk destruxin, yang mengganggu fungsi fisiologis serangga. Dengan demikian, pada minggu kelima dan keenam, perbedaan mortalitas yang terlihat pada Tabel 3 lebih berkaitan dengan perbedaan dosis *M. anisopliae* dibandingkan dengan perbedaan ketebalan tankos.

Pola mortalitas kumulatif pada Tabel 3 menunjukkan peningkatan secara bertahap dari minggu kedua hingga minggu keenam. Perlakuan P3 (100 g *M. anisopliae*) menunjukkan rata-rata mortalitas sebesar 2,08 ± 2,11 ekor pada minggu kedua, meningkat menjadi 4,42 ± 3,15 ekor pada minggu ketiga, 6,92 ± 2,84 ekor pada minggu keempat, 11,42 ± 1,31 ekor pada minggu kelima, dan mencapai 13,00 ± 0,74 ekor pada minggu keenam. Nilai tersebut setara dengan

86,67% dari 15 larva yang digunakan pada setiap satuan percobaan. Peningkatan mortalitas tersebut menunjukkan bahwa *M. anisopliae* memerlukan waktu untuk menginfeksi dan berkembang di dalam tubuh larva sebelum menyebabkan kematian. Sukra et al. (2021) menyatakan bahwa periode setelah aplikasi *M. anisopliae* berkaitan dengan proses perkembangan infeksi jamur pada tubuh larva hingga menyebabkan kerusakan jaringan dan organ inang. Hal ini sesuai dengan penelitian Magfira et al. (2022) yang melaporkan bahwa mortalitas larva *Oryctes rhinoceros* akibat aplikasi *M. anisopliae* dapat mencapai 100% pada hari ke-30 pengamatan di laboratorium. Hasil tersebut memperkuat bahwa mortalitas larva akibat *M. anisopliae* dapat meningkat seiring dengan bertambahnya waktu setelah aplikasi.

Mortalitas pada perlakuan kontrol (P0) pada Tabel 3 secara konsisten menunjukkan nilai $0,00 \pm 0,00$ ekor dari minggu kedua hingga minggu keenam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa selama periode pengamatan tidak ditemukan mortalitas pada larva yang tidak diberikan *M. anisopliae*. Hasil ini mendukung bahwa perbedaan mortalitas yang diamati pada perlakuan P1, P2, dan P3 berkaitan dengan pemberian *M. anisopliae*, meskipun faktor lain yang tidak diukur dalam penelitian tidak dapat sepenuhnya dikesampingkan. Temuan ini selaras dengan penelitian Novianti et al. (2021) yang juga melaporkan mortalitas 0% pada perlakuan kontrol tanpa aplikasi jamur dalam media tankos.

3.6 Pengaruh Interaksi Dosis *Metarhizium anisopliae* dan Ketebalan Tankos

Tabel 4. Rataan Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* terhadap Interaksi Perlakuan Dosis *M. anisopliae* dan Ketebalan Tankos pada Minggu Keenam (Kumulatif)

Perlakuan	K1 (1 lapis)	K2 (2 lapis)	K3 (3 lapis)
P0 (Kontrol)	0,00 e	0,00 e	0,00 e
P1 (60 g)	7,75 d	9,50 c	10,00 bc
P2 (80 g)	8,75 cd	10,00 bc	11,00 b
P3 (100 g)	12,75 a	12,75 a	13,50 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf berbeda berbeda nyata menurut DMRT taraf 5%

Tabel 4 menunjukkan bahwa interaksi P3K3 menghasilkan rata-rata mortalitas kumulatif tertinggi sebesar 13,50 ekor yang setara dengan persentase mortalitas 90%. Nilai ini merupakan yang tertinggi di antara seluruh kombinasi perlakuan yang diuji. Meskipun secara statistik P3K3 tidak berbeda nyata dengan P3K1 dan P3K2, ketiga kombinasi pada dosis P3 ini secara konsisten berbeda nyata dengan seluruh kombinasi perlakuan pada dosis yang lebih rendah (P0, P1, P2). Temuan ini memiliki implikasi praktis yang penting karena menunjukkan bahwa pada dosis 100 g, variasi ketebalan tankos tidak lagi menghasilkan perbedaan mortalitas yang signifikan, sehingga dapat dipilih ketebalan yang paling efisien secara biaya.

Perlakuan P3K3 direkomendasikan sebagai kombinasi terbaik berdasarkan pertimbangan biologi dan agronomi. Pada media tankos tiga lapis (30 cm), kelembaban di dalam substrat organik lebih terjaga, terutama pada musim kemarau, sehingga viabilitas spora *Metarhizium anisopliae* dapat dipertahankan lebih lama. Chowdhury et al. (2025) menjelaskan bahwa spora *Metarhizium anisopliae* membutuhkan kelembaban relatif di atas 90% untuk berkecambah dan melakukan penetrasi kutikula. Media tebal berperan sebagai penyangga termal (thermal buffer) yang meredam fluktuasi suhu harian di permukaan tanah, menjaga suhu media dalam rentang optimal (25-30°C) bagi pertumbuhan jamur (Chowdhury et al., 2025). Hal ini sejalan dengan penelitian Fauzana dan Fadilla (2022) yang menyatakan bahwa keberhasilan pengendalian

menggunakan *Metarhizium anisopliae* pada media organik seperti tankos sangat bergantung pada akumulasi inokulum yang stabil dan konsistensi kelembaban substrat.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa mortalitas 90% yang dicapai dalam penelitian ini melampaui temuan Fauzana dan Fadilla (2022) yang melaporkan mortalitas 56% dengan dosis 50 g *Metarhizium anisopliae* pada media tankos. Hasibuan et al. (2024) melaporkan mortalitas hingga 91% pada dosis 25 g media jagung menggunakan isolat yang berbeda, namun dengan media kompos yang lebih diperkaya nutrisi. Magfira et al. (2022) berhasil mencapai mortalitas 100% pada hari ke-30 di kondisi laboratorium yang lebih terkendali. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan kondisi lapangan seperti fluktuasi suhu dan kelembaban, serta karakteristik fisik media yang digunakan. Nasution et al. (2021) menyatakan bahwa cendawan entomopatogen dapat dikatakan efektif apabila agens tersebut mampu menyebabkan kematian serangga uji mencapai 60-100%, sehingga capaian 90% dalam penelitian ini memenuhi kriteria keefektifan tersebut.

3.7 Waktu Lethal 50 (LT-50)

Analisis LT50 menggunakan analisis probit bioassay dengan perangkat lunak Python menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mematikan 50% populasi larva *Oryctes rhinoceros* bervariasi antar kombinasi perlakuan. Hasil visualisasi contour plot menunjukkan bahwa nilai LT50 terendah sekitar 2,8 minggu terdapat pada kombinasi dosis maksimal 100 g (P3) dengan ketebalan media minimal 1 lapis (K1), sedangkan nilai LT50 tertinggi sekitar 5,6 minggu terdapat pada kombinasi dosis 60 g (P1) dengan ketebalan media 1 lapis (K1). Menurut Simbolon (2023), semakin rendah nilai LT50, semakin cepat agens hayati dalam mencapai tingkat mortalitas 50% pada serangga target. Dengan demikian, perbedaan nilai LT50 pada penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan kecepatan respons larva terhadap kombinasi dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan media yang diberikan.

Nilai LT50 yang lebih rendah pada kombinasi P3K1 dibandingkan dengan kombinasi lainnya berkaitan dengan pemberian dosis *M. anisopliae* yang lebih tinggi pada media dengan ketebalan lebih rendah. Kondisi tersebut memungkinkan konidia lebih mudah berada pada area yang berdekatan dengan larva sehingga peluang terjadinya kontak antara konidia dan kutikula larva menjadi lebih besar. Kontak tersebut selanjutnya dapat mendukung proses adhesi, germinasi, dan penetrasi konidia ke dalam integumen serangga. Rosanti et al. (2021) menjelaskan bahwa keberhasilan infeksi *M. anisopliae* berkaitan dengan kemampuan konidia melakukan adhesi, perkecambahan, dan penetrasi pada kutikula serangga. Sebaliknya, pada media yang lebih tebal seperti K3, proses kontak awal antara larva dan konidia dapat berlangsung lebih lambat meskipun pada akhir pengamatan mortalitas yang dihasilkan tetap tinggi. Turnip et al. (2023) menyatakan bahwa waktu LT50 yang lebih panjang dapat memberikan kesempatan bagi larva untuk mengalami pergantian kulit sehingga konidia yang belum berhasil melakukan penetrasi berpotensi terlepas dan mengurangi peluang terjadinya infeksi.

Perbedaan nilai LT50 tersebut menunjukkan bahwa kecepatan mencapai mortalitas 50% tidak selalu menunjukkan tingkat mortalitas akhir yang sama. Kombinasi P3K1 memiliki LT50 sekitar 2,8 minggu sehingga menunjukkan waktu pencapaian mortalitas 50% yang lebih cepat. Sementara itu, tingkat mortalitas pada akhir pengamatan perlu dilihat berdasarkan hasil mortalitas minggu keenam pada masing-masing perlakuan. Kondisi media juga dapat berperan dalam mempertahankan lingkungan yang mendukung perkembangan jamur entomopatogen. Syamsulhadi et al. (2023) menyatakan bahwa stabilitas mikroiklim pada media organik, khususnya kelembaban, penting bagi keberlangsungan viabilitas dan aktivitas konidia jamur entomopatogen. Oleh karena itu, hasil LT50 dalam penelitian ini perlu dipahami bersama dengan mortalitas akhir dan kondisi media, karena LT50 menggambarkan kecepatan pencapaian

mortalitas 50%, sedangkan mortalitas akhir menggambarkan tingkat kematian larva pada akhir periode pengamatan.

3.8 Analisis Biaya

Analisis biaya dilakukan untuk membandingkan biaya penggunaan *Metarhizium anisopliae* dengan mortalitas larva *Oryctes rhinoceros* yang dihasilkan pada masing-masing dosis. Harga *Metarhizium anisopliae* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rp19.000/kg atau setara dengan Rp19/gram. Berdasarkan perhitungan, total biaya *Metarhizium anisopliae* untuk dosis P1 (60 g) selama penelitian adalah Rp13.680, dosis P2 (80 g) sebesar Rp18.240, dan dosis P3 (100 g) sebesar Rp22.800 untuk seluruh satuan percobaan yang mengandung dosis aktif (3 kombinasi × 4 ulangan). Total biaya bahan penelitian mencapai Rp537.000 dan biaya alat Rp1.455.000, sehingga total keseluruhan Rp1.992.000 yang jika dibagi 48 satuan percobaan setara dengan Rp41.500 per plot.

Tabel 5. Perbandingan Biaya dan Mortalitas Larva *Oryctes rhinoceros* Berdasarkan Dosis *Metarhizium anisopliae*

Dosis (g)	Biaya/Satuan Percobaan (Rp)	Mortalitas M6 (%)	Efisiensi Biaya/1% Mortalitas (Rp)
60 (P1)	1.140	60,56	18,8
80 (P2)	1.520	66,11	22,9
100 (P3)	1.900	86,67	21,9

Keterangan: Efisiensi biaya dihitung sebagai biaya *Metarhizium anisopliae* per persen mortalitas yang dicapai pada minggu keenam.

Berdasarkan Tabel 5, terdapat perbedaan efisiensi biaya pada masing-masing dosis *Metarhizium anisopliae*. Perlakuan P1 (60 g) memiliki nilai biaya per 1% mortalitas paling rendah, yaitu Rp18,8, diikuti oleh P3 (100 g) sebesar Rp21,9, sedangkan P2 (80 g) memiliki nilai tertinggi sebesar Rp22,9. Berdasarkan indikator biaya per 1% mortalitas tersebut, P1 merupakan perlakuan yang paling efisien secara biaya, karena membutuhkan biaya paling rendah untuk menghasilkan setiap 1% mortalitas. Sementara itu, P3 menghasilkan mortalitas tertinggi pada minggu keenam, yaitu 86,67%, dibandingkan dengan P1 sebesar 60,56% dan P2 sebesar 66,11%. Dengan demikian, P3 merupakan perlakuan yang paling efektif dalam menghasilkan mortalitas tinggi, sedangkan P1 merupakan perlakuan yang paling efisien berdasarkan biaya per 1% mortalitas.

Perbedaan antara efisiensi biaya dan tingkat mortalitas menunjukkan bahwa peningkatan dosis *M. anisopliae* tidak selalu menghasilkan biaya per 1% mortalitas yang lebih rendah. Pada P3, biaya per satuan percobaan lebih tinggi, yaitu Rp1.900, tetapi mortalitas yang dihasilkan juga lebih tinggi, yaitu 86,67%. Sebaliknya, P1 membutuhkan biaya lebih rendah, yaitu Rp1.140 per satuan percobaan, dengan mortalitas sebesar 60,56%. Oleh karena itu, pemilihan dosis perlu disesuaikan dengan tujuan pengendalian, yaitu apakah lebih mengutamakan efisiensi biaya atau pencapaian mortalitas yang lebih tinggi.

Dalam skala perusahaan perkebunan, penggunaan *Metarhizium anisopliae* dapat menjadi salah satu alternatif pengendalian larva *Oryctes rhinoceros*. Penggunaan agen hayati juga dapat dipertimbangkan dalam sistem pengendalian yang mengurangi ketergantungan terhadap insektisida kimia. Simarmata (2024) menyebutkan bahwa pengendalian menggunakan insektisida kimia seperti klorpirifos dapat berkaitan dengan risiko dampak negatif terhadap lingkungan dan ekosistem kebun. Selain itu, pemanfaatan tankos yang merupakan limbah pabrik

kelapa sawit sebagai media aplikasi dapat mendukung pemanfaatan bahan yang tersedia di lokasi penelitian. Listiyani (2025) menyebutkan bahwa efikasi pengendalian menggunakan biopestisida sangat bergantung pada kemampuan media pembawa dalam mempertahankan spora agar tetap aktif dalam jangka waktu yang lama di lapangan. Dalam penelitian ini, tankos digunakan sebagai media aplikasi *M. anisopliae*, sehingga pemanfaatannya juga mendukung penggunaan limbah perkebunan sebagai bagian dari pengendalian hayati.

4. KESIMPULAN

Berbagai dosis *Metarhizium anisopliae* (60, 80, dan 100 g) memberikan pengaruh terhadap mortalitas larva *Oryctes rhinoceros*. Pada minggu kedua hingga keempat, K1 menunjukkan mortalitas yang lebih tinggi pada beberapa kombinasi perlakuan, sedangkan pada akhir pengamatan kombinasi P3K3 (100 g *M. anisopliae* dengan ketebalan tankos 3 lapis) menghasilkan mortalitas tertinggi sebesar 90%. Hal ini menunjukkan adanya perubahan respons mortalitas terhadap ketebalan tankos selama periode pengamatan. Nilai LT50 tercepat sebesar 2,8 minggu diperoleh pada kombinasi P3K1, sedangkan berdasarkan analisis biaya, P1 (60 g) memiliki efisiensi biaya tertinggi dengan nilai Rp18,8 per 1% mortalitas. Dengan demikian, setiap parameter menunjukkan hasil yang berbeda, yaitu P3K3 menghasilkan mortalitas akhir tertinggi, P3K1 mencapai mortalitas 50% lebih cepat, dan P1 memiliki efisiensi biaya lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan potensi P3K3 sebagai kombinasi perlakuan yang dapat dipertimbangkan untuk pengujian lebih lanjut pada skala operasional perkebunan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Medan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT Bumihutani Lestari (Eagle High Plantation Tbk) atas izin dan fasilitas penelitian di lapangan

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik perkebunan Jilid I 2022–2024*. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Statistik tanaman perkebunan tahunan Indonesia* (Vol. 1). Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Bugti, G. A., Osman, A. J., Akber, M., Ahmed, B., Khuhro, S. N., Bux, M., & Hussain, M. (2024). Entomopathogenic fungi as effective biocontrol agents against various stored-grain and field-crop insect pests. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1328565. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1328565>
- Chowdhury, S., Devi, D. L., Kumar, N., Sharma, A., & Chandi, A. K. (2025). Advances in pest control in agriculture and food processing. In *Integrated pest management* (pp. 50–67). CRC Press.
- Fauzana, H., & Fadilla, M. (2022). Uji peningkatan konsentrasi *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) pada media kompos dalam mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros* L. *Jurnal Agroteknologi*, 12(2), 65–72.
- Fauzana, H., Rustam, R., Salbiah, D., & Aritonang, P. (2023). Kesesuaian bahan organik kompos sebagai tempat hidup larva kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros* Linnaeus) pada lahan sawit. *Jurnal Proteksi Tanaman*, 7(1), 11–21. <http://jpt.faperta.unand.ac.id/index.php/jpt>

- Fitri, A., Rani, R., Nurhayati, Azis, S. L. P., Imrawaty, N., Anis, M., Simanjuntak, D. N., Hutagaol, K., & Anugrah, N. E. (2023). Dasar-dasar statistika untuk penelitian. Yayasan Kita Menulis.
- Gunawan, M., Tarmadja, S., & Wilisiani, F. (2023). Pengelolaan hama *Oryctes rhinoceros* di perkebunan kelapa sawit Kebun Aek Nabara, PT Supra Matra Abadi. *Agroforetech*, 1, 959–964.
- Hasibuan, P. H., Wahyuni, S. H., & Friska, M. (2024). Potensi *Metarhizium anisopliae* dalam menurunkan populasi larva kumbang badak (*Oryctes rhinoceros* L.) pada tanaman kelapa sawit. *Jurnal Agro-Livestock*, 2(2), 94–100. <https://doi.org/10.65474/4atjqb69>
- Hidayat, I. (2022). Aplikasi jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* dan *Beauveria bassiana* dalam mengendalikan hama jagung *Spodoptera frugiperda* skala laboratorium [Skripsi, Universitas Medan Area].
- Ilmi, I., Susanti, E., & Prayogo, Y. (2022). Pengaruh beberapa formulasi *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 22(1), 10–18. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.12210-18>
- Jaya, A. I. (2025). Uji viabilitas cendawan *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin pada berbagai media perbanyakan. *Jagad Tani: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(2), 238–245. <https://journal.aksarakita.id/index.php/jt/>
- Lapinangga, J., Lopez, Y. F., Bunga, J. A., & Mateus, R. (2025). Dinamika gejala infeksi awal dan penurunan viabilitas formulasi kering *Metarhizium anisopliae* selama penyimpanan tropis. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 13(2), 213–224. <https://doi.org/10.36084/jpt.v10i2.381>
- Listiyani, E. D. (2025). Penerapan biopestisida nabati untuk pertanian ramah lingkungan dalam meningkatkan hasil dan keseimbangan ekosistem. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 32(1), 64–74. <https://doi.org/10.55259/jiip.v32i1.301>
- Magfira, A. A., Himawan, A., & Tarmadja, S. (2022). Aplikasi jamur *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* untuk pengendalian hama kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*). *Agroista: Jurnal Agroteknologi*, 6(1), 61–69. <https://doi.org/10.55180/agi.v6i1.228>
- Nasution, L., Cemda, A. R., Isnaini, S., Afrillah, M., & Filsa, P. (2021). Pemanfaatan jamur *Metarhizium anisopliae* berasal dari isolat *Brontispa longissima* mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros* secara in vitro. *Jurnal Agrica Ekstensia*, 15(2), 132–141. <https://doi.org/10.55127/ae.v15i2.101>
- Novianti, R., Fauzana, H., & Rustam, R. (2021). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* Vuill in compost media for *Oryctes rhinoceros* L. oil palm pest control. *Cropsaver*, 2021(1), 1–9.
- Nuraisyah, A., Nurfiana, Y., Anggraeni, D. A., Wardati, I., & Salim, A. (2025). Perbandingan efektivitas *Metarhizium* sp. dan biopestisida tandan kosong kelapa sawit dalam mengatasi masalah hama uret di Desa Grati Lumajang. *Tabela: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.56211/tabela.v3i1.711>
- Prasetyio, H. (2023). Pemberian kompos kulit buah durian dan pupuk fosfor pada respons pertumbuhan dan produksi sawi caisim (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 3(5), 537–546.
- Pusat Pengkajian Kelapa Sawit. (2006). Hama dan penyakit kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Rismawanto, R., Dustam, R., & Salbiah, D. (2022). Uji beberapa konsentrasi ekstrak tepung akar tuba (*Derris elliptica* Benth.) untuk mengendalikan hama penggerek tongkol jagung *Helicoverpa armigera* Hubn. *Jurnal Dinamika Pertanian*, 38, 145–154.
- Rosanti, D., Yulianti, T., & Mariana, M. (2021). Pengaruh kelembaban dan suhu terhadap perkembangan jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* pada berbagai formulasi. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 4(3), 221–228.

- Simarmata, N. (2024). Perkembangan dan virulensi *Metarhizium anisopliae* pada beberapa media cair terhadap larva kumbang tanduk *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae) [Skripsi, Universitas Medan Area]. Digital Repository Universitas Medan Area. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/24228>
- Simbolon, Z. (2023). Efikasi jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* terhadap hama penggerek batang padi putih (*Scirpophaga innotata*) secara in vitro [Skripsi, Universitas Medan Area]. Digital Repository Universitas Medan Area. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/21921>
- Sukra, A. (2021). Uji efektivitas jamur entomopatogen terhadap larva penggerek batang kelapa sawit (*Oryctes rhinoceros* L.) di laboratorium. *Jurnal Riset Perkebunan*, 2(2), 69–75. <https://doi.org/10.25077/jrp.2.2.69-75.2021>
- Syamsulhadi, M., Ramadhan, V. T., & Widjayanti, T. (2023). Pertumbuhan jamur *Beauveria bassiana* pada beberapa tingkat keasaman media dan suhu penyimpanan serta efektivitasnya terhadap hama *Spodoptera litura*. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 11(1), 28–41. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2023.011.1.4>
- Turnip, M., Muis, A., & Quimio, A. (2023). Efficacy of entomopathogenic fungi against larval stages of *Oryctes rhinoceros* (Coleoptera: Scarabaeidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(1), 245–252. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00795-w>
- Umaru, F. F., & Simarani, K. (2022). Efficacy of entomopathogenic fungal formulations against *Elasmolomus pallens* (Dallas) (Hemiptera: Rhyparochromidae) and their extracellular enzymatic activities. *Toxins*, 14(9), 584. <https://doi.org/10.3390/toxins14090584>
- Wong, A. J., Hidrayani, Hamid, H., Ikhsan, J., & Oktavia, A. (2022). Populasi dan tingkat serangan kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros* L.) pada pertanaman kelapa sawit di PT Cakra Alam Sejati, Provinsi Riau. *Jurnal Riset Perkebunan*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.25077/jrp.3.1.1-11.2022>
- Yin, H., Zhao, X., Chen, X., & Fang, W. (2023). Recent advances in *Metarhizium anisopliae* as a biological control agent: Virulence mechanisms and applications. *Journal of Fungi*, 9(1), 104. <https://doi.org/10.3390/jof9010104>