

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Landasan Teori

#### 2.1.1. Tanaman Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) berasal dari Nigeria di Afrika Barat. Namun, beberapa pihak berpendapat bahwa tanaman ini berasal dari Amerika Selatan, khususnya Brazil, karena spesiesnya lebih banyak ditemukan di hutan-hutan Brazil dibandingkan di Afrika. Prakteknya, kelapa sawit tumbuh dengan baik di negara-negara di luar wilayah asalnya, seperti Malaysia, Indonesia, Thailand, dan Papua Nugini. Tanaman ini memiliki peran krusial dalam pengembangan perkebunan nasional. Kelapa sawit meningkatkan kesejahteraan sosial dan peluang kerja, dan menjadi salah satu sumber pendapatan devisa utama negara (Fauzi dkk, 2012 *dalam* Armando, 2025).

Pengelolaan kelapa sawit perlu dimaksimalkan guna mencapai produksi yang tinggi, mengingat kontribusinya yang signifikan terhadap pendapatan petani dan devisa negara, yang pada akhirnya mendorong pertumbuhan ekonomi di tingkat regional dan nasional. Dua jenis kelapa sawit yang paling umum dibudidayakan adalah *Elaeis guineensis* Jacq. dan *Elaeis oleifera*. Yang pertama dipilih karena produksinya yang lebih tinggi, sementara yang kedua dikenal karena ketinggian tanaman yang lebih rendah. Meskipun Indonesia memiliki sumber genetika kelapa sawit yang berasal dari penanaman awal di Kebun Raya Bogor, keterbatasan varietas yang ada menyebabkan hasil produksi tanaman tersebut kurang maksimal. Setiap varietas yang dikembangkan dalam industri perkebunan kelapa sawit memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing (Sayekti dkk, 2015 *dalam* Rahmawati, 2023)

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.), sebuah tanaman tahunan dari keluarga Palmae, berkembang subur di daerah tropis. Tanaman ini tumbuh optimal pada suhu berkisar 29°C hingga 30°C. Kondisi curah hujan ideal yang dibutuhkan adalah antara 2000 hingga 2500 mm per tahun, dengan distribusi yang merata tanpa adanya periode bulan kering yang berkepanjangan.

Menurut Adi, (2020) klasifikasi tanaman kelapa sawit sebagai berikut:

Divisi : *Spermatopyta*  
Sub Divisi : *Angiospermae*  
Kelas : *Dicotyledonae*  
Famili : *Palmaceae*  
Subfamili : *Cocoideae*  
Genus : *Elaeis*  
Spesies : *Elaeis guineensis* Jacq.

Adapun morfologi tanaman kelapa sawit:

### **1. Akar**

Sebagai tanaman monokotil, kelapa sawit memiliki sistem akar serabut yang kuat untuk menopang batang, menyerap air dan hara, dan melakukan proses respirasi lainnya. Struktur perakaran yang kuat ini terdiri dari percabangan akar primer, sekunder, tersier, dan kuarter. Akar primer tumbuh vertikal ke dalam tanah hingga mencapai batas muka air tanah, sementara akar sekunder, tersier, dan kuarter berkembang secara horizontal sejajar permukaan air tanah. Akar tersier dan kuarter cenderung tumbuh ke atas menuju lapisan tanah yang kaya akan hara. Selain itu, tanaman ini memiliki akar napas di permukaannya. Secara umum, massa akar terkonsentrasi pada lapisan tanah atas, terutama pada jarak 2–2,5 meter dari pangkal batang dan dominan berada di luar area piringan (*circle*) (Pujokusumo 2017 dalam Nira, 2024).

### **2. Batang**

Karakteristik anatomis batang kelapa sawit dicirikan oleh sifat monokotilnya, yaitu tidak memiliki kambium serta umumnya tumbuh lurus tanpa percabangan. Perkembangan awal pascafase muda berfokus pada ekspansi lateral (pelebaran diameter) batang tanpa disertai pemanjangan ruas (*internodia*). Secara fisiologis, batang berfungsi sebagai penopang struktural bagi tajuk tanaman yang meliputi daun, bunga, dan buah. Batang juga merupakan bagian penting dari sistem vaskular tanaman, yang mengangkut air, bahan hara, dan produk fotosintesis ke seluruh tanaman. Di bawah kondisi lingkungan yang mendukung, laju pertumbuhan vertikal tanaman ini dapat bertambah secara optimal berkisar 35–75 cm per tahun. Laju pemanjangan batang tahunan ini menjadi indikator krusial dalam menentukan masa produktif perkebunan; semakin lambat pertambahan tinggi batang, maka umur ekonomis kelapa sawit menjadi lebih panjang (Banowati dkk., 2024).

### 3. Daun

Daun merupakan organ utama dalam proses fotosintesis yang berfungsi sebagai pusat konversi energi dan sintesis asimilat bagi tanaman. Karakteristik morfologi, kuantitas, dan arsitektur tajuk daun sangat menentukan efisiensi intersepsi radiasi matahari. Secara botani, kelapa sawit memiliki daun majemuk menyirip genap (*pinnatus*) dengan pertulangan daun sejajar (*paralelinervis*). Setiap unit daun didukung oleh pelepah (*petiolus*) yang panjangnya dapat mencapai sekitar 9 meter, dengan densitas anak daun berkisar antara 250 hingga 300 helai per pelepah tergantung pada varietasnya. Pada fase awal perkembangan, daun muda (kuncup) yang masih terprefoliiasi memiliki warna kuning pucat. Pelepah daun (filotaksis) duduk pada batang yang tersusun rapat, menciptakan pola spiral yang melingkari batang utama. Kanopi kelapa sawit dewasa biasanya memiliki empat puluh hingga lima puluh pelepah aktif dalam kondisi fisiologis terbaik. Kecepatan plastokron, atau pembentukan pelepah baru, berkisar antara 30 hingga 40 pelepah per tahun pada tanaman muda berumur 5 hingga 6 tahun, sedangkan pada tanaman tua menurun hingga 20 hingga 25 pelepah per tahun. Dalam hal pemuliaan dan kerapatan tanam, pelepah yang lebih pendek atau compact memungkinkan peningkatan densitas populasi per satuan luas, atau densitas tanam, yang secara linier berkontribusi pada peningkatan produktivitas hasil per hektare (Banowati dkk., 2024).

### 4. Bunga

Kelapa sawit dikategorikan sebagai tanaman berumah satu atau *monoecious*, di mana struktur bunga jantan dan betina berkembang secara terpisah pada pohon yang sama. Rangkaian bunganya terpisah, tetapi fenomena bunga hermafrodit, di mana bunga jantan dan betina berada dalam satu tandan, masih sering ditemukan di lapangan. Sifat morfologi ini menyebabkan kelapa sawit umumnya melakukan penyerbukan silang (*cross-pollination*). Setiap bunga majemuk (*infloresen*) muncul secara soliter dari ketiak daun. Namun, tidak semua ketiak daun akan menghasilkan tandan buah; hal ini disebabkan karena beberapa bakal *infloresen* kerap mengalami keguguran (*abortion*) pada fase awal perkembangannya (Marcelian, 2023).

## 5. Buah

Secara morfologis, buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dikategorikan sebagai buah batu (*drupa*) yang tersusun atas tiga lapisan utama. Lapisan tersebut meliputi eksokarpium (*epicarpium*) sebagai kulit luar, mesokarpium (*mesocarpium*) atau daging buah yang menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO), serta endokarpium (*endocarpium*) atau cangkang yang melindungi inti (*kernel*). Bagian inti inilah yang menjadi sumber pengeksploasian *Palm Kernel Oil* (PKO). Proses fisiologis pembentukan buah dari fase penyerbukan hingga matang fisiologis memerlukan waktu sekitar 6 bulan, dengan produktivitas mencapai lebih dari 2.000 briket buah per tandan. Di sisi lain, proses ekstraksi minyak nabati ini menghasilkan limbah sampingan berupa cangkang kelapa sawit dengan volume yang masif, yakni mencapai 60% dari total produksi minyak. Menurut Kurniati (2008), tempurung tersebut memiliki potensi ekonomi tinggi untuk dikonversi menjadi arang aktif melalui metode karbonisasi pada suhu 180°C hingga 550°C selama kurang lebih tiga jam. Produk arang aktif yang dihasilkan menunjukkan aktivitas porositas yang tinggi dengan daya serap iodin mencapai 28,9%, serta karakteristik mutunya telah memenuhi Standar Industri Indonesia (SII), dengan pengecualian pada parameter kadar abu (Banowati dkk., 2024).

### 2.1.2. Syarat Tumbuh

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) adalah tanaman perkebunan yang sangat tahan terhadap perubahan lingkungan. Namun, untuk menghasilkan pertumbuhan yang sehat dan jagur serta produksi yang tinggi, diperlukan kondisi lingkungan tertentu, yang dikenal sebagai syarat tumbuh kelapa sawit. Faktor lingkungan utama yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman kelapa sawit adalah kondisi alam, tanah, dan bentuk wilayah. Faktor lain termasuk bahan tanam (genetis) dan perawatan kultur teknis yang diberikan.

Kelapa sawit paling baik tumbuh di dataran rendah dengan iklim tropis basah, terutama di sepanjang garis khatulistiwa antara 23,5° LU dan 23,5° LS. Syarat pertumbuhannya termasuk curah hujan sekitar 2.000 mm per tahun yang tersebar merata sepanjang tahun, suhu rata-rata minimum 22°-24°C, suhu rata-rata maksimum 29°-33°C, dan minimal 5 jam sinar matahari setiap hari. Diharapkan bahwa tidak ada bulan yang kering (curah hujan di bawah 60 mm per bulan), dengan

distribusi curah hujan yang sangat rata dan variasi yang kecil antar bulan. Untuk perkebunan kelapa sawit, curah hujan tahunan yang ideal adalah antara 1.700 dan 3.000 mm, tanpa bulan kering, dan dengan distribusi yang cukup merata. Curah hujan tinggi (lebih dari 3.000 mm per tahun) dapat memenuhi kebutuhan udara tanaman tetapi berisiko menyebabkan banjir dan pencucian barang hara. Sebaliknya, curah hujan yang rendah atau menurun secara signifikan akan mengurangi ketersediaan udara yang diperlukan tanaman (Siregar, 2006 *dalam* Alfajar dkk., 2023).

### **2.1.3. Tandan Kosong Kelapa Sawit**

Limbah padat utama yang dihasilkan dari proses pengolahan di pabrik kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Jumlah TKKS sebanding dengan jumlah tandan buah segar (TBS) yang diproses. Limbah ini menjadi salah satu limbah pokok pabrik karena memiliki volume yang sangat besar, yaitu menyumbang sekitar 22-23% dari berat TBS yang diolah, atau setara dengan produksi 220-223 kg TKKS untuk setiap ton TBS yang diproses (Fauzana dkk., 2023).

Aplikasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) secara langsung ke lahan budidaya membawa dampak negatif yaitu tumpukan limbah organik tersebut akan berfungsi sebagai media perkembangbiakan yang ideal bagi hama utama, yaitu kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*). Tumpukan TKKS ini menyediakan tempat yang sempurna bagi kumbang dewasa untuk bertelur dan menjadi lingkungan hidup yang kaya nutrisi bagi larva yang menetas. Oleh karena itu, ditekankan pentingnya mengaplikasikan TKKS dengan metode yang tepat dan terukur guna mencegah dan meminimalisir potensi limbah ini menjadi sarang perkembangbiakan, sehingga kehadiran hama kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) dapat dikendalikan (Handoko dkk, 2017 *dalam* Fauzana dkk., 2023).

Secara komposisi kimia, TKKS tergolong bahan organik berlignoselulosa dengan kandungan abu sekitar 1,23%, selulosa sekitar 45,95%, hemiselulosa sekitar 22,84%, dan lignin sekitar 16,49% (Sirait dkk., 2025). Struktur fisik TKKS yang berserat kasar dan berongga inilah yang memberikan kemampuan tinggi dalam menyimpan air, sehingga sering disebut sebagai bahan organik yang bersifat higroskopis. Sifat ini menjadi salah satu alasan mengapa TKKS dipilih sebagai

media dalam penelitian, sebab kemampuan menahan air berkaitan langsung dengan kebutuhan kelembaban tinggi yang diperlukan oleh konidia *Metarhizium anisopliae* untuk berkecambah.

Dari segi kandungan unsur hara, hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap ton TKKS mengandung unsur hara makro berupa 1,5% nitrogen (N), 0,5% fosfor (P), 7,3% kalium (K), dan 0,9% magnesium (Mg) (Wirayuda dkk., 2022). Selain itu, penelitian terbaru yang menganalisis sifat kimia dan fisik TKKS sebagai media tanam menunjukkan kandungan C-organik sebesar 28,47%, N-total 1,52%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sebesar 1,49%, dan K<sub>2</sub>O sebesar 10,90%, yang menunjukkan bahwa TKKS sangat potensial dalam mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan tanaman (Sirait dkk., 2025). Tingginya kandungan unsur hara dan bahan organik ini secara tidak langsung juga menjadikan TKKS sebagai substrat yang kaya nutrisi, baik bagi pertumbuhan tanaman maupun bagi mikroorganisme yang berkembang di dalamnya, termasuk jamur entomopatogen seperti *Metarhizium anisopliae*.

Aplikasi TKKS secara langsung ke lahan budidaya kelapa sawit membawa konsekuensi ekologis berupa terciptanya mikrohabitat yang ideal bagi perkembangbiakan *Oryctes rhinoceros*. Tumpukan TKKS yang mengalami proses dekomposisi menghasilkan kondisi lembab dan kaya bahan organik yang menjadi tempat ideal bagi kumbang dewasa untuk meletakkan telur (oviposisi) dan bagi larva untuk tumbuh dan berkembang (Fauzana dkk., 2023). Fenomena ini menimbulkan dilema klasik dalam pengelolaan limbah perkebunan kelapa sawit, yaitu di satu sisi TKKS bermanfaat sebagai sumber bahan organik dan unsur hara, namun di sisi lain berpotensi meningkatkan populasi hama jika tidak dikelola dengan tepat.

Berdasarkan hal tersebut, pemanfaatan TKKS sebagai media aplikasi *Metarhizium anisopliae* dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai strategi cerdas dalam mengubah potensi sumber masalah menjadi solusi pengendalian. Larva *Oryctes rhinoceros* yang secara alami tertarik pada media TKKS sebagai habitatnya justru menjadi target langsung dari agens hayati yang diaplikasikan pada media yang sama. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengendalian hama terpadu yang menekankan pemanfaatan karakteristik ekologi hama untuk meningkatkan efektivitas pengendalian (Gunawan, 2023).

Ketebalan media TKKS berperan penting dalam menentukan stabilitas iklim mikro, khususnya suhu dan kelembaban, yang merupakan faktor kunci bagi keberhasilan infeksi *Metarhizium anisopliae*. Struktur fisik TKKS yang berserat dan berongga memungkinkan media ini berfungsi sebagai penyangga termal (*thermal buffer*) sekaligus reservoir kelembaban. Pada kondisi presipitasi rendah, sifat higroskopis TKKS memungkinkan media untuk meretensi sisa air, sehingga kelembaban mikro di dalam tumpukan tetap terjaga pada kisaran yang mendukung perkecambahan konidia (Aziz dkk., 2026).

Penelitian terkait pengaruh aplikasi tandan kosong terhadap perbaikan sifat fisik tanah berpasir juga menunjukkan bahwa pemberian TKKS secara nyata meningkatkan kadar air dan kadar lengas maksimum tanah, di samping menurunkan berat volume dan meningkatkan porositas (Ardani dkk., 2024). Hal ini memperkuat argumen bahwa media TKKS dengan ketebalan yang memadai dapat menciptakan lingkungan mikro yang konsisten secara fisik untuk menopang aktivitas biologis jamur entomopatogen dalam jangka waktu yang lebih lama.

Selain berfungsi menjaga kelembaban, struktur serat TKKS yang relatif padat pada ketebalan tertentu juga berperan sebagai barier mekanis yang melindungi konidia dari pencucian (*washing out*) akibat curah hujan tinggi. Anyaman serat organik pada media yang tebal dapat menjebak konidia secara fisik, sehingga inokulum tidak mudah hanyut dibawa aliran permukaan. Sebaliknya, media yang lebih tipis cenderung lebih cepat mengalami fluktuasi kelembaban dan lebih rentan terhadap pencucian spora oleh air hujan (Ginting dkk., 2024).

Selain berfungsi sebagai habitat dan pengatur iklim mikro, TKKS juga telah banyak dimanfaatkan sebagai media perbanyakan dan media pembawa (*carrier*) bagi jamur entomopatogen dalam berbagai penelitian. Media kompos TKKS (disebut metankos) sebagai substrat untuk menginfeksi larva *Oryctes rhinoceros* dengan berbagai konsentrasi *Metarhizium anisopliae*, dan terbukti dapat menghasilkan mortalitas larva yang signifikan (Fauzana & Fadilla, 2022).

Pemanfaatan limbah organik seperti TKKS sebagai media pembawa agens hayati memberikan keuntungan ganda, yaitu memberikan nilai tambah pada limbah yang sebelumnya berpotensi merugikan, sekaligus menyediakan substrat alami yang sesuai dengan habitat target hama sehingga meningkatkan efisiensi kontak

antara agens hayati dengan inangnya. Hal ini juga relevan dengan prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah perkebunan kelapa sawit, di mana limbah yang dihasilkan dari satu proses produksi dapat dimanfaatkan kembali untuk mendukung proses pengendalian hama secara berkelanjutan.

**Tabel 1. Kandungan Hara dan Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit**

| No | Jenis Analisis | Satuan | Hasil |
|----|----------------|--------|-------|
| 1  | C-organik      | %      | 28,47 |
| 2  | N-total        | %      | 1,52  |
| 3  | P2O5           | %      | 1,49  |
| 4  | K2O            | %      | 10,90 |
| 5  | CaO            | %      | 1,25  |
| 6  | MgO            | %      | 2,21  |
| 7  | Zn             | Ppm    | 351   |
| 8  | Cu             | Ppm    | 38    |
| 9  | Pb             | Ppm    | Td*)  |
| 10 | Kadar Air      | %      | 45,49 |
| 11 | Selulose       | %      | 45,95 |
| 12 | Hemiselulose   | %      | 22,84 |
| 13 | Lignin         | %      | 16,49 |
| 14 | Abu            | %      | 1,23  |
| 15 | Nitrogen       | %      | 0,53  |
| 16 | Minyak         | %      | 2,41  |

Keterangan: Td\*)= Tidak Terdeteksi

Sumber: Sirait, dkk (2025)

#### **2.1.4. Kumbang Tanduk (*Oryctes rhinoceros*)**

Meskipun sebelumnya lebih dikenal sebagai hama pada tanaman kelapa dan palem lainnya, kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) adalah hama utama yang menyerang perkebunan kelapa sawit. Serangan *Oryctes rhinoceros* menyebabkan kerugian pada perkebunan kelapa sawit. Hama menyerang titik tumbuh atau pucuk tanaman secara langsung, menyebabkan matinya pohon kelapa sawit. Sebaliknya, pelepah daun rusak, yang mengurangi proses fotosintesis dan akhirnya mengurangi hasil produksi. Ini adalah kerugian tidak langsung (Simarmata, 2024).

Kumbang ini memiliki ukuran 40-50 mm, dengan warna coklat gelap, dan terdapat tanduk kecil di bagian kepalanya. Betina memiliki bulu halus di ujung perut, sedangkan jantan tidak. Kumbang ini menggerogoti pelepah daun yang belum membuka mulai dari bagian pangkalnya, khususnya untuk tanaman muda yang berada di lahan peremajaan. Pada malam hari, kumbang dewasa sampai ke pucuk kelapa dan mulai menggerogoti pelepah daun yang belum membuka,



menyebabkan pelepah putus. Kerusakan pada tanaman baru tampak jelas setelah daun membuka, sekitar 1-2 bulan kemudian, berbentuk potongan segitiga seperti huruf "V". Serangan *Oryctes rhinoceros* dapat menurunkan produksi tandan buah segar hingga 60% dan kematian tanaman muda hingga 25% pada panen tahun pertama. Gejala ini adalah ciri utama serangan ini (PPKS, 1996 dalam Armando, 2025).

Menurut Zaini (1991) dalam Puput (2025) hama *Oryctes rhinoceros* diklasifikasikan sebagai berikut:

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| Kingdom | : <i>Animalia</i>              |
| Filum   | : <i>Anthropoda</i>            |
| Kelas   | : <i>Insecta</i>               |
| Ordo    | : <i>Coleoptera</i>            |
| Famili  | : <i>Scarabaeidae</i>          |
| Genus   | : <i>Oryctes</i>               |
| Spesies | : <i>Oryctes rhinoceros</i> L. |

#### **2.1.5. Siklus Hidup *Oryctes rhinoceros***

Siklus hidup *Oryctes rhinoceros* berbeda-beda tergantung pada tempat tinggalnya dan lingkungannya. Kondisi kering dan kekurangan makanan dapat menghentikan pertumbuhan larva, yang dapat bertahan hingga 14 bulan, membuat kumbang dewasa lebih kecil. Siklus hidup hama ini, dari telur hingga dewasa, biasanya memakan waktu 6-9 bulan, dan suhu ideal untuk perkembangan larva adalah 27°C (Susanto dkk, 2012 dalam (Armando, 2025)).

Menurut Lubis (2008) dalam Armando, (2025) kumbang ini merusak tanaman muda dan tua dengan membuat lubang di pangkal pelepah daun muda, terutama pada daun pupus. Semakin muda bibit yang digunakan, semakin mudah kumbang menembus ke dalamnya. Metamorfosis sempurna *Oryctes rhinoceros* terjadi dalam empat tahap: telur, larva, pupa, dan imago. Durasi proses ini bervariasi tergantung pada spesies dan lingkungannya. Metamorfosis *Oryctes rhinoceros* di Indonesia pada empat musim cenderung lebih cepat daripada spesies sejenis di negara lain dengan iklim tropis (Armando, 2025).

##### **1. Telur**

Tempat peletakan telur (*oviposition site*) *Oryctes rhinoceros* umumnya berada pada tumpukan cacahan batang maupun di antara tumpukan pelepah kelapa sawit yang telah mengalami pelapukan. Imago betina spesies ini memproduksi telur

dengan viabilitas tinggi berkisar antara 30 hingga 70 butir sepanjang masa hidupnya, dengan rata-rata produksi harian berkisar 49–61 butir. Setelah diletakkan pada media organik yang membusuk tersebut, telur *O. rhinoceros* akan melewati masa inkubasi dan menetas menjadi larva setelah kurang lebih 12 hari.(Trisno, 2021).

## 2. Larva



**Gambar 1. Larva *Oryctes rhinoceros***  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)*

Larva *Oryctes rhinoceros* yang baru menetas awalnya berwarna putih, kemudian berubah menjadi putih kekuningan saat mencapai stadia dewasa dengan bagian kaudal (ekor) berwarna agak gelap. Bagian belakang larva lebih besar daripada bagian depan, dan di area ekornya ada bulu pendek yang tumbuh lebih rapat. Larva memiliki tiga kaki dan kepala berwarna merah kecokelatan. Secara keseluruhan, stadia larva berlangsung selama 4 hingga 5 bulan (Setyamidjadja, 2006) dan terbagi ke dalam tiga tingkatan instar. Instar pertama berkembang selama 12–21 hari, instar kedua 12–21 hari, dan instar ketiga 60–165 hari. Pada fase akhir instar ketiga, larva dewasa akan membentuk karakteristik tubuh melengkung menyerupai huruf "C" dengan panjang mencapai 10–12 cm. Larva dewasa (lundi) ini kemudian akan bergerak masuk ke dalam lapisan tanah yang lembap hingga kedalaman sekitar 30 cm untuk memasuki fase pupa (berkepompong) (Julkarnain, 2024).

## 3. Prepupa

Prepupa terlihat seperti larva, tetapi ukurannya lebih kecil dari larva instar terakhir. Mereka memiliki tubuh yang berkerut dan bergerak aktif ketika terganggu.

Tahap prepupa berlangsung 8–13 hari (Julkarnain, 2024).

#### 4. Pupa

Pupa hidup di dalam tanah berwarna coklat kekuningan dan dilindungi oleh kokon yang terbuat dari bahan organik di sekitar tempat tinggalnya. Jantan pupa berukuran 3–5 cm, sedangkan betina sedikit lebih pendek. Proses prapupa berlangsung 8–13 hari, diikuti oleh masa pupa 17–28 hari. Setelah keluar dari pupa, kumbang tinggal di daerah tersebut selama 5–20 hari sebelum terbang. Pupa disimpan dalam kokon tanah berwarna kuning dan lebih kecil dibandingkan larva. Tubuhnya pendek dengan tanduk, berwarna merah kecoklatan, dan panjangnya sekitar 5-8 cm. Pupa berkembang dalam dua fase. Transformasi dari larva menjadi pupa terjadi selama sekitar satu bulan. Fase kedua terjadi selama sekitar tiga minggu, di mana pupa berubah menjadi imago dan tetap dalam kokon (Prawirosukarto dkk, 2003 *dalam* Armando, 2025).

#### 5. Imago

Proses pergantian kulit (*ekdisis*) dari stadia pupa menjadi imago memerlukan waktu sekitar 24 jam. Fase ini diawali dengan robeknya pembungkus pupa pada bagian sefalik (kepala), diikuti oleh pergerakan tubuh imago hingga eksuvia terlepas sepenuhnya. Pada awal kemunculannya, warna sayap elitra (*elytra*) berturut-turut berubah dari keputihan, kemerahan, merah kehitaman, hingga akhirnya menjadi hitam legam dalam kurun waktu lima sampai enam hari. Meskipun warna elitra telah menggelap, teksturnya masih lunak karena proses sklerotisasi belum selesai sempurna; namun, jika kokon pelindungnya robek atau terganggu, imago akan dipaksa keluar lebih awal. Kumbang dewasa *Oryctes rhinoceros* memiliki karakteristik fisik berupa panjang tubuh berkisar 40–50 mm, berwarna coklat kehitaman, dan dilengkapi tanduk kecil pada bagian kepala. Diferensiasi seksual dapat diidentifikasi dari keberadaan rambut-rambut halus di ujung abdomen imago betina, yang tidak ditemukan pada imago jantan. Pasca-ekdisis, kumbang muda akan tetap berdiam diri di dalam sarang selama 5–20 hari sebelum memulai penerbangan pertamanya. Imago kemudian akan bermigrasi menuju tajuk kelapa sawit untuk memakan jaringan pucuk muda sekaligus mencari pasangan. Setelah terjadi kopulasi, imago betina akan terbang mencari mikrohabitat yang kaya bahan organik, seperti tumpukan tandan kosong kelapa sawit (TKKS),

untuk meletakkan telurnya. Secara keseluruhan, imago *Oryctes rhinoceros* memiliki masa hidup (*longevity*) berkisar antara 2 hingga 4,5 bulan (Trisno, 2021).

**Tabel 2. Siklus Hidup *Oryctes rhinoceros***

| No | Fase                 | Interval Waktu (hari) |
|----|----------------------|-----------------------|
| 1  | Telur                | 8-12                  |
| 2  | Instar Larva Pertama | 12-21                 |
| 3  | Instar Larva Kedua   | 21-60                 |
| 4  | Instar Larva Ketiga  | 60-165                |
| 5  | Pre-Pupa             | 8-13                  |
| 6  | Pupa                 | 17-28                 |
| 7  | Dewasa Betina        | 274                   |
| 8  | Dewasa Jantan        | 192                   |
|    | Total                | 192-274               |

*Sumber:* (Pusat Pengkajian Kelapa Sawit, 2006 *dalam* Simarmata, 2024)

Usia kumbang dewasa berkisar antara dua dan empat bulan hingga empat bulan dan lima bulan. Setelah muncul, kumbang akan terbang menuju pohon kelapa sawit untuk mencari makan, yaitu pucuk kelapa sawit, dan pasangan. Setelah kopulasi, kumbang betina akan terbang mencari tempat yang cocok untuk bertelur. Jarak terbang *Oryctes rhinoceros* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan pakan; dapat terbang dalam jarak dekat jika lingkungannya cocok dan pakannya cukup, tetapi jika pakannya kurang, mereka dapat terbang hingga 10 km. Mengenai persentase kehidupan, peluang hidup larva dan pupa umumnya tinggi (sekitar 90%) dan bervariasi tergantung lingkungan, sedangkan imago memiliki peluang hidup yang lebih rendah karena rentan terhadap predator dan penyakit (Simarmata, 2024).



**Gambar 2. Siklus Hidup *Oryctes rhinoceros***

*Sumber:* Simarmata, (2024)

#### **2.1.6. Gejala Serangan *Oryctes rhinoceros***

Serangan *Oryctes rhinoceros* menjadi salah satu faktor utama yang membatasi produksi kelapa sawit. Kerusakan akibat serangan ini bisa mencapai 15% daun yang rusak, menyebabkan kematian pada tanaman muda hingga 20%, serta mengalami penurunan 69% dalam hasil produksi tandan buah segar pada tahun pertama (Simarmata, 2024). Tanda serangan *Oryctes rhinoceros* terlihat pada daun yang telah terbuka, dengan ciri khas berupa guntingan berbentuk huruf "V". Jika titik tumbuh pohon kelapa juga rusak, pertumbuhan daun baru akan terhenti, menyebabkan pohon mati. Imago rhinoceros *Oryctes* menggerek pucuk pohon kelapa untuk mencari bagian yang muda, lembut, dan banyak udara (Simarmata, 2024).

#### **2.1.7. Pengendalian *Oryctes rhinoceros***

Metode pengendalian *Oryctes rhinoceros* yang umum dilakukan mencakup berbagai cara mulai dari pengelolaan tanaman penutup tanah seperti *leguminose cover crop*, yang bertujuan mengurangi populasi hama dengan meminimalkan habitat dan sumber makanannya. Selain itu, sistem pembakaran juga diterapkan untuk membersihkan sisa tanaman yang dapat menjadi tempat berkembang biak larva dan kumbang. Metode pencacahan batang dilakukan agar sisa batang kelapa sawit tidak menjadi tempat persembunyian dan berkembangnya hama tersebut (Simarmata, 2024).

Pengutipan secara langsung terhadap larva yang ditemukan di sisa tanaman juga merupakan cara mekanis penting yang diterapkan. Di sisi lain, pengendalian secara kimiawi melibatkan penggunaan pestisida yang diformulasikan khusus untuk membasmi hama ini, namun penerapannya harus hati-hati untuk menghindari dampak negatif terhadap lingkungan (Simarmata, 2024). Namun, pengendalian hayati menggunakan mikroorganisme seperti jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* yang dapat menginfeksi dan membunuh larva. Selain itu, virus khusus seperti *Baculovirus oryctes* juga digunakan sebagai obat biologis untuk menghancurkan populasi hama (Simarmata, 2024). Setiap metode memiliki keterbatasan, jadi menggunakan satu metode kurang efektif untuk pengendalian skala besar. Oleh karena itu, untuk mencapai hasil yang lebih optimal dalam pengendalian hama kumbang tanduk *Oryctes rhinoceros*, paket

pengendalian yang menggabungkan metode mekanis, biologis, dan kimiawi biasanya diterapkan secara bersamaan (Simarmata, 2024).

Kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) dapat dikendalikan dengan berbagai cara, seperti fisik atau mekanik, hayati (biologis), dan kimiawi. Kumbang biasanya ditargetkan pada tahap larva karena berkembang biak di bahan organik seperti kotoran ternak, sekam padi, sampah membusuk, atau limbah padat kelapa sawit. Meskipun demikian, petani masih sering menggunakan insektisida secara kimiawi. Penggunaan bahan kimia ini menyebabkan hama sekunder, resistensi hama, pembunuhan musuh alami, dan residu. Upaya pengendalian terus dikembangkan untuk mencegah serangan rhinoceros *Oryctes*. Menggunakan jamur entomopatogen adalah alternatif yang lebih ramah lingkungan. *Metarhizium anisopliae* dikenal sebagai agen pengendali hayati yang berguna untuk mengontrol hama pada tahap larva siklus hidupnya (Simarmata, 2024).

#### **2.1.8. *Metarhizium anisopliae***

Pengendalian hayati menjadi alternatif yang lebih baik, salah satunya dengan memanfaatkan jamur entomopatogen. Keunggulan jamur ini adalah kemampuannya berproduksi tinggi, siklus hidup yang relatif pendek, dan kemampuannya membentuk spora yang tahan terhadap kondisi lingkungan. Istilah entomopatogen mengacu pada satu jenis atau sekelompok mikroorganisme yang tumbuh secara alami di lingkungannya dan berfungsi sebagai patogen bagi berbagai jenis serangga. Dalam hal ini, mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk menginfeksi dan menyebabkan penyakit pada serangga, yang sering kali menyebabkan kematian. Jamur entomopatogen didefinisikan sebagai jenis jamur yang efektif dalam membunuh serangga melalui proses infeksi dan reproduksi di dalam tubuh serangga tersebut. Jamur-jamur ini umumnya berasal dari kelas *Deuteromycetes*, yang merupakan kelompok jamur yang tidak memiliki fase seksual yang jelas dalam siklus hidupnya (Wahyudi, 2008 dalam Hidayat, 2022).

Beberapa contoh genus jamur entomopatogen yang terkenal dari kelas ini meliputi *Beauveria bassiana* yang dikenal karena kemampuannya menginfeksi berbagai serangga seperti ulat, kutu, belalang dan kumbang. *Metarhizium anisopliae* yang sering digunakan dalam pengendalian hama karena efektivitasnya terhadap serangga tanah. Keberadaan jamur-jamur ini di alam tidak hanya

membantu menjaga keseimbangan ekosistem dengan mengurangi populasi serangga berlebih, tetapi juga menarik perhatian dalam bidang pertanian dan pengendalian hama secara biologis. (Wahyudi, 2008 *dalam* Hidayat, 2022).

*Metarhizium anisopliae* adalah salah satu jenis jamur entomopatogen yang parasit pada serangga dan sangat efektif digunakan sebagai agen hayati untuk mengendalikan hama. Jamur ini dapat menginfeksi dan menyebabkan penyakit pada larva *Oryctes rhinoceros*, yang pada akhirnya dapat mengurangi populasi hama secara signifikan di suatu wilayah perkebunan. Cendawan ini umumnya dikenal dengan nama jamur muscardine hijau dan memiliki penyebaran yang luas di dunia. Varietas *Metarhizium anisopliae* mampu menginfeksi serangga dari beberapa ordo, termasuk *Orthoptera* (seperti belalang), *Coleoptera* (seperti kumbang), *Hemiptera* (seperti kutu daun), *Lepidoptera* (seperti ulat), dan *Hymenoptera* (seperti lebah atau semut). Kemampuan infeksi ini menjadikannya agen biologi yang efektif dalam mengendalikan populasi serangga hama di ekosistem alami maupun pertanian (Hidayat, 2022).

Morfologi *Metarhizium anisopliae* termasuk konidiofor yang tumbuh lurus ke atas, spora yang berbentuk silinder atau oval dengan panjang antara 6 dan 16 mm, varian transparan dengan satu sel, dan massa spora yang berwarna putih kehijauan. Jamur ini bersifat saprofit pada media sintetis, memulai tahap pertumbuhannya dengan membengkaknya konidium dan pembentukan tabung kecambah. *Metarhizium anisopliae* dapat berkembang pada pH 3,3–8,5 dan membutuhkan tingkat kelembapan tinggi untuk berkembang. Sinar matahari dapat merusak spora jamur ini. Tempat terbaik untuk pertumbuhan dan produksi spora adalah 25-30°C (Hidayat, 2022).

Tahap kerusakan jaringan pada larva *Oryctes rhinoceros* akibat *Metarhizium anisopliae*:

1. Peleburan dan Penembusan Spora Jamur.

Spora *Metarhizium anisopliae* melekat pada kutikula luar tubuh larva *Oryctes rhinoceros*. Spora ini kemudian berkecambah dan membentuk *apresorium*, yang membantu menembus kutikula melalui mekanisme fisik dan enzimatik. Jamur dapat masuk ke dalam tubuh larva setelah lapisan kitin pada kutikula dipecahkan oleh enzim seperti kitinase dan protease.

## 2. Infeksi dan Perkembangan Miselium di Dalam Tubuh.

Setelah masuk, jamur mulai berkembang di *hemolimfa* dan jaringan internal larva lainnya. *Metarhizium anisopliae* bereproduksi cepat dengan memanfaatkan nutrisi dari inangnya, sehingga merusak organ dalam seperti saluran pencernaan dan sistem saraf melalui pertumbuhan miselium.

## 3. Pembentukan Toksin oleh Jamur

Saat tumbuh di dalam larva, *Metarhizium anisopliae* mengeluarkan berbagai toksin yang membantu kerusakan jaringan. Toksin ini mengganggu fungsi fisiologis larva, mengakibatkan penurunan metabolisme, kelumpuhan, dan akhirnya kematian.

## 4. Pembusukan *Hemolimfa* dan Organ Vital

Infeksi jamur mencemari *hemolimfa*, menghambat sirkulasi nutrisi dan oksigen. Organ penting seperti usus, otot, dan sistem saraf rusak akibat penyebaran jamur. Sistem imunitas larva gagal melawan, sehingga fungsi organ-organ vital juga gagal.

## 5. Kematian dan Perkembangan Jamur di Luar Tubuh

Larva biasanya mati dalam beberapa hari karena kerusakan organ yang parah dan ketidakmampuan tubuh bertahan. Setelah itu, miselium jamur muncul dari tubuh larva, terutama di celah sendi dan area lunak, sering menutupi tubuh dengan lapisan putih atau hijau di lingkungan lembab.

## 6. Pengeringan dan Pembusukan Tubuh Larva

Tubuh larva yang mati akan mengering dan menggumpal karena aktivitas enzimatik jamur yang terus memecah jaringan. Akhirnya, tubuh terurai sepenuhnya, menyisakan kutikula kering.

Secara umum, kerusakan jaringan larva *Oryctes rhinoceros* oleh *Metarhizium anisopliae* terjadi melalui interaksi penembusan fisik, pelepasan enzim penghancur kitin, dan produksi toksin, yang mengakibatkan kematian larva dan dekomposisi jaringannya. Jamur ini efektif sebagai agen biologi karena langsung menyerang sistem tubuh serangga hingga fatal.

Hasil penelitian Hidayat, (2022) menunjukkan bahwa pemberian *Metarhizium anisopliae* memiliki pengaruh signifikan terhadap persentase mortalitas larva *Oryctes rhinoceros*. Perlakuan yang memberikan hasil paling



optimal adalah perlakuan D5, yang menggunakan dosis formulasi 180gram per 3kg media, menghasilkan tingkat kematian larva 100% dengan waktu infeksi rata-rata yang cepat, yaitu 12,22 hari. Efek ini menunjukkan bahwa *Metarhizium anisopliae* efektif menghambat perkembangan larva menjadi pupa. Keberhasilan infeksi jamur ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, termasuk pH, suhu, dan kelembaban.



**Gambar 3. *Metarhizium anisopliae***  
*Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)*

#### **2.1.9. Faktor Lingkungan**

Efektivitas jamur entomopatogen *Metarhizium anisopliae* sangat bergantung pada kondisi lingkungan mikro yang menjadi habitat larva. Ketidadaan pengukuran variabel lingkungan ini perlu diimbangi dengan penjelasan teoritis yang mendalam mengenai bagaimana faktor-faktor ini dikendalikan oleh perlakuan.

##### **1. Kelembaban**

Kelembaban adalah faktor lingkungan paling krusial yang menentukan keberhasilan infeksi *Metarhizium anisopliae* di lapangan. Spora *Metarhizium anisopliae* membutuhkan kelembaban relatif yang sangat tinggi di sekitar kutikula inang untuk berkecambah (*germinasi*) dan membentuk tabung kecambah (*hifa*). Kondisi optimal untuk germinasi spora *Metarhizium anisopliae* secara umum adalah kelembaban relatif pada 80-90%. Pada kelembaban relatif yang rendah, viabilitas spora akan menurun drastis, sehingga infeksi kemungkinan gagal. Dalam penelitian lapangan, tandan kosong (tankos) bertindak sebagai mulsa organik yang memengaruhi iklim mikro. Peningkatan ketebalan tankos bertujuan untuk mempertahankan kelembaban di atas ambang batas kritis (80-90%) yang diperlukan untuk inisiasi infeksi oleh *Metarhizium anisopliae* (Chowdhury dkk., 2025).

## 2. Suhu

Suhu media juga merupakan faktor penentu bagi pertumbuhan jamur, virulensi, dan daya tahan spora. Rentang suhu optimal untuk pertumbuhan *Metarhizium anisopliae* umumnya berkisar antara 25°C hingga 30°C. Suhu yang terlalu tinggi, terutama di atas 35°C, dapat menyebabkan stres termal, mengurangi viabilitas spora, dan menghambat pertumbuhan miselium. Peran tankos bertindak sebagai penyangga termal (*thermal buffer*). Lapisan organik tebal membantu meredam fluktuasi suhu harian yang ekstrem di permukaan tanah, menjaga suhu media di dalam rentang optimal bagi jamur, dan meningkatkan keberhasilannya. Kehilangan efektivitas jamur di musim kemarau sering kali dikaitkan dengan kegagalan media tankos mempertahankan suhu yang stabil dan kelembaban yang memadai (Chowdhury dkk., 2025).

## 3. Derajat Keasaman Media (pH)

Derajat keasaman media mempengaruhi stabilitas spora dan proses enzimatik jamur. Aktivitas enzim yang dilepaskan oleh jamur (seperti *kitinase* dan *protease*) yang esensial untuk penetrasi kutikula larva sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan (Chowdhury dkk., 2025). *Metarhizium anisopliae* umumnya menunjukkan aktivitas enzimatik maksimum pada rentang pH netral hingga sedikit asam sekitar 6,0 hingga 7,5. Pengukuran pH tankos menjadi penting karena dekomposisi organik dapat menyebabkan fluktuasi pH. Meskipun tidak diukur sebagai variabel, asumsi teoritisnya adalah bahwa tankos di lapangan berada dalam rentang pH yang masih ditoleransi oleh *Metarhizium anisopliae*, namun variasi pH dapat menjelaskan perbedaan efektivitas antar unit plot.

### 2.1.10. Analisis Biaya

Analisis biaya adalah proses sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menganalisis data pengeluaran secara numerik untuk mendukung pengambilan keputusan yang rasional, sering kali menggunakan metode statistik dan model matematis untuk memahami hubungan biaya dengan aktivitas atau hasil, memastikan efisiensi, dan memprediksi profitabilitas (Ibrahim dkk., 2021).

Analisis biaya dalam konteks pengendalian hama merupakan salah satu komponen penting dalam evaluasi suatu teknologi pengendalian, sebab keberhasilan teknis suatu metode pengendalian tidak akan memberikan manfaat

optimal apabila tidak diimbangi dengan kelayakan dari segi ekonomi. Pengendalian Hama Terpadu (PHT) sebagai konsep yang dianut secara luas dalam pertanian dan perkebunan modern menekankan bahwa pertimbangan ekonomi, efektivitas, dan waktu menjadi tiga aspek yang harus dikaji secara bersamaan dalam menentukan strategi pengendalian hama yang akan diterapkan (Arief dkk., 2024). Dalam praktiknya, analisis biaya pengendalian hama umumnya dilakukan dengan membandingkan besaran biaya input yang dikeluarkan (seperti biaya bahan, tenaga kerja, dan peralatan) dengan output yang dihasilkan, baik dalam bentuk penurunan populasi hama, peningkatan mortalitas, maupun penyelamatan potensi kehilangan hasil produksi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip efisiensi biaya produksi secara umum, yaitu mengukur seberapa optimal suatu input digunakan untuk menghasilkan output tertentu.

Analisis biaya dalam penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perlakuan mana (interaksi dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tankos) yang paling efektif secara biologis (mortalitas tertinggi) dengan pengeluaran finansial yang paling optimal dan efisien. Efisiensi diukur menggunakan pendekatan rasio yang menghubungkan output teknis (mortalitas) dengan input biaya.

## **2.2. Kajian Terdahulu**

Dalam penelitian sebelumnya, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian mereka, tetapi mereka menggunakan beberapa penelitian sebagai referensi untuk memperkaya bahan penelitian mereka. Penelitian terdahulu ini menjadi acuan bagi penulis untuk melakukan penelitian mereka saat ini.

**Tabel 3. Kajian Terdahulu**

| No | Judul                                                                                                                                          | Metode                                                                                                                                         | Parameter                                                                                                                                                                                                       | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Aplikasi Jamur <i>Beauveria bassiana</i> dan <i>Metarhizium anisopliae</i> untuk Mengontrol Hama Kumbang Tanduk ( <i>Oryctes rhinoceros</i> ). | Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial.                                                                         | 1. Larva terinfeksi<br>2. Persentase mortalitas larva<br>3. Laju infeksi jamur terhadap larva                                                                                                                   | 1. 1. Larva instar 3 hama kumbang tanduk dapat dicegah dengan perawatan jamur <i>Beauveria bassiana</i> dan <i>Metarhizium anisopliae</i> . Pada hari ke 30, persentase kematian larva mencapai 100%.<br>2. Laju infeksi jamur <i>Beauveria bassiana</i> dan <i>Metarhizium anisopliae</i> pada larva kumbang tanduk sama, 17 hari.                                                             |
| 2  | <i>Metarhizium anisopliae's Ability to Disturb Oryctes rhinoceroses (Coleoptra: Scarabaeidae) Development and Growth</i>                       | Hasil dianalisis menggunakan uji T dengan tujuh perlakuan dan tiga ulangan dengan taraf signifikan 5%. Penelitian dilakukan di laboratorium.   | 1. Dampak <i>Metarhizium</i> terhadap mortalitas larva<br>2. Pengaruh <i>Metarhizium</i> terhadap durasi tahap larva<br>3. Pengaruh <i>Metarhizium</i> terhadap Tingkat keberhasilan larva mencapai tahap pupa. | 1. Tingkat kematian larva dengan hasil mencapai 87%<br>2. Durasi tahap larva pada instar kedua pasca molting 40 hari, pra molting instar ketiga 25 hari, dan instar ketiga tidak lebih dari 15 hari.<br>3. Tingkat keberhasilan larva berubah menjadi pupa sebesar 7% pada fase pasca molting instar kedua dan pra molting instar ketiga dan pada fase pasca molting instar pertama sebesar 47% |
| 3  | Uji Efektivitas Jamur Entomopatogen Terhadap Larva Penggerek Batang Kelapa Sawit ( <i>Oryctes rhinoceros</i> ) Di                              | Studi ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Dilanjutkan dengan uji <i>Duncan's Multiple Range Test</i> (DMRT) pada taraf nyata 5% jika | 1. Persentase kematian larva <i>Oryctes rhinoceros</i><br>2. Gejala serangan larva <i>Oryctes rhinoceros</i> yang terinfeksi jamur                                                                              | 1. Persentase kematian larva <i>Oryctes rhinoceros</i> adalah 100% pada 12 hsa perlakuan M4 dan 93,33% pada perlakuan B4, yang merupakan <i>Beauveria bassiana</i> dengan dosis 20 gram per stoples.                                                                                                                                                                                            |

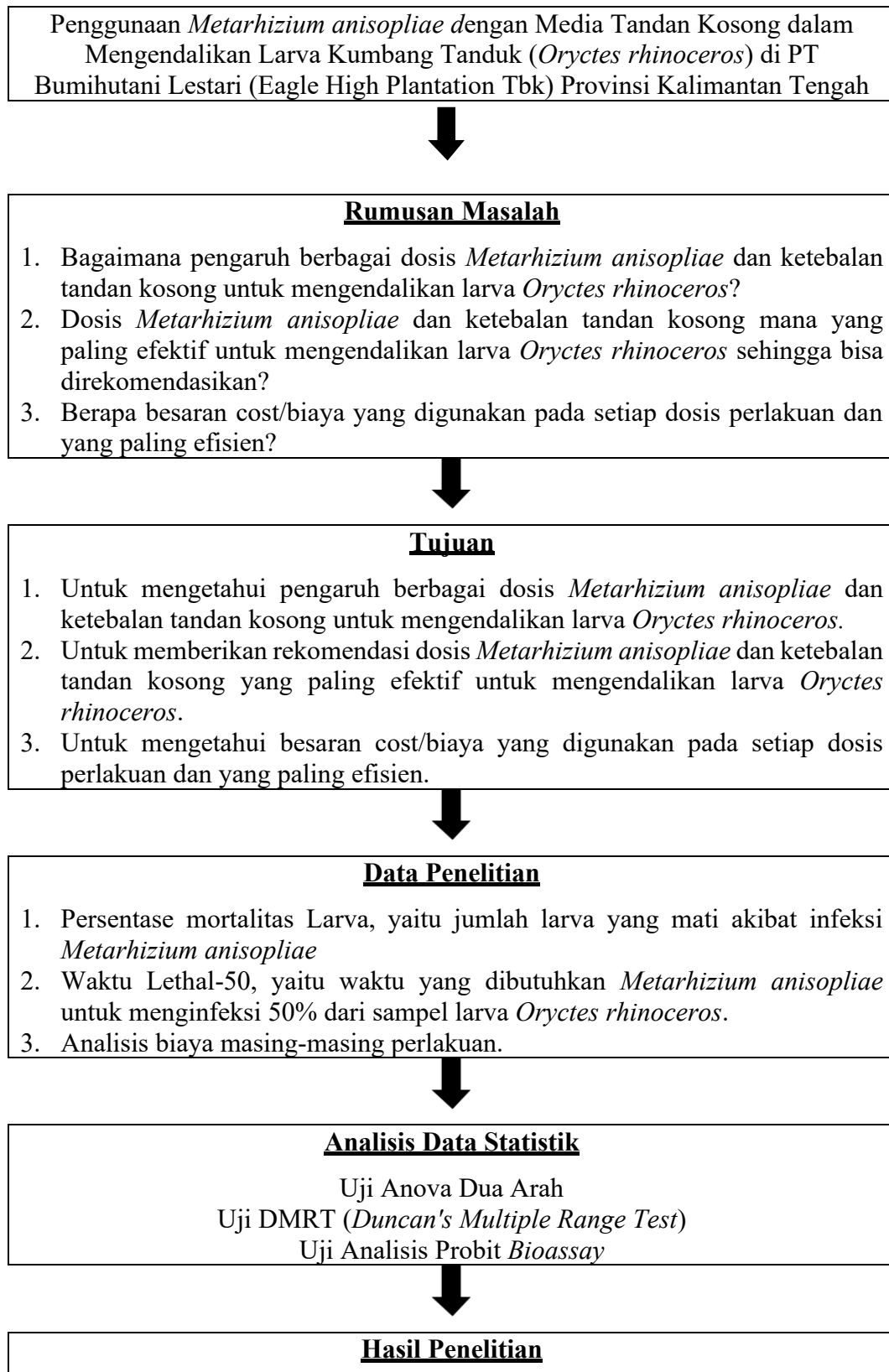
**Lanjutan Tabel 3. Kajian Terdahulu**

|   |                                                                                                                                             |                                                                                               |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Laboratorium                                                                                                                                | hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai berbeda nyata.                                   | entomopatogen                                                                                                                               | 2. Gejala kematian larva terdiri dari warna pucat merata di seluruh tubuh, yang kemudian berubah menjadi kecoklatan atau kehitaman, dan larva akan mati dan mengeras seperti mumi dengan bagian posterior yang mengecil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4 | Potensi <i>Metarhizium anisopliae</i> dalam Menurunkan Populasi Larva Kumbang Badak ( <i>Oryctes rhinoceros</i> ) pada Tanaman Kelele Sawit | Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) non factorial. | 1. Persentase mortalitas Larva <i>Oryctes rhinoceros</i> (%)<br>2. Gejala Serangan Jamur Entomopatogen Pada Larva <i>Oryctes rhinoceros</i> | 1. Perlakuan M3 menghasilkan tingkat kematian tertinggi, dengan jamur <i>Metarhizium anisopliae</i> diaplikasikan pada 25 gr media jagung per stoples. Pada hari ke-20 setelah aplikasi, presentase kematian mencapai 91%. Perlakuan M1 dan M2 menghasilkan kematian hanya dalam jumlah waktu yang lebih lama.<br>2. Kerusakan jaringan larva <i>Oryctes rhinoceros</i> sebagai hasil dari perawatan cendawan entomopatogen <i>Metarhizium anisopliae</i> . Gejala-gejala ini mencakup penempelan dan penetrasi spora jamur, infeksi dan pertumbuhan miselium jaringan internal, pembuatan toksin jamur, degradasi hemolimfa dan organ penting, kematian dan pertumbuhan jamur eksternal, dan pengeringan dan penguraian tubuh larva. |

**Lanjutan Tabel 3. Kajian Terdahulu**

|   |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Perkembangan dan Virulensi <i>Metarhizium anisopliae</i> Pada Beberapa Media Cair Terhadap Larva Kumbang Tanduk <i>Oryctes rhinoceros</i> (Coleoptera: Scarabaeidae) | Studi ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non factorial. Setelah data penelitian diubah menggunakan rumus akar kuadrat (SQRT), variasi analisis (ANOVA) digunakan, yang didasarkan pada model linear. | 1. Morfologi Cendawan<br>2. Kerapatan Spora<br>3. Viabilitas Spora<br>4. mortalitas Serangga Uji <i>Oryctes rhinoceros</i><br>5. Analisis Probit LT-50 | 1. Pengembangan <i>Metarhizium anisopliae</i> pada beberapa media cair mempengaruhi tipe spora <i>Metarhizium anisopliae</i> . Spora yang dihasilkan dari perlakuan HI (media <i>Potato Dextrose Broth</i> ), H2 (media <i>Sabouroud Dextrose Yeast extract Broth</i> ) dan H3 (media <i>Yeast extract Peptone Glucose Broth</i> ) merupakan spora konidiospor sedangkan perlakuan H4 (air kelapa tua) menghasilkan spora <i>blastospor</i> dan <i>konidiospor</i> .<br>2. Respon perlakuan pengembangan <i>Metarhizium anisopliae</i> pada beberapa media cair berpengaruh sangat nyata terhadap kerapatan spora, viabilitas spora dan tingkat kematian larva <i>Oryctes rhinoceros</i> . Perlakuan H4 atau media air kelapa tua adalah yang terbaik karena pada hari ke-12 setelah aplikasi, persentase kematian mencapai 100% dengan LT50 7,16 hari. |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 2.3. Kerangka Pikir



Gambar 4. Kerangka Pikir

#### **2.4. Hipotesis**

1. Diduga ada pengaruh berbagai dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tandan kosong untuk mengendalikan larva *Oryctes rhinoceros*.
2. Diduga ada dosis *Metarhizium anisopliae* dan ketebalan tandan kosong yang paling efektif untuk dijadikan sebagai rekomendasi.
3. Diduga ada dosis *Metarhizium anisopliae* yang memiliki biaya paling efisien.