

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Klasifikasi Kelapa Sawit

Kelapa Sawit adalah tanaman tahunan (*Perennial crops*), termasuk dalam famili *Arecaceae* yang paling besar habitatnya. Taksonomi kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledonae</i>
Ordo	: <i>Palmales</i>
Famili	: <i>Arecaceae (Palmae)</i>
Sub Famili	: <i>Cocoideae</i>
Genus	: <i>Elaeis</i>
Spesies	: <i>Elaeis guineensis</i> Jacq

Menurut (Setyamidjaja, 2006), tanaman kelapa sawit dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu bagian vegetatif dan generatif. Bagian vegetatif kelapa sawit meliputi akar, batang, dan daun. Bagian generatif merupakan alat perkembangbiakan terdiri dari bunga dan buah.

2.1.2 Morfologi Tanaman Kelapa Sawit

Morfologi kelapa sawit dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama: organ pertumbuhan seperti akar, batang, dan daun, serta organ reproduksi yang meliputi bunga dan buah (Setyamidjaja, 2006).

1. Akar

Tanaman kelapa sawit memiliki sistem perakaran serabut (monokotil) yang berperan krusial dalam menunjang tegaknya pohon serta menyerap air dan hara dari dalam tanah. Sistem ini terdiri dari akar primer, sekunder, tersier, hingga kuarter, di mana akar tersier dan kuarterlah yang paling halus dan berfungsi utama dalam penyerapan. Pola penyebaran akar kelapa sawit umumnya terkonsentrasi di lapisan tanah atas, yaitu pada kedalaman 0–60 cm, meskipun penyebaran lateralnya dapat meluas secara horizontal hingga mencapai jarak 3–5 meter dari pangkal batang,

bergantung pada tekstur dan struktur tanah. Kerapatan akar tertinggi biasanya ditemukan pada ke dalaman 0–30 cm dan pada jarak sekitar 100 cm dari pohon, menunjukkan zona aktif penyerapan hara yang intensif di area tersebut (Bakri & Siagian, 2023). Oleh karena itu, morfologi perakaran yang dangkal ini membuat kelapa sawit sensitif terhadap cekaman kekeringan dan kondisi genangan, menuntut manajemen tanah dan air yang optimal, terutama di lahan-lahan sub-optimal seperti gambut.

2. Batang

Batang pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) berfungsi sebagai penopang utama kanopi daun, tandan bunga, dan buah, serta menjadi jalur transportasi air dan nutrisi yang krusial untuk produktivitas. Sebagai tumbuhan monokotil, batang kelapa sawit tumbuh tegak dan tidak bercabang, yang pada fase awal pertumbuhan melebar di bagian pangkal sebelum terjadi pemanjangan ruas (internodia), umumnya berbentuk silinder dengan variasi diameter antara 40–60 cm pada tanaman dewasa. Laju pertumbuhan tinggi batang per tahun sangat bervariasi, berkisar antara 40–55 cm dalam kondisi normal, namun bisa mencapai 100 cm per tahun pada lingkungan tumbuh yang sangat optimal, yang juga akan menentukan umur ekonomis tanaman di perkebunan. Ciri khas lain adalah batang akan diselimuti oleh bekas pangkal pelepah daun yang melekat kuat hingga tanaman mencapai usia sekitar 10–12 tahun, setelah itu pelepah yang mengering akan terlepas dan batangnya akan terlihat seperti tanaman palem lain (Ikal Idris *et al.*, 2020).

3. Daun

Daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan daun majemuk tipe menyirip (*pinnate*) yang tersusun secara spiral mengelilingi batang utama, serta berfungsi sebagai organ fotosintesis primer yang menentukan produktivitas Tandan Buah Segar (TBS). Setiap pelepah daun terdiri atas tangkai daun (*petiole*) yang panjang dan ratusan anak daun (*leaflet*) dengan pertulangan sejajar yang berwarna hijau tua pada kondisi nutrisi optimal. Pelepah daun dewasa pada tanaman fase menghasilkan umumnya memiliki panjang berkisar antara 5 hingga 9 meter dengan 125 hingga lebih dari 200 helai anak daun di kedua sisinya. Jumlah pelepah yang dipertahankan pada kanopi idealnya berkisar antara 48–60 helai untuk menjaga

keseimbangan antara sumber (*source*) dan tampungan (*sink*) asimilat. Arsitektur kanopi yang terbuka lebar dengan jumlah anak daun yang memadai menjadi kunci utama dalam memaksimalkan intersepsi radiasi matahari dan efisiensi fotosintesis tanaman (Ikal Idris *et al.*, 2020). Dalam konteks proteksi tanaman, hamparan kanopi daun yang luas ini menyediakan biomassa pakan yang melimpah bagi larva *Clania tertita*. Kerusakan pelepah akibat aktivitas makan larva Psychidae tersebut (gejala melidi) secara langsung akan mengganggu kapasitas fotosintesis kanopi, yang berpotensi menurunkan hasil TBS secara signifikan pada siklus produksi berikutnya (Ahmad *et al.*, 2025; Johari *et al.*, 2023).

4. Bunga

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) tergolong tanaman berumah satu (*monoecious*), artinya ia memiliki bunga jantan dan bunga betina yang terpisah, namun tumbuh pada satu pohon yang sama, masing-masing tersusun dalam bentuk tandan (*inflorescence*) yang muncul dari ketiak pelepah daun. Bunga jantan dan bunga betina menunjukkan perbedaan morfologi yang jelas: bunga jantan cenderung berbentuk lonjong ramping dan memanjang, dengan ujung kelopak meruncing, sementara bunga betina tampak lebih besar, bulat, dan memiliki kepala putik (stigma) tiga cuping yang akan reseptif saat mekar. Proses pembungaan dicirikan oleh periode *anthesis* yang tidak serentak antara bunga jantan dan betina, dikenal sebagai *dichogamy*, yang secara alami mempromosikan penyerbukan silang dengan bantuan agen, seperti kumbang *Elaeidobius kamerunicus* (Satria Abdiansyah *et al.*, 2022). Nisbah kelamin (*sex ratio*), yaitu perbandingan jumlah bunga jantan dan betina, dipengaruhi kuat oleh faktor lingkungan seperti curah hujan dan ketersediaan hara, di mana cekaman lingkungan seringkali meningkatkan proporsi bunga jantan.

5. Buah

Buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.), yang tersusun secara padat dalam tandan buah segar (TBS), merupakan hasil generatif utama dan menjadi penentu nilai ekonomis tanaman. Secara morfologi, buah sawit terdiri dari tiga lapisan utama: eksokarp (kulit luar), mesokarp (daging buah berserabut penghasil *Crude Palm Oil* atau CPO), dan biji yang terbagi menjadi endokarp (cangkang keras) dan kernel (inti sawit). Variasi genetik membagi buah menjadi tiga tipe

berdasarkan struktur biji: Dura (cangkang tebal, mesokarp tipis), Pisifera (tidak bercangkang atau cangkang sangat tipis, steril), dan Tenera (hasil persilangan Dura dan Pisifera, memiliki cangkang tipis 0,5–4,0 mm dan mesokarp tebal), di mana tipe Tenera adalah varietas unggul karena proporsi mesokarpnya yang tinggi, mencapai 60–85% dari buah (Ikal Idris *et al.*, 2020). Kemasakan buah ditandai dengan perubahan warna dari hitam/ungu menjadi oranye kemerahan dan lepasnya brondolan dari tandan.

2.2 Hama

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT), khususnya hama, merupakan kendala utama yang signifikan dalam keberlanjutan dan produktivitas perkebunan kelapa sawit, menyebabkan kerugian hasil yang substansial setiap tahunnya. Secara umum, hama adalah hewan yang merusak bagian vegetatif (akar, batang, daun) maupun generatif (bunga, buah) tanaman sawit, mengganggu proses fotosintesis dan translokasi hara yang pada akhirnya menurunkan kualitas Tandan Buah Segar (TBS) dan rendemen minyak. Pada fase peremajaan (*replanting*) sawit rakyat, masalah OPT seringkali muncul akibat perubahan ekologi lahan, seperti tumbuhnya larva Kumbang Badak (*Oryctes rhinoceros*) pada sisa-sisa batang tua yang tidak terdekomposisi sempurna, menjadikannya hama paling diketahui petani dan menyerang hingga ke pucuk tanaman muda (Sagala *et al.*, 2024). Pengelolaan hama yang tidak tepat bukan hanya merugikan secara finansial, tetapi juga mengancam kelangsungan hidup tanaman, terutama pada tanaman belum menghasilkan (TBM).

Hama-hama utama pada kelapa sawit umumnya didominasi oleh serangga dari ordo Lepidoptera (kupu-kupu/ngengat) dan Coleoptera (kumbang), namun serangan juga bisa datang dari mamalia seperti tikus dan monyet. Kelompok Lepidoptera yang terkenal adalah ulat pemakan daun, seperti Ulat Api (*Setothosea asigna*) dan berbagai jenis Ulat Kantung (*Bagworms*), yang merusak daun hingga tersisa lidinya (*melidi*), mengurangi luas area fotosintesis. Sementara itu, Kumbang Badak (*Oryctes rhinoceros*) menjadi hama terberat pada TBM dengan tingkat serangan yang dapat menyebabkan kematian tanaman muda atau menurunkan produksi hingga 60% pada panen pertama (Santi *et al.*, 2025). Keragaman hama yang menyerang perkebunan sangat tinggi, bahkan di satu lokasi endemik bisa

ditemukan belasan spesies, menuntut strategi Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang adaptif dan berbasis pemantauan populasi berkelanjutan.

Dampak serangan hama pada kelapa sawit berbanding lurus dengan tingkat serangan yang terjadi; kerusakan berat pada daun atau titik tumbuh akan mengakibatkan penurunan hasil secara drastis, baik melalui aborsi bunga/buah atau bahkan kematian tanaman. Pengendalian hama menjadi sangat penting karena serangan ulat daun pada tanaman menghasilkan (TM) dapat mengurangi produksi TBS 9–12 bulan setelah serangan karena terganggunya pembentukan bunga, sedangkan serangan Kumbang Badak pada TBM secara langsung mematikan titik tumbuh. Oleh karena itu, penerapan PHT adalah pendekatan yang paling logis, yang mengintegrasikan berbagai teknik, mulai dari pemanfaatan musuh alami (predator dan parasitoid), pemasangan feromon trap, sanitasi lahan, hingga penggunaan pestisida nabati atau kimiawi hanya jika populasi telah melampaui ambang ekonomi (Sagala *et al.*, 2024). Tujuannya bukan membasmi hama sepenuhnya, melainkan menjaga populasi hama tetap di bawah batas kerusakan yang merugikan.

2.2.1 Ulat Kantung (*C. tertia*)

Ulat kantung (*bagworm*) jenis *C. tertia* merupakan salah satu hama pemakan daun yang berpotensi menjadi ancaman serius di perkebunan kelapa sawit, khususnya di areal yang mengalami peralihan fungsi lahan dari hutan atau tanaman inang sekunder seperti akasia. Ulat ini dikenal dengan ciri khasnya yang selalu hidup di dalam kantung pelindung yang terbuat dari potongan ranting dan serpihan daun yang direkatkan oleh sutra. Morfologi *C. tertia* cenderung memiliki ukuran larva dan kantung yang lebih besar dibandingkan ulat kantung umum lainnya seperti *Metisa plana*. Gejala serangan yang ditimbulkan bersifat spesifik, di mana ulat akan merusak daun dengan cara mengunyah lamina daun hingga hanya menyisakan bagian lidi saja, dikenal sebagai kerusakan melidi, yang secara drastis mengurangi luas daun produktif (Rozziansha & Susanto, 2011). Karena sifatnya yang polifag (memiliki kisaran inang yang luas), *C. tertia* dapat dengan mudah meledak populasinya di lingkungan monokultur kelapa sawit yang kekurangan musuh alami, menyebabkan kerusakan serius pada kanopi tanaman yang berujung pada penurunan produksi TBS.

2.2.2 Klasifikasi Ulat Kantung (*C. tertia*)

Klasifikasi Hama Ulat Kantung (*C. tertia*) sebagai berikut:

Kingdom	:	<i>Animalia</i>
Phylum	:	<i>Arthropoda</i>
Class	:	<i>Insecta</i>
Order	:	<i>Lepidoptera</i>
Family	:	<i>Psychidae</i>
Subfamily	:	<i>Oiketicinae</i>
Genus	:	<i>Clania</i>
Species	:	<i>C. tertia</i>

2.2.3 Siklus Hidup Hama Ulat Kantung (*C. tertia*)

Siklus hidup *C. tertia* melibatkan empat fase utama (telur, larva, pupa, imago) dengan total durasi diperkirakan 3-4 bulan (Rozziansha, 2012). Fase larva adalah yang terlama dan paling merusak, di mana ulat hidup di dalam kantung sambil rakus memakan daun kelapa sawit hingga menimbulkan gejala melidi. Pupa jantan (14,1-19,8 mm) dan betina (18,1-19,7 mm) mengalami perbedaan ukuran, dengan pupa jantan berkembang menjadi ngengat bersayap (rentang 26-29 mm) yang hidup singkat. Imago betina tetap tidak bersayap dan berada di dalam kantung untuk meletakkan 1.000–2.000 telur, mengakhiri siklus reproduksi.

1. Telur Ulat Kantung (*C. tertia*)

Fase telur ulat kantung *C. tertia* merupakan awal siklus hidup hama, dan berperan besar dalam potensi ledakan populasi (outbreak). Telur diletakkan oleh imago betina yang tidak bersayap di dalam kantung pupanya yang bergantung pada pelepah daun, menjamin perlindungan maksimal dari predator dan lingkungan. Secara morfologi, telur *C. tertia* umumnya berwarna putih kekuningan atau kuning pucat dan berbentuk oval, dengan ukuran yang relatif kecil, berkisar antara 0,5 hingga 0,73 mm (Rozziansha & Susanto, 2011). Meskipun ukurannya kecil, daya tetasnya sangat tinggi, di mana satu imago betina mampu menghasilkan telur dalam jumlah yang luar biasa banyak, berkisar antara 1.000 hingga 2.000 butir per kantung, memastikan tingkat kelangsungan hidup larva yang tinggi.

2. Larva Ulat Kantung (*C. tertia*)

Fase larva merupakan fase terpenting dan paling merusak dalam siklus hama *C. tertia*, yang bertanggung jawab penuh atas kerusakan parah pada daun kelapa sawit. Larva *C. tertia* memiliki ukuran tubuh dan kantung yang lebih besar dibandingkan dengan larva ulat kantung umum lainnya seperti *Metisa plana* atau *Mahasena corbetti*. Larva hidup di dalam kantung yang dibangun dari potongan-potongan daun dan ranting yang direkatkan sangat rapi dan kuat. Larva ini memiliki mulut tipe penggigit-pengunyah yang bersifat polifag dan rakus, memakan seluruh lapisan lamina daun. Pada serangan parah, hama ini akan menyebabkan daun berubah menjadi kecokelatan seperti terbakar dan mengering hingga hanya menyisakan lidi saja (gejala melidi), yang merupakan indikator kerusakan serius dan mengurangi area fotosintesis secara drastis.

Hingga saat ini, literatur ilmiah terkait *C. tertia* belum menyediakan penjabaran spesifik mengenai ciri-ciri morfologi pada tiap fase pergantian kulit (instar). Penentuan nomor instar secara pasti umumnya membutuhkan pengukuran presisi pada lebar kapsul kepala larva di laboratorium. Mengingat sifat hama ini yang bersembunyi, literatur taksonomi entomologi kelapa sawit sejauh ini hanya mengestimasi bahwa larva *C. tertia* mengalami tahapan instar yang panjang, yakni sekitar 10 hingga 12 tahapan (Rozziansha, 2012).



Gambar 1. Ulat Kantung *C. tertia*
Sumber: Rozziansha (2012)

Untuk mengatasi ketiadaan referensi spesifik mengenai tahapan instar tersebut, pengelompokan fase perkembangan larva di lapangan umumnya dikonversi menggunakan metode morfometrik non-destruktif, yaitu pengklasifikasian berdasarkan rentang panjang kantung luarnya. Secara ekologis

dan praktis untuk keperluan pengendalian, klasifikasi ukuran larva *C. tertia* dapat dibagi menjadi beberapa tahap perkembangan visual:

1. **Fase Awal (Kategori Kecil):** Larva baru menetas dan mulai membentuk struktur kantung awal yang sangat lembut, umumnya terdiri dari serpihan halus daun inang dan sutra. Kerusakan daun masih berupa goresan kecil di permukaan epidermis.
2. **Fase Pertengahan (Kategori Sedang):** Larva memiliki ukuran panjang kantung di kisaran 16 mm hingga 30 mm. Pada fase ini, ulat sangat aktif melakukan proses defoliiasi, struktur kantung mulai diperkuat dengan material daun yang lebih kasar dan ranting, serta sangat rentan atau ideal menjadi target bagi musuh alami.
3. **Fase Akhir (Kategori Dewasa):** Larva mencapai ukuran maksimal tubuh hingga 43 mm, dengan panjang kantung yang dapat melebihi 40 mm (Rozziansha & Susanto, 2011). Tingkat kerakusan mencapai puncaknya sesaat sebelum larva berhenti makan untuk mempersiapkan diri memasuki fase prepupa di dalam kantungnya yang membesar.

3. Pupa Ulat Kantung (*C. tertia*)

Fase pupa ulat kantung *C. tertia* berlangsung seluruhnya di dalam kantung yang telah dibentuk oleh larva dan menjadi tahapan transisi kritis menuju serangga dewasa. Ciri khas utama pada fase ini adalah dimorfisme seksual yang ekstrem. Pupa jantan memiliki panjang berkisar 14,1–19,8 mm dan berkembang menjadi ngengat bersayap; sebelum menjadi ngengat, pupa akan membalikkan posisi kepalanya menghadap ke lubang keluar kantung. Sebaliknya, pupa betina berukuran sedikit lebih besar, mencapai 18,1–19,7 mm, namun pupa ini akan menghasilkan imago betina yang tidak bersayap (*vermiform*) dan tetap berada di dalam kantung (Rozziansha & Susanto, 2011). Ukuran kantung pupa betina sangat panjang (sekitar 48 mm), berfungsi sebagai wadah untuk bertelur setelah dibuahi oleh ngengat jantan.

4. Imago Ulat Kantung (*C. tertia*)

Fase imago (serangga dewasa) ulat kantung *C. tertia* menunjukkan dimorfisme seksual yang paling ekstrem dalam seluruh siklus hidupnya. Imago jantan sepenuhnya bermetamorfosis menjadi ngengat bersayap yang memiliki

panjang tubuh sekitar 10–12 mm, bersayap penuh berwarna cokelat kehitaman dengan rentang sayap antara 26–29 mm (Rozziansha, 2012). Jantan memiliki fungsi tunggal yaitu mencari dan membuahi betina, dan masa hidupnya sangat singkat, hanya berkisar 2–3 hari. Sebaliknya, imago betina tidak bersayap (*apterous*), berbentuk seperti ulat (*vermiform*), dan tidak pernah meninggalkan kantung pupanya. Fungsi betina hanya untuk kawin dan meletakkan ribuan telur di dalam kantung tersebut, menjamin keberlangsungan generasi hama.

2.2.4 Gejala Serangan Hama Ulat Kantung (*C. tertia*)

Gejala serangan khas yang disebabkan oleh larva *C. tertia* dimulai dari aktivitas larva instar lanjut yang memiliki mulut pengunyah dan bersifat sangat rakus (*defoliator*). Ciri spesifik dan paling merugikan adalah timbulnya gejala melidi, di mana larva memakan habis seluruh jaringan lamina daun, sehingga hanya menyisakan bagian tulang daun atau lidi saja (Rozziansha, 2012). Kerusakan ini membuat pelepah terlihat gundul, cokelat, dan kering, menyerupai gambaran tajuk yang terbakar, yang merupakan indikasi serangan hama yang parah.



Gambar 2. Gejala serangan *C. tertia*
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

Kerusakan daun akibat *C. tertia* ini berbanding lurus dengan populasi larva yang ada; serangan masif dapat menyebabkan defoliasi tajuk hingga melampaui 70% pada pohon yang terserang. Larva instar akhir memiliki kemampuan makan yang sangat besar, dengan luas area makan harian yang luas, menyebabkan penurunan drastis pada luas daun asimilasi tanaman. Kerusakan visual berupa melidi ini sangat signifikan mengurangi kemampuan fotosintesis dan mengganggu pertumbuhan vegetatif tanaman (Rozziansha, 2012).

2.3 Serangga Predator *S. annulicornis*

Klasifikasi Serangga Predator (*S. annulicornis*)

Klasifikasi serangga predator *S. annulicornis* adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	Animalia
Phylum	:	Arthropoda
Class	:	Insecta
Order	:	Hemiptera
Family	:	Reduviidae
Subfamily	:	Harpactorinae
Genus	:	<i>Sycanus</i>
Species	:	<i>Sycanus annulicornis</i> Dohrn

Secara umum, predator adalah organisme yang hidup bebas dan memperoleh makanan dengan cara membunuh serta memangsa organisme lain. Dalam ekosistem perkebunan kelapa sawit, peran *S. annulicornis* sangat vital sebagai musuh alami untuk menekan populasi hama pemakan daun. Sebagai serangga yang secara kolektif dikenal sebagai "kepek pembunuh" (*assassin bug*) dari famili Reduviidae, fungsinya sebagai pemangsa aktif sangat didukung oleh morfologinya. Serangga ini memiliki alat mulut bertipe penusuk dan pengisap (rostrum) yang mematikan, berfungsi untuk menyuntikkan enzim pelumpuh sekaligus mengisap cairan tubuh mangsanya (Guntoro *et al.*, 2024).



Gambar 3. *Sycanus annulicornis*
Sumber : SMART (2025)

S. annulicornis efektif sebagai predator utama hama Ulat Pemakan Daun Kelapa Sawit (UPDKS), seperti ulat api (*Setothosea asigna*) dan ulat kantong (*Metisa plana*), dikarenakan kombinasi antara perilaku berburu yang agresif dan

adaptasi morfologisnya. Kepik ini memiliki kaki depan yang kokoh untuk menangkap dan menahan mangsa yang berukuran hampir sama dengan tubuhnya. Selain itu, *S. annulicornis* memiliki daya predasi tinggi terhadap larva UPDKS di semua stadia, di mana ia menusukkan *rostrum* untuk menyuntikkan racun dan enzim yang melarutkan jaringan tubuh mangsa sebelum menghisapnya, menyebabkan kematian cepat pada ulat hama yang mengancam produksi daun (Afandi *et al.*, 2019).

Tempat tinggal atau habitat yang sering dikunjungi oleh *S. annulicornis* adalah area perkebunan kelapa sawit yang menyediakan sumber mangsa berlimpah dan lingkungan yang stabil. Predator ini biasanya ditemukan bersembunyi dan berburu aktif di antara pelepah daun, khususnya pelepah bawah yang lebih tua atau pada tumpukan pelepah kering, yang berfungsi sebagai tempat berlindung dari perubahan cuaca ekstrem dan aktivitas pemanenan (Lapuasa *et al.*, 2020). Selain itu, mereka sering kali ditemukan pada tanaman penutup tanah atau tanaman semak di bawah tegakan kelapa sawit, terutama yang menyediakan nektar atau pakan alternatif, yang sangat penting untuk mendukung kelangsungan hidup imago dan peningkatan fekunditasnya.

S. annulicornis sangat ideal dijadikan sebagai agen pengendalian hayati karena beberapa alasan kuat yang mendukung keberlanjutan. Pertama, ia memiliki siklus hidup yang relatif singkat dengan kemampuan reproduksi yang memadai, memungkinkan populasinya meningkat dengan cepat untuk menanggapi ledakan populasi hama. Kedua, sebagai predator polifag, ia tidak hanya fokus pada satu jenis hama saja. Namun yang paling penting, penggunaannya sangat ramah lingkungan karena mampu menekan populasi hama hingga ambang ekonomi, sehingga mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang dapat menyebabkan resistensi hama dan merusak ekosistem perkebunan (Sahid, 2019).

Untuk menjadikan *S. annulicornis* sebagai agen pengendalian hayati yang siap dilepas ke lapangan, langkah penting yang harus dilakukan adalah melalui perbanyakan massal di laboratorium atau *insectarium*. Pengembangan ini mencakup pemeliharaan induk predator, perolehan telur, dan pembesaran nimfa hingga menjadi imago. Kunci keberhasilan perbanyakan terletak pada penyediaan pakan buatan atau pakan alternatif yang bernutrisi tinggi dan stabil, seperti larva

Tenebrio molitor (ulat hongkong), untuk memastikan tingkat kelangsungan hidup dan kualitas imago yang tinggi sebelum dilepaskan ke areal perkebunan yang terserang hama (Sahid, 2019).

2.3.1 Siklus Hidup Predator *S. annulicornis*

Siklus hidup *S. annulicornis* dimulai dengan tahap telur, yang menjadi fase pertama dari metamorfosis tidak sempurna (telur, nimfa, imago). Imago betina dewasa akan meletakkan telur-telurnya secara berkelompok, dengan cara direkatkan satu sama lain pada substrat atau permukaan yang dilindungi, dan biasanya telur ini berwarna coklat. Tahap ini memiliki periode inkubasi yang relatif singkat dan stabil, umumnya memerlukan waktu sekitar 15 hingga 19 hari hingga telur menetas dan menghasilkan nimfa. Kualitas genetik induk dan lingkungan, bukan pakan, menjadi penentu utama persentase telur yang berhasil menetas, yang mencerminkan potensi awal dari populasi predator ini untuk berkembang dan mengendalikan hama (Sahid, 2019).

Setelah menetas, predator memasuki tahap nimfa, yang merupakan fase pertumbuhan di mana serangga muda ini sudah aktif memangsa, persis seperti individu dewasa. Nimfa *S. annulicornis* akan melalui lima kali pergantian kulit (instar) sebelum menjadi imago, di mana setiap pergantian kulit diikuti dengan peningkatan ukuran tubuh dan kemampuan memangsa. Durasi total stadium nimfa ini bervariasi antara 64 hingga 82 hari. Variasi waktu ini disebabkan oleh faktor internal seperti genetik dan kondisi suhu lingkungan. Penting untuk dicatat bahwa tingkat mortalitas nimfa cenderung paling tinggi pada instar pertama, menuntut lingkungan yang optimal selama tahap awal kehidupan agar populasi predator dapat tumbuh dan menopang pengendalian hayati yang efektif (Fitri, 2023)

2.3.2 Predasi Hama Ulat Kantong

Proses predasi *S. annulicornis* terhadap hama UPDKS terutama ulat kantong, dimulai dengan strategi perburuan yang mengandalkan indra dan gerakan tubuh untuk mendeteksi larva yang bergerak. Meskipun ulat kantong terlindungi oleh kantong yang dapat menyulitkan predator lain, *S. annulicornis* menggunakan kaki depannya yang kokoh untuk menangkap dan menahan tubuh ulat di dalam atau di luar kantong. Perilaku penting berikutnya adalah penusukan menggunakan alat

mulutnya, yang disebut rostrum. Rostrum ditusukkan ke tubuh mangsa, baik melalui celah-celah kantong atau menembus kutikula larva, dan segera menyuntikkan cairan ludah toksik yang mengandung enzim pencernaan. Cairan ini berfungsi ganda: melumpuhkan sistem saraf ulat kantong dengan cepat dan mencairkan jaringan internalnya, mempersiapkan mangsa untuk dikonsumsi (Batubara *et al.*, 2025).

Setelah mangsa dilumpuhkan, *S. annulicornis* akan memasuki tahap penanganan mangsa (*handling time*) yang diakhiri dengan penghisapan cairan tubuh ulat kantong. Waktu yang diperlukan predator untuk menyelesaikan proses ini bervariasi, penelitian menunjukkan waktu penanganan hama sejenis (ulat api) dapat mencapai 51 hingga 118 menit, tergantung ukuran mangsa (Guntoro *et al.*, 2024). Melalui *rostrum* yang tertancap, predator menghisap semua cairan tubuh (*hemolimfa*), menyebabkan tubuh ulat kantong mengalami pengkerutan, dehidrasi parah, dan perubahan warna menjadi gelap atau coklat.

2.3.3 Peranan Serangga Predator

Peranan utama *S. annulicornis* dalam ekosistem perkebunan kelapa sawit adalah sebagai agen mortalitas alami yang secara efektif menekan populasi hama utama, khususnya Ulat Pemakan Daun Kelapa Sawit (UPDKS) dari famili *Limacodidae* (ulat api) dan *Psychidae* (ulat kantong). Predator ini, baik dalam stadia nimfa maupun imago, secara aktif mencari dan memangsa larva hama di area pelepah daun. Tingginya daya predasi telah dibuktikan dalam penelitian, di mana satu predator mampu memangsa 1 hingga 3 ekor larva hama per hari, menyebabkan mortalitas hama yang cepat segera setelah aplikasi di lapangan. Kehadirannya berfungsi sebagai tekanan ekologis yang berkelanjutan, mencegah ledakan populasi hama yang dapat menyebabkan kerugian produksi massal (Guntoro *et al.*, 2024).

S. annulicornis memegang peranan krusial sebagai pilar dalam implementasi Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang ramah lingkungan. Berbeda dengan insektisida kimia yang memberikan efek cepat tetapi sering kali bersifat non-selektif, predator ini memberikan pengendalian yang berkelanjutan dan berkesinambungan di alam. Dengan memanfaatkan musuh alami seperti *S. annulicornis*, perkebunan dapat meminimalisir penggunaan pestisida sintetis, sehingga mengurangi risiko resurgensi hama (hama muncul kembali dalam jumlah

lebih besar) dan pencemaran lingkungan. Perannya adalah untuk menjaga populasi hama tetap stabil di bawah ambang batas ekonomi, memungkinkan tanaman kelapa sawit mempertahankan produktivitasnya tanpa kerusakan parah (Nusainu, 2025).

Keberadaan populasi *S. annulicornis* di suatu areal perkebunan sering dijadikan indikator penting bagi keseimbangan ekosistem. Kelimpahan predator ini menunjukkan bahwa lingkungan perkebunan tersebut mendukung keberlangsungan hidup musuh alami, baik melalui ketersediaan mangsa maupun adanya tanaman *refuge* (perlindungan) dan tanaman *attractant* (penarik) yang tidak disemprot pestisida. Di lingkungan yang seimbang, *S. annulicornis* akan berkembang biak dan menanggapi peningkatan populasi hama secara alami, memberikan regulasi populasi yang adaptif. Upaya konservasi yang berfokus pada penyediaan habitat dan pakan tambahan (seperti nektar) sangat penting untuk memastikan predator ini memiliki umur panjang dan fekunditas yang optimal di lapangan (Lapuasa *et al.*, 2020).

2.3.4 Populasi *S. annulicornis* di lapangan

Kelimpahan alami kepik predator *Sycanus annulicornis* di ekosistem perkebunan kelapa sawit secara umum berfluktuasi dan sangat dipengaruhi oleh umur tanaman, kondisi tajuk, serta ketersediaan vegetasi penutup tanah (refugia). Berdasarkan survei lapangan yang dilakukan oleh Lapuasa *et al.* (2020), kepadatan populasi alami predator ini ditemukan paling tinggi pada fase Tanaman Belum Menghasilkan (TBM), yaitu mencapai rata-rata 17,67 ekor per blok perkebunan. Mengingat luasan blok komersial standar kelapa sawit umumnya meliputi area seluas 30 hektar, populasi alami alami pada fase TBM diestimasikan sebesar 0,59 ekor per hektar. Sebaliknya, seiring dengan bertambahnya umur tanaman dan penutupan kanopi pada Tanaman Menghasilkan (TM 20 tahun), populasi alami predator ini mengalami penurunan drastis hingga mencapai rata-rata 2,07 ekor per blok atau setara dengan 0,07 ekor per hektar. Penurunan kelimpahan ini disebabkan oleh berkurangnya penetrasi cahaya matahari ke lantai kebun yang memicu kematian vegetasi berguna pembawa nektar ekstrafloral seperti *Turnera subulata* dan *Antigonon leptopus*, sehingga mikrohabitat alami predator menjadi terganggu.

Dalam konteks pengendalian hayati buatan melalui teknik augmentasi (pelepasan massal/inundasi) saat terjadi peningkatan populasi hama pemakan daun

kelapa sawit (UPDKS), ambang target populasi pelepasan dihitung menggunakan parameter kerapatan tegakan atau *Stand Per Hectare* (SPH) kelapa sawit. Penelitian penangkaran dan pengujian lapangan oleh Afandi *et al.* (2019) membuktikan bahwa pelepasan dosis optimal yang efektif menekan populasi larva ulat pemakan daun secara biologis adalah sebesar 3 ekor imago *S. annulicornis* per pokok kelapa sawit. Dengan mengacu pada standar jarak tanam kelapa sawit yang menghasilkan kerapatan populasi pohon rata-rata 136 hingga 143 pokok per hektar, maka kebutuhan pelepasan taktis predator untuk mengendalikan serangan ulat kantung atau ulat api berada pada kisaran 408 hingga 429 ekor per hektar.

Penetapan populasi pelepasan per hektar di lapangan harus diselaraskan dengan asas *Cost-Effectiveness Analysis* (CEA) dan Teori Respons Fungsional guna mencegah terjadinya *mutual interference* (interferensi intraspesifik). Meskipun kerapatan 3 ekor per pokok (setara >400 ekor/ha) memberikan kecepatan predasi total yang tinggi, Batubara *et al.* (2025) menegaskan bahwa penumpukan predator yang terlalu padat pada ruang teritorial tajuk kelapa sawit yang terbatas justru menurunkan efisiensi konsumsi individual. Hal tersebut terjadi karena durasi waktu penanganan mangsa (*handling time*) *S. annulicornis* relatif panjang, yakni 51 hingga 118 menit, sehingga kerapatan pemangsa yang terlampau tinggi meningkatkan frekuensi persinggungan fisik dan memicu perilaku defensif di antara sesama predator. Oleh sebab itu, pelepasan preventif dengan dosis kerapatan rendah seperti 1 ekor predator per pohon (setara 143 ekor per hektar) dengan penambahan cadangan (*buffer*) keselamatan operasional hingga mencapai total 150 ekor per hektar dinyatakan lebih rasional secara manajerial. Dosis populasi ini secara finansial mampu meminimalkan biaya variabel pengadaan pakan ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) selama masa penangkaran massal (*mass rearing*) di laboratorium perusahaan, tanpa mengurangi stabilitas agroekosistem dalam rentang waktu evaluasi monitoring berkala.

2.4 Pengendalian Hama Terpadu (PHT)

Pengendalian Hama Terpadu (PHT) merupakan pendekatan filosofis dalam pengelolaan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang didasarkan pada pemahaman mendalam mengenai interaksi antara hama, musuh alami, tanaman, dan lingkungan. Konsep PHT bertujuan untuk mengintegrasikan berbagai teknik

pengendalian secara kompatibel guna menjaga populasi hama di bawah ambang batas yang dapat merugikan secara ekonomi (*Ambang Ekonomi*). Pendekatan ini muncul sebagai respons terhadap dampak negatif penggunaan pestisida kimia yang berlebihan, yang dapat menyebabkan resistensi hama, resurgensi, dan pencemaran lingkungan (Indiati & Marwoto, 2017).

Penerapan PHT di Indonesia memiliki dasar hukum yang kuat, yang mewajibkan sistem perlindungan tanaman berlandaskan pada PHT, sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman. Standar utama PHT yang menjadi landasan pengambilan keputusan adalah penentuan Ambang Ekonomi (AE). AE berfungsi sebagai batas kritis; intervensi pengendalian hama baru boleh dilakukan hanya ketika populasi hama telah mencapai atau melampaui AE, sehingga tindakan pengendalian bersifat rasional dan mencegah pengeluaran biaya yang tidak perlu sekaligus meminimalkan risiko ekologis (Sudiono, 2019).

Ciri-ciri khas yang membedakan PHT dari pengendalian konvensional menunjukkan orientasi PHT yang preventif dan berkelanjutan. Ciri-ciri tersebut pada dasarnya adalah empat prinsip dasar PHT:

1. Pembudidayaan Tanaman Sehat: Memulai pertanaman dari benih/bibit berkualitas dan lingkungan yang optimal.
2. Pelestarian dan Pendayagunaan Musuh Alami: Mengoptimalkan peran musuh alami yang sudah ada di ekosistem (konservasi).
3. Pengamatan Rutin (Monitoring): Melakukan evaluasi berkala dan tepat waktu di lapangan.
4. Petani Sebagai Ahli PHT: Menempatkan petani sebagai pengambil keputusan utama di lapangan berdasarkan hasil pengamatan mereka (Prabaningrum *et al.*, 2015).

PHT merupakan sistem yang menggunakan serangkaian teknik pengendalian secara terpadu, tidak bergantung pada satu metode tunggal. Komponen-komponen PHT yang dapat diintegrasikan meliputi:

1. Kultur Teknis (Budidaya): Penyiangan, rotasi tanaman, dan penggunaan varietas tahan.

2. Fisik dan Mekanis: Pengambilan hama secara manual atau penggunaan perangkat penangkap sederhana.
3. Hayati/Biologis: Pemanfaatan predator, parasitoid, dan agens hayati (seperti cendawan atau bakteri entomopatogen).
4. Peraturan/Regulasi: Penerapan karantina untuk mencegah masuknya hama baru.
5. Kimiawi Selektif: Penggunaan pestisida yang hanya menargetkan hama dengan dosis rendah dan toksisitas minimal (Pancasona & Suryanti, 2023).

Tujuan akhir dari PHT adalah mencapai pertanian yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. PHT bukan hanya berfokus pada peningkatan hasil, tetapi juga pada aspek sosial dan ekologis. Secara ekonomi, PHT mengurangi biaya operasional karena minimnya penggunaan pestisida, sementara secara ekologis, PHT menjaga keanekaragaman hayati dan melestarikan fungsi ekosistem, termasuk ketersediaan air dan kualitas tanah. Dengan demikian, PHT memastikan bahwa upaya pengendalian hama tidak menimbulkan kerusakan jangka panjang terhadap lingkungan produksi pertanian (Indiati & Marwoto, 2017).

Pendekatan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) memiliki peran fundamental dan menyeluruh dalam pengelolaan hama ulat kantung, khususnya *C. tertia*, yang dikenal sulit dikendalikan karena larva bersembunyi di dalam kantungnya. Peran PHT dimulai dari fase pengamatan rutin (monitoring) untuk mendeteksi peningkatan populasi hama sebelum mencapai Ambang Ekonomi (AE), sehingga tindakan dapat dilakukan secara proaktif dan tepat waktu. PHT juga berfungsi untuk melindungi dan memanfaatkan musuh alami yang sudah ada di ekosistem, memastikan faktor mortalitas alami terhadap *C. tertia* tetap tinggi sebagai garis pertahanan utama. Inti peran PHT adalah memastikan bahwa keputusan pengendalian, yang diambil berdasarkan prinsip ekologi, secara kolektif menjaga populasi ulat kantung di bawah tingkat kerusakan yang dapat diterima secara ekonomi, alih-alih mencoba memusnahkannya secara total (Priambodo & Sirait, 2024).

2.4.1 Teknik Pengendalian Kimiawi

Pendekatan pengendalian secara kimiawi merupakan metode intervensi yang paling cepat dan drastis dalam Pengendalian Hama Terpadu (PHT) terhadap

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Kelebihan utama metode ini terletak pada efektivitasnya yang tinggi dan dampak membunuh yang cepat (*knockdown effect*) terhadap populasi hama yang sedang mengalami ledakan (wabah) dan sudah melewati ambang batas ekonomi. Insektisida, terutama yang bersifat sistemik, dapat dengan mudah mencapai hama yang tersembunyi, sehingga mampu menurunkan populasi OPT secara masif dalam waktu singkat dan mengurangi kerusakan tanaman secara cepat. Efektivitas ini menjadikan pengendalian kimiawi sebagai alat penyelamat yang sangat dibutuhkan ketika intervensi hayati atau kultur teknis tidak mampu mengimbangi laju perkembangan hama (Sinambela, 2024).

Meskipun cepat dan efektif, penggunaan pestisida kimia yang berlebihan atau tidak bijaksana menimbulkan serangkaian kekurangan serius terhadap keberlanjutan agroekosistem. Dampak negatif tersebut meliputi munculnya resistensi hama terhadap bahan aktif, terbunuhnya organisme non-target seperti predator alami dan serangga penyerbuk, serta pencemaran lingkungan (air, tanah, dan udara) yang berpotensi menyebabkan masalah kesehatan pada petani dan konsumen (Sinambela, 2024). Oleh karena itu, dalam kerangka PHT, pengendalian kimia harus bersifat selektif dan menjadi pilihan terakhir, dan dengan aplikasi yang tepat sasaran, metode ini terbukti efektif juga untuk mengendalikan ulat kantung (*C. tertia*).

1. Fogging

Fogging (pengasapan) adalah metode pengendalian kimiawi yang memanfaatkan generator termal untuk mengubah larutan insektisida menjadi partikel kabut (*mist*) atau asap yang sangat halus (ukuran 0.5–50 mikrometer) dan ringan. Komponen utama yang digunakan adalah alat *fogging* generator (seperti Seshin SS FOG) dan larutan campuran yang terdiri dari bahan aktif insektisida kontak (misalnya, *Deltametrin* atau *Sipermetrin*), minyak pelarut (biasanya *solar* atau minyak diesel), dan sedikit air atau *emulgator* untuk memastikan larutan homogen dan menghasilkan asap tebal (Mariana *et al.*, 2023). Partikel halus ini sangat efektif dalam menyelimuti seluruh bagian tajuk tanaman, termasuk bagian bawah daun yang sering menjadi tempat bersembunyi larva ulat kantung.

Teknis aplikasi *fogging* harus dilakukan pada kondisi udara yang tenang, idealnya pada malam hari atau dini hari (sebelum pukul 07.00), karena suhu udara

yang rendah membantu kabut asap insektisida bertahan lebih lama di udara dan mencapai ketinggian tanaman yang maksimal (Priambodo & Sirait, 2024). Pengaturan dosis pada *fogging* sangat penting untuk menentukan rasio campuran dan laju aliran larutan per hektar, sehingga dosis bahan aktif per satuan luas (misalnya, *gr/ha*) tercapai sempurna. Efektivitas *fogging* tergolong tinggi, rata-rata mencapai tingkat kematian (*mortalitas*) hama ulat api 70–94%, tetapi efektivitas ini menurun pada pohon kelapa sawit yang terlalu tinggi (>15 meter) karena kabut tidak mampu mencapai seluruh lapisan tajuk (Munir & Wiraguna, 2025).

Output utama dari pengendalian *fogging* adalah penurunan populasi hama defoliator secara cepat (*quick knockdown effect*) dalam skala area yang luas. Dalam operasionalnya, pekerjaan *fogging* umumnya membutuhkan 1 sampai 2 orang tenaga kerja per unit alat, dengan kapasitas sanggup menangani luasan 2 hingga 4 Ha per jam, menunjukkan efisiensi tinggi dalam hal waktu dan luasan kerja. Namun, metode *fogging* memiliki efek samping yang serius dalam konteks PHT; penggunaan insektisida kontak spektrum luas yang bercampur dengan asap cenderung tidak selektif, membunuh hama target sekaligus musuh alami (predator dan parasitoid) di area aplikasi (Krisna *et al.*, 2023).

2. High Pressure Sprayer (HPS)

High Pressure Sprayer (HPS) adalah metode pengendalian kimiawi yang menggunakan pompa bertekanan tinggi untuk menyemprotkan larutan insektisida dalam bentuk tetesan cair berenergi kinetik besar. Komponen utama HPS adalah mesin pompa bertekanan tinggi (yang bisa dipasang pada traktor atau *skid-mounted*), tangki penampung larutan, dan selang panjang yang terhubung ke *nozzle* semprot yang dibawa oleh operator. Teknis aplikasi HPS dilakukan dengan menyemprotkan langsung ke tajuk daun tanaman yang terserang, memastikan larutan menembus lapisan kantong ulat atau mencapai bagian bawah daun, biasanya menggunakan bahan aktif yang bekerja sebagai racun kontak dan lambung (Salim *et al.*, 2015).

Untuk pengendalian ulat kantung (*C. tertia*), HPS dapat menggunakan insektisida dengan bahan aktif yang bersifat kontak atau sistemik, namun harus dipilih yang selektif sesuai prinsip PHT. Insektisida sistemik berbahan aktif seperti Asefat lebih disukai pada serangan ulat kantung karena racun akan terserap oleh

daun dan dimakan oleh larva yang terlindungi di dalam kantongnya (Gultom, 2021). Efektivitas HPS terbukti sangat baik pada tanaman muda hingga menengah (di bawah 10 meter) karena tekanan tinggi memungkinkan penetrasi yang sempurna. Operasional HPS umumnya melibatkan 1 orang operator mesin dan 2 orang pembantu yang bertugas memegang selang dan menyemprot.

Pengaturan dosis dalam HPS sangat krusial dan berfokus pada pengaturan tekanan pompa (*bar*) dan laju aliran *nozzle* untuk memastikan volume larutan yang tepat (liter/hektar) diaplikasikan. Pengaturan ini harus memastikan bahwa tetesan yang dihasilkan tidak terlalu kasar (agar tidak mudah jatuh ke tanah) dan tidak terlalu halus (agar tidak mudah terbawa angin), dengan *output* larutan yang optimal untuk mencapai target pada bagian tajuk tanaman. Dibandingkan dengan *fogging*, HPS menghasilkan tetesan yang lebih besar, namun tekanan yang tinggi menjamin distribusi yang merata pada permukaan daun. *Output* dari HPS adalah pengendalian yang akurat dan terlokalisasi pada area serangan (Dharmawan & Soekarno, 2020)

Meskipun lebih akurat daripada *fogging*, HPS memiliki keterbatasan luasan kerja karena metode ini bersifat padat karya umumnya, satu tim HPS hanya mampu menangani luasan 1 hingga 2 Ha per hari, jauh lebih rendah daripada *fogging*. Selain itu, efek samping utamanya adalah potensi *run-off* (larutan menetes ke tanah) jika volume aplikasi berlebihan. Namun, HPS cenderung lebih selektif dibandingkan *fogging* jika diaplikasikan hanya pada pelepah yang terserang dan metode ini merupakan salah satu teknik yang masih efektif untuk menembus kantong ulat kantung (*C. tertius*) pada tanaman yang dapat dijangkau (Priambodo & Sirait, 2024).

Pemantauan berkala sangat krusial untuk mengidentifikasi waktu dan lokasi yang tepat untuk intervensi pengendalian hama. Pengaplikasian insektisida perlu dilakukan secara bijak agar dampak buruk terhadap lingkungan dan musuh alami tidak signifikan. Melalui kombinasi metode dan pendekatan yang benar, pengendalian hama UPDKS dapat berjalan efektif, sehingga kesehatan kelapa sawit tetap terjaga dan kerugian produksi dapat ditekan.

2.4.2 Teknik Pengendalian Hayati

Pendekatan pengendalian hayati (*biological control*) merupakan solusi strategis dalam pengelolaan agroekosistem perkebunan yang menawarkan keunggulan fungsional berupa kemampuan menekan populasi hama secara alami,

berkelanjutan, dan adaptif terhadap lingkungan. Dalam kerangka filosofis Pengendalian Hama Terpadu (PHT), metode hayati diposisikan sebagai pilar utama penyeimbang ekosistem yang memanfaatkan peran agens biotik seperti predator, parasitoid, dan agens patogen guna meminimalkan ketergantungan operasional terhadap pestisida sintetis. Penerapannya didasarkan pada pemahaman ekologis yang mendalam untuk menjaga populasi hama sasaran tetap berada di bawah batas Ambang Ekonomi (AE), alih-alih melakukan eradikasi total (Indiati & Marwoto, 2017). Guna mencapai stabilitas populasi tersebut, implementasi perlindungan tanaman secara universal dibagi ke dalam tiga teknik operasional utama di lapangan, yaitu teknik konservasi musuh alami, teknik augmentasi, dan teknik introduksi atau pengendalian hayati klasik.

1. Konservasi Musuh Alami

Teknik pertama, yaitu konservasi, berfokus pada pelestarian, perlindungan, dan peningkatan efisiensi populasi musuh alami asli (*indigenous*) yang memang sudah mendiami agroekosistem setempat. Strategi ini diwujudkan melalui rekayasa ekologis berupa penyediaan habitat penunjang dengan menanam tanaman bermanfaat (*beneficial plants*) atau tanaman pembawa keuntungan, seperti *Turnera subulata* dan *Antigonon leptopus*, di area piringan atau gawangan kelapa sawit.



Gambar 4. *Turnera subulata*
Sumber : Dokumentasi pribadi (2025)

Vegetasi penutup tanah ini berperan vital menyediakan sumber nektar sebagai pakan alternatif imago predator, yang secara biologis terbukti meningkatkan fekunditas, umur hidup (*longevity*), serta kapasitas reproduksinya di alam liar (Lapuasa *et al.*, 2020). Selain manipulasi tanaman refugia, unsur mutlak dalam keberhasilan teknik konservasi adalah modifikasi aplikasi bahan kimia perusahaan.

Manajemen perkebunan wajib membatasi atau menghindari penggunaan insektisida kontak spektrum luas yang non-selektif, karena penyemprotan kimiawi yang masif terbukti merusak keseimbangan musuh alami dan membunuh populasi predator pelindung tersebut (Krisna *et al.*, 2023).

2. Augmentasi Musuh Alami

Teknik kedua adalah augmentasi, yang diaplikasikan ketika populasi musuh alami eksisting di lapangan dinilai terlalu rendah dan tidak mampu mengimbangi laju ledakan wabah hama. Teknik ini bertumpu pada program penangkaran atau perbanyakan massal (*mass rearing*) agens hayati di dalam laboratorium atau insectarium terkendali, untuk kemudian dilepaskan secara taktis ke area perkebunan. Berdasarkan pola rilisnya, augmentasi dibagi menjadi pelepasan inokulatif (*inoculative release*) untuk kolonisasi jangka panjang, dan pelepasan inundatif (*inundative release*) atau "banjir" predator dalam jumlah masif untuk menurunkan populasi hama secara instan layaknya pestisida biologi. Contoh nyata teknik ini adalah pelepasan predator *Sycanus annulicornis* untuk mengendalikan ulat kantung *Clania tertia*. Kepik pembunuh ini berburu agresif, mencengkeram larva dengan kaki depan, lalu menusukkan alat mulut penusuk-pengisap (*rostrum*) untuk menyuntikkan cairan ludah toksik (*venom*) bermuatan enzim protease. Melalui mekanisme pencernaan ekstraoral (*non-reflux extraoral digestion*), jaringan tubuh ulat akan dicairkan dan diisap hingga mati dalam kondisi mengkerut serta mengalami dehidrasi parah (Cantón & Bonning, 2020; Afandi *et al.*, 2019).

3. Pengendalian Hayati Klasik

Teknik ketiga adalah introduksi, yang secara akademis populer dengan istilah pengendalian hayati klasik (*classical biological control*). Berbeda dengan konservasi dan augmentasi yang mengoptimalkan agens lokal, teknik introduksi dijalankan dengan mengimpor atau memasukkan musuh alami eksotik (luar daerah/luar negeri) dari wilayah asal hama menuju agroekosistem baru yang sedang mengalami serangan. Metode introduksi ini menjadi opsi utama yang mutlak diperlukan apabila suatu kawasan pertanian atau perkebunan terserang oleh hama asing invasif (*alien pest*) yang tidak sengaja masuk ke suatu negara, sehingga di ekosistem baru tersebut tidak ada satu pun musuh alami lokal yang adaptif atau mampu menekan populasinya. Tujuan definitif dari teknik introduksi klasik ini

adalah membiarkan agens hayati yang diimpor tersebut melakukan adaptasi permanen, mendirikan koloni mandiri, dan menciptakan titik keseimbangan ekologis baru di alam secara permanen, sehingga manusia tidak perlu melakukan pelepasan ulang di masa depan.

Ditinjau dari perspektif ekonomi manajerial agribisnis, integrasi ketiga teknik pengendalian hayati tersebut menawarkan nilai efisiensi finansial jangka panjang yang jauh lebih superior dibandingkan strategi kimiawi konvensional. Ketergantungan ekstrem terhadap input racun sintetis terbukti memicu kegagalan komersial jangka panjang akibat munculnya resiko resistensi hama, resurgensi populasi, dan pembengkakan biaya pengadaan bahan kimia (Sinambela, 2024). Sebaliknya, investasi perusahaan pada unit penangkaran musuh alami untuk mendukung program augmentasi dan konservasi memiliki karakteristik finansial skala ekonomis (*economies of scale*). Seiring dengan pembesaran skala produksi massal menggunakan pakan alternatif larva ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) yang murah dan mudah diperbanyak, biaya operasional marginal prorata per hektar akan tereduksi secara signifikan (Primananda *et al.*, 2025; Sahid, 2019). Melalui skenario *mass rearing* berskala besar, beban biaya tetap peralatan akan terbagi rata ke seluruh luasan areal rilis, menjadikan biokontrol hayati secara matematis terbukti lebih hemat sekaligus menjamin kelestarian agroekosistem kelapa sawit secara berkelanjutan (Kusano *et al.*, 2026).

2.5 Analisis Biaya

Pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) dalam skala perkebunan komersial tidak hanya bertumpu pada efektivitas biologis di lapangan, melainkan juga harus memenuhi asas kelayakan ekonomi manajerial agribisnis. Dalam pandangan ekonomi produksi pertanian, tindakan pengendalian hama diposisikan sebagai bentuk investasi taktis untuk mencegah kerusakan organ asimilat tanaman yang dapat mendegradasi nilai komersial hasil panen. Pengambilan keputusan dalam kerangka Pengendalian Hama Terpadu (PHT) mensyaratkan bahwa intervensi teknologi baru—termasuk transisi dari metode kimiawi konvensional menuju agens hayati—harus dianalisis menggunakan pendekatan minimalisasi biaya operasional (*cost-minimization analysis*) guna

memastikan efisiensi alokasi sumber daya perusahaan tanpa mengorbankan stabilitas agroekosistem (Mankiw, 2021; Indiaty & Marwoto, 2017).

Struktur biaya pengendalian secara komprehensif dapat diidentifikasi melalui akumulasi dua komponen pengeluaran dasar, yaitu Biaya Tetap (*Fixed Cost*) dan Biaya Tidak Tetap (*Variable Cost*). Biaya Tetap didefinisikan sebagai jenis pengeluaran investasi perkebunan yang besarnya bersifat konstan dalam jangka pendek dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi volume aplikasi maupun luas areal penanganan di lapangan (Mankiw, 2021). Di perkebunan kelapa sawit, komponen ini mencakup investasi kapital awal seperti pengadaan alat semprot mesin (Tanika Sprayer), alat pelindung diri (APD) pekerja seperti respirator, kaca mata, helm, apron, dan sepatu boots, serta infrastruktur penangkaran berupa gedung insectarium dan rak pemeliharaan.

Sebaliknya, Biaya Tidak Tetap merupakan komponen pengeluaran yang besarnya berubah-ubah secara dinamis menyesuaikan intensitas serangan hama, rotasi aplikasi, serta luasan hektar lahan yang diintervensi (Mankiw, 2021). Pengeluaran bahan habis pakai penyemprotan kimia seperti insektisida berbahan aktif *Cypermethrin*, perekat (*spreader*), bahan bakar bensin, serta oli 2 tak diklasifikasikan ke dalam biaya tidak tetap. Sementara dalam skenario pengendalian hayati, yang termasuk ke dalam variabel biaya tidak tetap meliputi pengadaan bahan penunjang habis pakai penangkaran (kapas, kain kasa, madu, alkohol), upah harian tenaga kerja untuk kegiatan koleksi induk atau pelepasan predator, serta biaya pakan alternatif larva ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) selama masa pemeliharaan (Sahid, 2019).

Penggabungan secara matematis antara keseluruhan total biaya tetap (TBT) dan biaya tidak tetap (TBTT) ini akan menghasilkan nilai Biaya Total (*Total Cost*) operasional pengendalian hama. Untuk menilai rasionalitas finansial dari adopsi agens biokontrol dibandingkan dengan metode konvensional kimiawi perusahaan, analisis dapat dihitung menggunakan rasio persentase penghematan biaya relatif (*Relative Cost Saving*). Indikator ekonomi ini mengukur sejauh mana variasi penurunan pengeluaran input mampu dioptimalkan oleh manajemen saat beralih ke strategi hayati. Namun, dalam praktik adopsi teknologi agribisnis komersial, capaian efisiensi yang melampaui margin 5% diklasifikasikan sebagai tingkat

penghematan yang signifikan atau maksimal. Margin ini secara teoritis ditetapkan sebagai batas aman untuk menutupi beban risiko transisi operasional (*switching cost*), penyesuaian alat, serta biaya adaptasi tenaga kerja dari penggunaan metode kimiawi menuju integrasi teknologi hayati di lapangan (Soekartawi, 2016).

Keunggulan finansial jangka panjang dari implementasi agens hayati sangat dipengaruhi oleh fenomena ekonomi yang dikenal sebagai Skala Ekonomis (*Economies of Scale*). Konsep ini menetapkan kondisi di mana peningkatan volume produksi penangkaran musuh alami dalam jangka panjang justru akan menurunkan biaya rata-rata per satuan hektar secara signifikan (Mankiw, 2021). Pada program perbanyakan massal (*mass rearing*) serangga predator di perkebunan kelapa sawit, penurunan biaya marginal per hektar ini tercapai karena beban investasi awal peralatan penangkaran serta prorata beban biaya upah tenaga kerja perawatan harian dapat didegradasi seiring meluasnya cakupan area rilis lapangan (Kusano *et al.*, 2026). Pengoptimalan pakan alternatif yang murah, stabil, dan mudah diperbanyak secara massal merupakan kunci utama dalam meminimalkan biaya variabel guna menjamin keberlanjutan ekonomi operasional PHT di tingkat perusahaan (Primananda *et al.*, 2025).

2.6 Kajian Terdahulu

Penelitian Terdahulu berfungsi sebagai acuan krusial dalam suatu karya ilmiah, di mana kegunaan utamanya adalah memetakan dan menganalisis studi-studi yang sudah ada yang relevan dengan topik yang diteliti. Setiap penelitian terdahulu yang ditinjau pasti memiliki perbedaan dan persamaan hasil, dan proses komparasi ini diperlukan untuk menegaskan bahwa karya penelitian yang baru tidak memiliki kesamaan secara keseluruhan (*plagiat*). Dengan demikian, peninjauan hasil-hasil pengkajian sebelumnya bukan digunakan sebagai jiplakan, melainkan untuk mencari relevansi serta memperkuat kerangka pikir penelitian yang sedang dikembangkan. Penggunaan temuan-temuan sebelumnya dimaksudkan untuk memberi gambaran yang lebih jelas mengenai posisi riset saat ini, sehingga orisinalitas dan kontribusi ilmiah dari penelitian yang dilakukan dapat dibuktikan secara logis dan terstruktur (Sudiono, 2019).

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Pengkaji	Metode	Hasil
1.	<i>Predatory ability of S. annulicornis Dohrn (Hemiptera: Reduviidae) on nettle caterpillar (Setora nitens) (Lepidoptera: Limacodidae) in the laboratory.</i> (Rustam <i>et al.</i> , 2025)	Menggunakan RAL (Completely Randomized Design) dengan 3 perlakuan jumlah imago (1 jantan, 1 betina, 1 pasang), masing-masing 7 ulangan. Pengujian dilakukan dalam toples/plastic container berisi 5 ekor <i>Setora nitens</i> per unit. Parameter diamati: waktu pencarian mangsa pertama & kedua, waktu penanganan mangsa, tingkat predasi harian, dan total predasi selama 3 hari.	Perlakuan 1 pasang imago paling efektif dengan waktu pencarian mangsa tercepat (0,79 menit dan 0,71 menit), waktu penanganan mangsa tercepat (3,86 jam), serta total predasi 100% selama 3 hari. Imago betina memiliki tingkat predasi harian lebih tinggi dibandingkan jantan.
2.	Pengendalian Hayati Hama Ulat Kantung (<i>Metisa plana</i>) Menggunakan Serangga Predator <i>S. annulicornis</i> Pada Tanaman Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq) di PT Umada Kabupaten Labuhanbatu Utara. (Saputri, 2024)	Penelitian eksperimental kuantitatif menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Non Faktorial dengan 4 perlakuan (P0=Kontrol, P1=1 ekor, P2=2 ekor, P3=3 ekor predator) dan 4 ulangan. Penelitian dilakukan langsung di penangkaran PT Umada hidup imago, siklus hidup, dan perilaku kawin	<i>S. annulicornis</i> efektif menekan populasi <i>M. plana</i> dengan perbedaan nyata antar perlakuan (uji DMRT 5%). Perlakuan P3 (3 ekor predator) menghasilkan mortalitas tertinggi sebesar 40,00% dalam pengamatan 7 hari dan 48 ± 6 hari, jantan 39 ± 5 hari. Siklus hidup total: betina 141 ± 7 hari, jantan 127 ± 8 hari. Perilaku kawin terdiri atas arousal, approach, riding over, kopulasi ($14,8 \pm 3,2$ menit), dan pasca kopulasi tanpa kanibalisme

Lanjutan Tabel 1.

3.	<i>Population Dynamics of The Bagworm, C. tertia Templeton (Lepidoptera: Psychidae) on Immature Oil Palm at Pelalawan Regency, Riau. (Manurung & Anwar, 2019)</i>	Penelitian observasional langsung di dua lokasi berbeda (Blok A dengan perlakuan Injeksi Batang dan Blok K tanpa perlakuan). Pengamatan dilakukan 10 kali dengan interval mingguan pada 25 tanaman sampel untuk menghitung populasi dan faktor kematian (predator, parasitoid, insektisida).	Populasi ulat kantung di Blok K (tanpa perlakuan kimia) meningkat, namun kematian akibat predator alaminya tinggi (mencapai 56,25%). Sebaliknya, di Blok A populasi menurun terutama karena insektisida (52,27%), bukan karena predator.
4.	<i>Daya Predasi Predator S. annulicornis Terhadap Hama Ulat Api (Setothosea asigna) Pada Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq). (Guntoro et al., 2024)</i>	Penelitian eksperimental menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial di Lahan Praktik Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI). Terdiri dari 4 perlakuan kepadatan mangsa: P1 (3 ekor), P2 (6 ekor), P3 (9 ekor), dan P4 (12 ekor) <i>S. asigna</i> dengan 1 ekor predator per sungkup.	Predator <i>S. annulicornis</i> mampu mempredasi ulat api pada semua perlakuan. Waktu pencarian mangsa (<i>searching time</i>) tercepat adalah 39,0 menit (P4) dan terlama 84,0 menit (P2). Waktu penanganan mangsa (<i>handling time</i>) tercepat tercatat 51,0 menit dan terlama 118 menit.
5.	<i>Biologi dan Perilaku Kawin S. annulicornis Dohrn. (Hemiptera: Reduviidae) yang diberi pakan larva Tenebrio molitor L (Sahid et al., 2016)</i>	Penelitian laboratorium. Imago dikoleksi dari lapangan lalu dipelihara dalam gelas plastik (6,5 cm; tinggi 5 cm). Pakan 5 larva <i>T. molitor</i> /hari. Parameter diamati: periode inkubasi telur, fekunditas, fertilitas, perkembangan nimfa (instar 1–5), mortalitas	Periode inkubasi telur 15–19 hari. Rata-rata 81 ± 40 telur/kelompok, daya tetas $74,74 \pm 18,77\%$. Nimfa mengalami 5 instar. Mortalitas tertinggi pada instar 1 signifikan, namun tidak pada jumlah jantang. (35,2%). Rasio kelamin 3:4 (jantan:betina). Lama hidup imago: betina 48 ± 6 hari, jantan 39 ± 5 hari. Siklus hidup

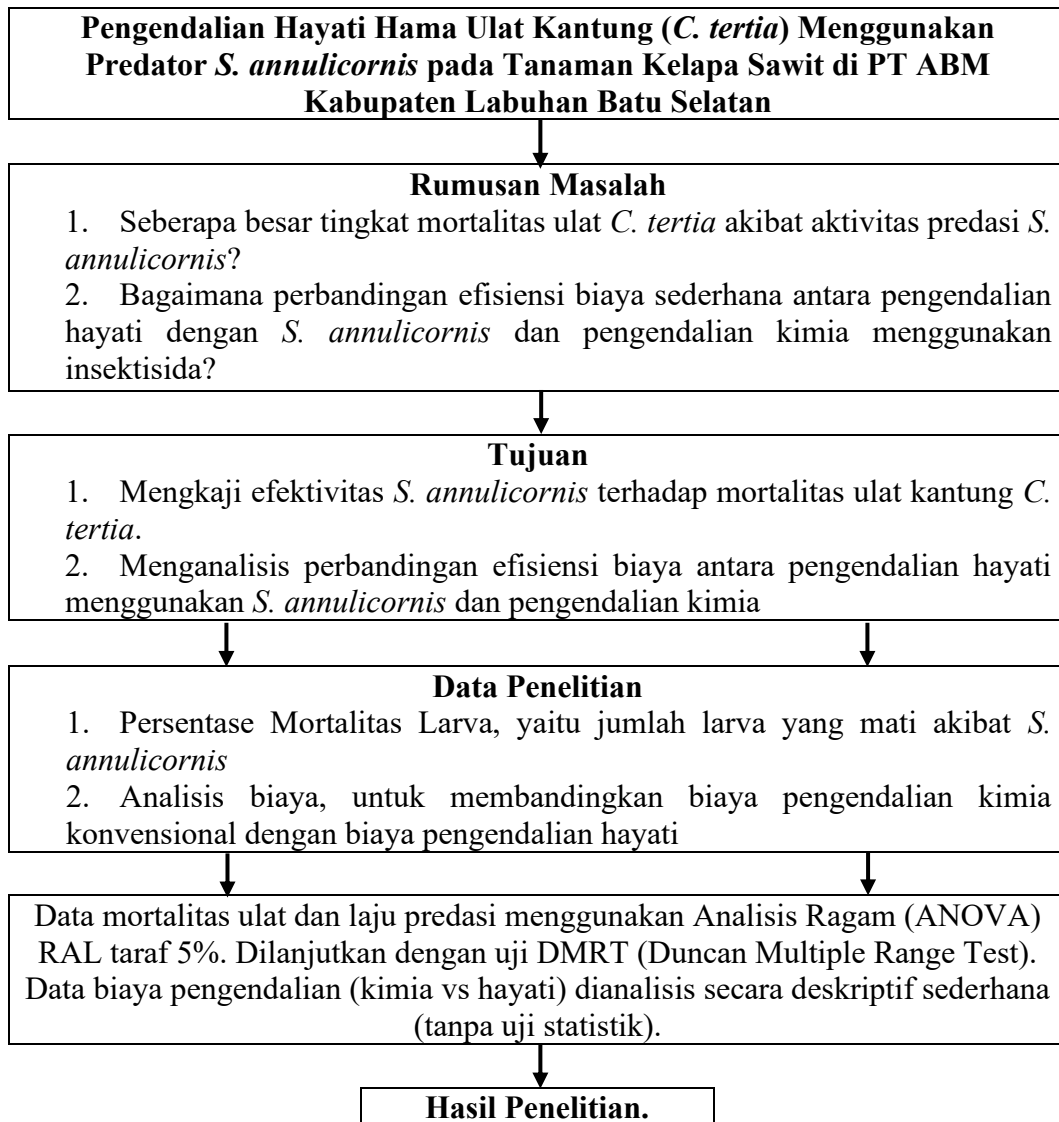
Lanjutan Tabel 1.

		total: betina 141 ± 7 hari, jantan 127 ± 8 hari. Perilaku kawin terdiri atas arousal, approach, riding over, kopulasi ($14,8 \pm 3,2$ menit), dan pasca kopulasi tanpa kanibalisme.
6.	Aspek Biologi <i>S. annulicornis</i> Dohrn. yang Dipelihara Dengan Pakan Alternatif Larva <i>Alphitobius diaperinus</i> Panzer (Sahid, 2019)	Metode deskriptif di laboratorium ($24-28^{\circ}\text{C}$, RH 55 - 90%). Pemeliharaan tunggal nimfa dengan pakan 5 ekor larva per hari. Parameter: periode inkubasi, fekunditas, fertilitas, perkembangan nimfa (5 instar), mortalitas, lama hidup imago, dan rasio seks. Periode inkubasi telur $19,0 \pm 2,1$ hari dengan fertilitas $41,8 \pm 11,4\%$. Total perkembangan nimfa $82,4 \pm 6,4$ hari dengan mortalitas tertinggi pada instar 1 ($34,1 \pm 2,1\%$). Rasio jenis kelamin jantan dan betina adalah 1:4. Siklus hidup imago betina ($143,5 \pm 12,3$ hari) lebih lama dibandingkan jantan ($118,7 \pm 9,6$ hari).
7.	<i>Economic Impact of Severe Bagworm Infestation on Oil Palm Yield</i> (Ahmad <i>et al.</i> , 2025)	Studi komparatif plot terserang vs tidak terserang (masing-masing 200 ha) di Perak, Malaysia (2015-2018). Data dianalisis dengan <i>independent t-test</i> . Parameter: hasil per hektar, berat janjang rata-rata (ABW), dan jumlah janjang rata-rata (ABN). Terjadi penurunan hasil sebesar 37,96% pada 2017 dan 36,81% pada 2018 (rata-rata 37%). Kerugian ekonomi rata-rata mencapai RM4.306,45/ha/tahun. Defoliiasi >30% Menyebabkan penurunan berat janjang secara signifikan, namun tidak pada jumlah janjang.
9.	Kemampuan Predator (<i>S.</i>	Menggunakan RAL non-faktorial dengan 4 taraf <i>S. annulicornis</i> mampu

Lanjutan Tabel 1.

<i>annulicornis</i> Dohrn) Dalam Mengendalikan Hama Ulat Api (<i>Setothosea asigna</i>) Di Perkebunan Kelapa Sawit (Afandi <i>et al.</i>, 2019)	perlakuan jumlah predator (0, 1, 2, dan 3 ekor imago) terhadap 10 ekor mangsa, masing-masing dengan 4 ulangan . Penelitian dilakukan di <i>Screen House</i> menggunakan bibit sawit 4 bulan yang disungkup kawat kasa . Parameter: jumlah ulat yang mati dan persentase mortalitas	mengendalikan mangsa mulai hari ke-1 setelah aplikasi. Perlakuan F3 (3 ekor predator) adalah yang paling efektif dengan tingkat kematian tertinggi dan mampu mencapai mortalitas total dalam interval waktu 4 hari. Rata-rata tingkat pemangsaan harian predator ini adalah 1–3 ekor.
10. <i>Ecological design for the propagation of S. dichotomus in insectariums for sustainable oil palm pest management</i> (Primananda <i>et al.</i>, 2025)	Analisis biaya dan teknis perbanyak massal di laboratorium/insektarium menggunakan pakan alternatif larva <i>Alphitobius diaperinus</i> (ulat kandang). Fokus pada struktur biaya operasional untuk mendukung keberhasilan program PHT	Larva <i>A. diaperinus</i> terbukti efektif dan ekonomis sebagai pakan alternatif untuk memproduksi imago predator secara massal. Desain ini memungkinkan penyediaan musuh alami secara kontinu bagi perkebunan.
11. Perbedaan Kerapatan Mangsa Terhadap Perilaku dan Kemampuan Pemangsaan <i>S. annulicornis</i> Dohrn. (<i>Hemiptera: Reduviidae</i>) (Batubara <i>et al.</i>, 2025)	Eksperimen laboratorium menggunakan mangsa <i>Spodoptera frugiperda</i> dengan variasi kerapatan mangsa. Mengamati perilaku pemangsaan dari tahap pencarian hingga penanganan mangsa selesai	Hasil menunjukkan adanya pengaruh signifikan kerapatan mangsa terhadap efisiensi predasi. Predator menunjukkan respons fungsional terhadap peningkatan jumlah mangsa, di mana waktu penanganan per mangsa berubah sesuai kerapatan.

2.7 Kerangka Pikir



Gambar 5. Kerangka Pikir.

2.8 Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan serta didukung dengan beberapa informasi dan hasil pengamatan awal di lokasi, maka dapat disusun suatu hipotesis sebagai bentuk kesimpulan sementara. Adapun hipotesis pada pengkajian ini adalah :

1. Diduga terdapat pengaruh nyata pemberian berbagai jumlah predator *S. annulicornis* terhadap tingkat mortalitas larva *C. tertia*.
2. Diduga pengendalian hayati lebih efisien dari pengendalian kimiawi