BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manfaat Alam Semesta dalam Al-Qur'an

Alam semesta ciptaan Allah dan lingkungan tempat manusia hidup merupakan bagian tak terpisahkan dari kehidupan umat manusia secara keseluruhan. Kita beriman bahwa alam semesta ini adalah ciptaan Allah, dan kita meyakini bahwa manusia sebagai ciptaan Allah dimuka bumi ini dengan tugas utamanya adalah memakmurkan bumi, yang intinya meliputi (Shihab,1999):

a. Al-intifa' (mengambil manfaat dan mendayagunakan sebaik-baiknya)
b. Al-I'tibar (mengambil pelajaran, memikirkan, mensyukuri, seraya menggali rahasia-rahasia dibalik alam ciptaan Allah.
c. Al-Islah (memelihara dan menjaga kelestarian alam sesuai dengan maksud sang pencipta, yakni untuk kemaslahatan dan kemakmuran manusia.

Al-Qur'an merupakan kitab yang memberikan petunjuk kepada umat manusia. Al-Qur'an mendorong manusia untuk menggunakan akal pikirannya dalam melakukan observasi alam sehingga diperoleh penemuan baru yang selaras dengan Al-Qur'an (Shihab,1999). Allah Swt menciptakan segala sesuatu dengan rancangan dan fungsi yang tepat, tidak ada satupun di dunia ini yang ia ciptakan tanpa manfaat. Adanya berbagai jenis makhluk hidup yang diciptakan Allah disemesta alam ini, merupakan tanda-tanda kekuasan Allah bagi orang yang mau berfikir. Karena setiap sesuatu yang diciptakan Allah pasti memiliki faedah yang sangat berguna bagi kesejahteraan manusia. Maka sudah sepantasnya bagi manusia untuk berupaya memikirkan penciptaan Allah SWT dengan melakukan observasi alam semesta sehingga diperoleh penemuan baru dalam pengkayaan

ilmu yang selaras dengan Al-Quran (Shihab, 1999). Allah berfirman dalam QS. Ali-imron ayat 190-191 :

إِنَّ فِي خَلْقِ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ وَٱخْتِلَٰفِ ٱلَّيْلِ وَٱلنَّهَارِ لَأٓيَٰتٍ لِّأُو۟لِى ٱلْأَلْبَٰبِ ﴿١٩٠﴾ ٱلَّذِينَ يَذْكُرُونَ ٱللَّهَ قِيَٰمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَٰذَا بَٰطِلًا سُبْحَٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ ٱلنَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: "*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal,191. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka.*

Berdasarkan ayat diatas bahwasanya Allah SWT memerintahkan kepada manusia yang telah diberikan kelebihan akal untuk mengkaji segala sesuatu yang ada dilangit dan bumi, karena tidak ada ciptaan Allah di dunia ini yang sia sia, artinya Allah menciptakan segala sesuatu dengan memberikan manfaat didalamnya untuk kesejahteraan manusia di muka bumi ini. Semua ciptaan Allah mempunyai manfaat dan harus dimanfaatkan. Dengan terungkapnya rahasia - rahasia Allah melalui hasil penelitian, akan menambah keyakinan akan kebesaran dan kekuasaan Allah (Abdushshamad, 2003).

Semua makhluk yang ada didunia ini diciptakan tidak semata mata hanya untuk melengkapi isi langit dan bumi. Tapi Allah memberikan manfaat bagi semua makhluknya. Manusia diperintahkan untuk menuntut ilmu agar mereka mempelajari segala yang telah Allah ciptaan. Pada zaman yang canggih seperti sekarang ini, seiring dengan kemajuan teknologi manusia dapat mempelajari

manfaat ciptaan Allah dengan mudah, baik itu hewan, tumbuhan dan makhluk hidup lainya.

Semua makhluk hidup dapat dimanfaatn untuk kesejahteraan manusia. Salah satu makhluk hidup yang dapat dimanfaatkan adalah nematoda entomopatogen yang dapat digunakan sebagai bioinsektisida untuk mengendalikan hama pertanian. Nematoda entomopatogen adalah makhluk yang berukuran sangat kecil, ukuran dewasa berkisar antara 1200 um -1500 um (Kaya, 1979). Allah menciptakan segala sesuatu di alam semesta ini dengan kadarnya masing-masing. Dengan ketentuan kadar inilah Allah membuat variasi ciptaan-Nya. Hal tersebut dijelaskan dalam surat An-Nahl ayat 13:

وَمَا ذَرَأَ لَكُمْ فِي ٱلْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَٰنُهُۥٓ ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَءَايَةً لِّقَوْمٍ يَذَّكَّرُونَ ﴿١٣﴾

Artinya: *dan Dia (menundukkan pula) apa yang Dia ciptakan untuk kamu di bumi ini dengan berlain-lainan macamnya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran.*

Dalam surat An Nahl ayat 13 ini terdapat kalimat (dengan berlain-lainan macamnya) dalam tafsir al-Qurtubi (2009)., menjelaskan bahwa Allah menciptakan binatang, tumbuhan dan lainya itu berlainan macamnya, dengan keadaan, karakter dan fungsi masing-masing. Termasuk juga nematoda entomopatogen yang merupakan hewan kecil dan memiliki struktur yang sedemikian rupa sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia. Nematoda entomopatogen juga memiliki spesies yang bermacam-macam, dengan ciri yang berbeda. salah satu spesies dari nematoda entomopatogen adalah steinernema spp.

Salah satu kebesaran Allah adalah makhluk ciptaan Allah yang ada di muka bumi. Dijelaskan dalam surat Al- Jaatsiyah (ayat 13) :

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَمَا فِي ٱلۡأَرۡضِ جَمِيعٗا مِّنۡهُۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَأٓيَٰتٖ لِّقَوۡمٖ يَتَفَكَّرُونَ ١٣

Artinya: *dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir.*

Ayat diatas menunjukkan bahwa manusia dapat memanfaatkan segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT. Menurut Assiba'I (1993), Kata (memudahkan atau menundukkan) pada ayat diatas adalah sesuatu yang dapat kita taklukkan yang berarti menunndukkan segala isi alam semesta untuk kepentingan manusia. Karena di alam semesta ini tidak ada sesuatu yang sukar digunakan oleh manusia, asal manusia menggunakan akal dan pikiran serta ilmu pengetahuannya dan mengerti bagaimana mengembangkan kebaikan-kebaikan yang berasal dari benda tersebut. Seperti contohnya adalah mikroorganisme termasuk nematoda entomopatogen yang memiliki manfaat bagi manusia jika di teliti dan dikaji, yaitu dapat digunakan sebagai biopestisida.

2.2 Pengendalian Hama Terpadu (PHT)

Pengendalian hama terpadu (PHT) adalah sebuah konsep pengendalian yang mengintegrasikan teknik-teknik pengendalian yang bertujuan untuk mengendalikan populasi hama berada dibawah ambang ekonomi yang secara

ekologi dan ekonomi dapat diterima. Tulisan *Science fiction* dari Carlson (1962) yang berjudul *Slient Spring* menjadi tonggak besejarah bagi pemikiran banyak orang untuk mengurangi penggunaan pestisida dilingkungan pertanian dan meningkatkan kinerja musuh alami. Buku Carlson telah membuka mata banyak orang dan bahkan menyadarkan banyak ahli toksikologi akan bahaya yang dapat ditimbulkan oleh residu pestisida. Keberhasilan pemanfaatan pengendalian hayati adalah salah satu kunci sukses penerapan pengendalian hama terpadu (PHT) (Sembel, 2010).

Prinsip-prinsip pengendalian hama terpadu (PHT) sebagaimana yang dikemukakan oleh Untung (2006) adalah sebagai berikut:

a. Pengendalian hama harus merupakan bagian atau komponen atau subsistem pengelolaan agroekosistem.
b. Pengendalian hama harus dilakukan dengan berlandaskan prinsip pembangunan pertanian berkelanjutan.
c. Strategi pengelolaan agrosistem yang berkelanjutan antara lain: pengurangan masukan produksi yang membahayakan, memanfaatkan potensi agen pengendali hayati, penyesuaian pola tanam, dan penekanan pada pengelolaan usaha tani.
d. Tujuan PHT tidak hanya pengendalian hama saja, tetapi juga mempunyai tujuan yang komprehensif, antara lain produksi pertanian tinggi, peningkatan kesejahteraan petani, perhatian pada populasi hama dalam keseimbangan, perhatian pada keanekaragaman hayati, pembatasan penggunaan pestisida, pengurangan resiko keracunan pada manusia dan binatang serta peningkatan daya saing dan nilai tambah produk.

Berbagai belahan dunia, terutama di Negara-negara berkembang, upaya peningkatan produksi pertanian selalu dilakukan melalui peningkatan frekuensi tanam, penggunaan varietas tanaman yang tinggi produksinya, dan meningkatkan penggunaan agronomikal seperti pupuk sintetis dan pestisida. Secara umum akhirnya pestisida menjadi satu-satunya solusi yang dianggap dapat dengan cepat menyelesaikan problem organisme pengganggu. Petani menjadi sangat tergantung padanya dan hal itu kemudian menimbulkan ketergantungan terhadap pestisida. Para ahli entomologi lebih berhati-hati menggunakan pestisida dalam pengendalian hama. Banyak jenis pestisida, seperti anggota-anggota hidrokarbon yang mengandung klorin (DDT, Heptaklor, BHC, Aldrien, Endrin, Klordane, dll) yang sangat berbahaya bagi lingkungan, karena bukan hanya dapat mematikan manusia dan hewan tetapi juga mempunyai sifat yang tidak dapat diuraikan secara hayati (*non biodegradable pesticides)* (Sembel, 2010).

Menurut Purnomo (2010), efek negatif penggunaan pestisida sintetik meliputi: 1) problem kesehatan, dimana pestisida dapat membahayakan, dapat meracuni manusia dan hewan, kontak dengan pestisida dapat terjadi secara langsung (ketika melakukan penyemprotan dan pencampuran), atau secara tidak langsung melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi pestisida. 2) masalah lingkungan, di mana sebagian besar pestisida tidak hanya membunuh organisme pengganggu, namun juga membunuh binatang liar dan orgaisme non-target serta mikroorganisme tanah. Beberapa jenis pestisida persisten pada jaringan tanaman dan tanah dalam waktu yang lama, dan beberapa terakumulasi tidak hanya dalam tubuh serangga, tetapi juga pada hewan pemakan serangga. Pestisida juga dapat terbawa aliran sungai yang meracuni organisme dalam sungai

tersebut. 3) problem finansial, dimana pestisida dapat menjadi sangat mahal. Kebanyakan petani menyemprot pestisida lebih dari yang sebenarnya dibutuhkan dan juga menyemprot pestisida yang sebenarnya tidak diperlukan.

Pada beberapa kasus terbukti bahwa aplikasi pestisida kimia ternyata malah menjadikan problem organisme pengganggu menjadi lebih besar. Kenyataannya, tidak semua serangga pada pertanaman menyebabkan kerusakan, bahkan ada serangga yang justru merupakan pemangsa (*natural enemies)*, pestisida juga akan membunuh musuh alami. Tanpa adanya musuh alami maka serangga hama yang *survive* dari penyemprotan pestisida akan berkembang lebih cepat dan *pest level* serangga hama tersebut akan lebih tinggi dibandingkan saat sebelum disemprot. Pestisida kimia sintestis kadang-kadang memang dapat bekerja dengan baik, tapi tidak selalu merupakan jawaban yang tepat. Kadang-kadang pestisida tidak dapat mengendalikan populasi hama karena berbagai alasan. Beberapa dampak negatif penggunaan pestisida sintetis terhadap hama yaitu (Purnomo, 2010):

1. Terjadinya Ledakan Hama Kedua

   Meski pestisida kimia sintetis masih menjadi teknik pengendalian hama secara luas digunakan, tetapi saat ini sudah banyak pemikiran untuk pengembangan alternatif lain. Ketika pestisida diaplikasikan untuk mengendalikan serangga hama, hal itu akan menyebabkan musuh alami yang mengonsumsi serangga hama menjadi berada dalam kondisi yang tidak berlimpah. Bahkan bisa dikatakan akibat penggunaan pestisida tersebut maka kemudian tidak ada lagi musuh alami. Oleh karena itu saat serangga hama menginvasi daerah tersebut,

maka tidak ada lagi musuh alami sehingga populasi hama dapat meningkat secara cepat.

2. Ledakan Hama Sekunder

   Ketika musuh alami mengalami kematian akibat aplikasi pestisida kimia, ada serangga hama jenis lain yang awalnya bukan merupakan hama sasaran/utama yang kemudian populasinya justru meningkat. Karena tidak ada musuh alami yang mampu menjaga kepadatan polulasinya selalu rendah, maka serangga itu kemudian dapat meningkat dengan pesat populasinya. Kondisi ini dikenal sebagai ledakan hama sekunder.

3. Resistensi Hama

   Penggunaan pestisida yang terlalu intensif akan menyebabkan terjadinya resistensi pestisida. Resistensi berkembang ketika pestisida secara ekstrem efektif mematikan sebagian besar populasi hama setelah aplikasi. Akan tetapi, kadang-kadang beberapa populasi masih hidup karena secara fisiologi berbeda dan toleran terhadap pestisida tersebut. Strain baru itu menjadi resisten terhadap pestisida dan populasinya akan terus meningkat meskipun pestisida diaplikasi berulang-ulang.

Ketiga fenomena negatif yang diakibatkan oleh penggunaan pestisida berlebihan terhadap serangga hama sering dikenal sebagai *pesticide treadmill* yang menyebabkan peningkatan ketergantungan untuk selalu menggunakan teknik ini (Surachman, 2010).

Dalam konsep Pengendalian Terpadu Hama, pestisida berperan sebagai salah satu komponen pengendalian. Prinsip penggunaannya adalah:

a. Harus kompatibel dengan komponen pengendalian lain, seperti komponen hayati
b. Efisien untuk mengendalikan hama tertentu
c. Meninggalkan residu dalam waktu yang tidak diperlukan
d. Tidak boleh persistent, jadi harus mudah terurai
e. Dalam perdagangan (transport, penyimpanan, pengepakan, labeling) harus memenuhi persyaratan keamanan yang maksimum
f. Harus tersedia antidote untuk pestisida tersebut
g. Sejauh mungkin harus aman bagi lingkungan fisik dan biota
h. Relatif aman bagi pemakai (ld50 dermal dan oral relatif tinggi)
i. Harga terjangkau bagi petani.

2.3 Pengendalian Hayati

Penggunaan metode pengendalian secara hayati mempunyai cakupan yang cukup luas, meskipun kebanyakan program pengendalian hayati ini masih banyak dititikberatkan pada penggunaan serangga-serangga entomofagus untuk ngendalikan hama serangga pertanian. Meskipun demikian, perkembangan metode ini sebenarnya telah lebih luas dari apa yang mungkin diketahui oleh banyak orang. Agen-agen pengendali hayati kini mencakup penggunaan selain serangga-serangga entomofagus, juga menggunakan pathogen-patogen seperti virus, bakteri, jamur, nematoda, dan berbagai jenis vertebrata (Sembel, 2010).

Pengendalian hayati menitikberatkan kajian terhadap interaksi antara organisme dan musuh alaminya. Organisme target sebagai itu dapat berkedudukan sebagai mangsa (*prey)* atau inang (*host)*, sedangkan musuh alaminya berfungsi sebagai predator atau parasit. Parasit yang tergolong ke dalam kelas heksapoda

dikenal dengan parasitoid, Sedangkan yang tergolong mikroorganisme disebut dengan patogen. Pengendalian hayati merupakan pengendalian hama yang akhir-akhir ini semakin diminati karena memiliki keunggulan, di antaranya adalah sifatnya yang ramah lingkungan. Pengendalian hayati diharapkan dapat mencegah peledakan populasi hama. Sifat-sifat baik pengendalian hayati sering dibandingkan dengan sifat buruk yang dimiliki oleh metode pengendalian kimiawi yang meracuni lingkungan, boros, menimbulkan resistensi dan resurgensi hama, dan sebagainya (Susilo, 2007).

Sembel (2010) mengemukakan, pengendalian secara hayati juga memiliki keunggulan dan kelemahan, sama dengan pengendalian hama yang lain. Sukses peggunaan metode pengendalian ini tentu saja tidak banyak tergantung pada kondisi setempat dan terutama pada usaha dari pihak-pihak manusia itu sendiri. Terdapat beberapa keunggulan dalam penerapan pengendalian secara hayati yaitu bebas dari efek samping yang merusak, memiliki derajat spesifitas yang tinggi, biaya pengendalian kadang-kadang relatif rendah, memiliki sifat-sifat yang dapat memperbanyak diri, pengendalian bersifat permanen, mudah untuk diterapkan, dan agen pengendali hayati akan aktif mencari inangnya sendiri. Namun, selain keunggulan, terdapat beberapa kelemahan dalam pengendalian hayati yaitu kemampuan agen hayati menekan populasi hama terbatas, pencarian agen hayati yang tepat cukup rumit, tidak semua agen biotik dapat dibiakan dalam laboratorium, sukses hanya pada daerah-daerah tertentu, pengendalian hayati membutuhkan waktu yang lebih lama dan membutuhkan tenaga yang terampil.

Salah satu agen pengendali hayati adalah nematoda entomopatogen (NEP). Nematoda yang yang bersifat patogen terhadap serangga adalah dari famili *Steinernematidae* dan *Heterorhabditidae* yang hidup bebas di dalam tanah. Sampai sekarang telah diidentifikasi ada 43 spesies NEP dari dua famili, 33 spesies dari genus steinernema, satu spesies dari genus Neosteinernema dan Sembilan jenis dari genus Heterorhabditis. NEP ini dapat diisolasi dengan menggunakan larva ngengat lilin *Galeria mellonela* dari tanah (Purnomo, 2010).

Sebagai agen pengendali hayati, NEP mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan pestisida kimia, yaitu pada kemampuannya mencari inang dan membunuh dengan cepat (24-28 jam) dan kemampuan untuk *survive dan recycling* di dalam tanah, aman terhadap lingkungan dan mudah diproduksi secara massal. Nematoda telah digunakan untuk pengendalian hayati klasikal dan beberapa telah sukses. *Steinernema scapterici* sukses mengurangi populasi jangkerik di Uruguay selama 3 tahun (Surachman, 2010).

2.4 Nematoda Entomopatogen

Indonesia memiliki potensi agens hayati yang luar biasa banyak (mega biodiversity) terutama Nematoda entomopatogen, Nematoda entomopatogen adalah nematoda yang memparasit serangga yang dapat dijumpai disetiap jengkal tanah di Indonesia (mulai dari pantai sampai pegunungan) (Grewal, 2005). Nematoda entompatogen (NEP) pertama kali ditemukan oleh Gotthold Steiner di Jerman pada tahun 1923 yang diberi nama Steinernema kraussei. Kemudian tahun 1929 Rudholf William Glaser menemukan Steinernema yang menginfeksi kumbang Jepang Papillia japonica di New Jersey, sehingga steinernema tersebut diberi nama Steinernema glaseri. Glaser pulalah yang pertama berhasil

membiakkan secara axenic (tanpa bakteri simbion). Nematoda entompatogen adalah agens pengendali hayati dalam famili Steinernematidae dan Heterorhabditidae (Gaugler, 2002). Nematoda ini membunuh serangga dengan bantuan yang diperoleh dari simbiotik mutualistik dengan bakteri yang dibawa dalam saluran pencernaannya (intestine) (Xenorhabdus berasosiasi dengan genus Steinernema spp. dan Photorhabdus berasosiasi dengan Heterorhabditis spp. (Hajek, 2004). Sampai sekarang telah diidentifikasi 43 spesies NEP dari dua famili dan tiga gener, 33 spesies dari genus Steinernema, satu spesies dari genus Neosteinernema, sembilan dari genus Heterorhabditidae (Poinar, 1979).

Nematoda entomopatogen merupakan salah satu agens pengendali hayati hama tanaman yang sangat potensial, karena secara aktif mencari serangga inang sasaran sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan hama-hama yang berada dalam jaringan tanaman seperti hama pengorok daun (leafminer) dan penggerek batang (stemborer). Di samping itu pemanfaatn NEP untuk mengendalikan hama tanaman dapat mengurangi dampak negatif dari penggunakan pestisida sintetik, karena bersifat spesifik menyerang serangga-serangga yang menjadi hama tanaman (Sulistyanto, 2000).

Studi tentang famili Steinernematidae dan Heterorhabditidae telah dilakukan secara intensif karena kemampuan keduanya sebagai agens pengendali hayati pada serangga hama. Kedua famili adalah nematoda yang sangat kecil atau kurang dari 1-3 mm panjang. Kedua famili ini termasuk dalam ordo Rhabditida, meskipun tidak terlalu dekat akan tetapi keduanya memiliki strategi hidup yang sangat mirip. Untuk Steinernema jantan dan betina harus masuk ke dalam tubuh serangga inang agar dapat bereproduksi, sedangkan Heterorhabditis semua

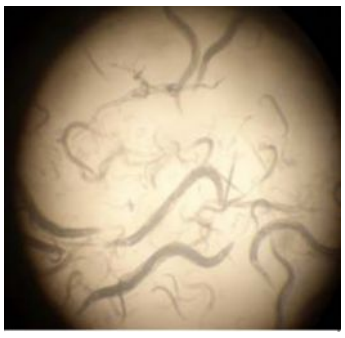
juvenil akan menjadi hermaphrodit, sehingga hanya diperlukan hanya satu individual untuk menginfeksi serangga inang agar dapat bereproduksi. Juvenil akan tetap berada dalam tubuh induknya, pada dasarnya memparasit juga induknya, hanya akan meninggalkan induknya ketika akan menjadi dewasa (Heikki, 1995). Aspek unik dari nematoda ini adalah simbiosisnya dengan bakteri. Juvenil stadia ke-3 membawa bakteri dalam saluran pencernaannya (gut) dan ketika sesudah menginfeksi inangnya, maka bakteri itu akan dikeluarkan. Bakteri yang bersimbiosis itu adalah Xenorhabdus pada Steinernematidae dan Photorhabdus pada Heterorhabditidae (Gaugler, 2002).

2.4.1 Taksonomi dan Morfologi Steinernema

Klasifikasi nematoda *Steinernema* spp. menurut Poinar (1993) adalah sebagai berikut:

Filum: Nematoda
Kelas: Secernantae
Ordo: Rhabditida
Famili: *Steinernematidae*
Genus: *Steinernema*
Spesies: *Steinernema* spp.

Morfologi Steinernema secara umum dapat lihat pada gambar berikut (Heikki, 2003):



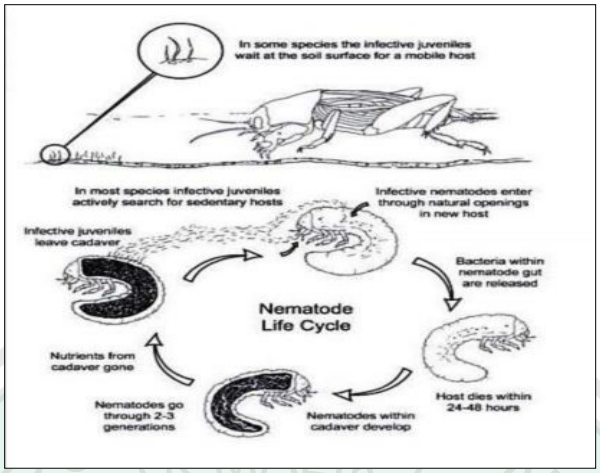
Gambar 2.1 : Morfologi nematoda entomopatogenik genus *Steinernema*.

Nematoda *Steinernema* spp. mempunyai bentuk tubuh seperti cacing, tubuhnya panjang dan agak silindris. Spesies *Steinernema* spp. alat pencernaannya terdiri dari stoma (mulut), esophagus (faring), korpus (prokorpus dan metakorpus),isthmus, basal bulbus usus dan anus. Selain itu, genus ini memiliki pori eksterior yang terletak di depan cicin syaraf yang berfungsi sebagai saluran ekresi (Grewal, 2005). Menurut Kaya (1993), panjang tubuh nematoda *Steinernema* spp. memiliki ukuran yang berbeda-beda pada setiap stadiumnya. Pada juvenil 1, nematoda Steinernema spp. memiliki panjang tubuh 438-500 µm, juvenil 2 memiliki panjang tubuh lebih dari 500 µm, juvenil 3 memiliki panjang tubuh 736-950 µm dan pada stadium dewasa memiliki panjang tubuh 1200-1500 µm. Di dalam perkembangannya, nematoda entomopatogen *Steinernema* sp. mempunyai siklus hidup sebagai berikut : telur, juvenil dan dewasa. Sebelum mencapai dewasa, nematoda entomopatogen ini akan mengalami empat kali ganti kulit, baik yang terjadi di dalam telur, dalam lingkungan atau di dalam tubuh inangnya (Gaugler, 2002).

2.3.2 Siklus hidup Steinernema

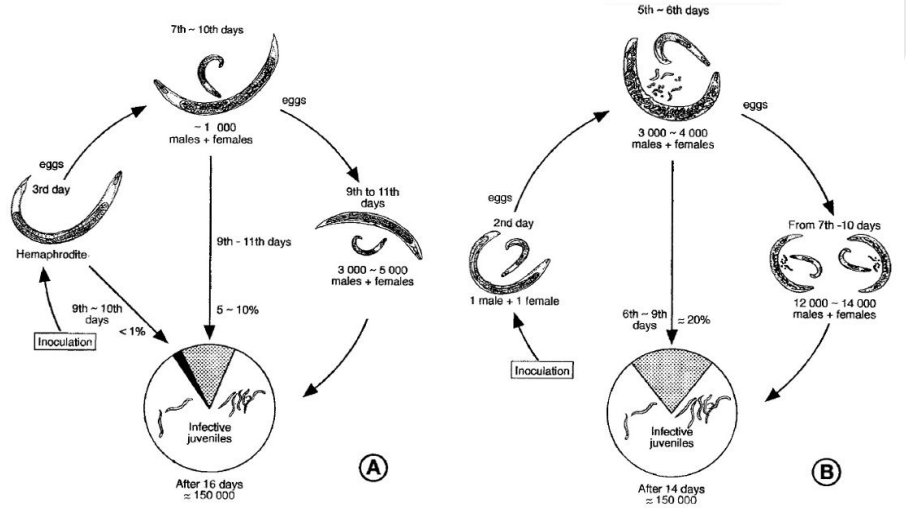
Nematoda *Steinernema* spp. mempunyai siklus hidup yang sederhana, perkembangannya dari telur, juvenil dan dewasa. Nematoda berkembang dengan cepat menjadi dewasa dan menghasilkan telur. Seperti jenis nematoda entomopatogen dari ordo Rhabditida lainnya, *Steinernema* terdiri dari 4 stadia juvenil (juvenil 1 sampai juvenil 4). Stadia yang paling infektif adalah stadia juvenil 3 (IJ 3). Juvenil infektif yang secara morfologis dan fisiologis dapat hidup

untuk waktu yang lama sebelum mendapatkan inangnya, kemudian mencapai fase reproduksi di dalam tubuh serangga inangnya (Poinar, 1979).



Gambar 2.3 : Daur hidup nematode entomopatogen. Larva *Papolllia japonica* sebagai serangga inang di dalam tanah.

Menurut (Gaugler, 1993) siklus hidup Nematoda entomopatogen digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.4 : A. Daur hidup *Heterorhabditis bacteriophora.* B. Daur hidup *Steinernema carpocapsae.*

Nematoda akan memproduksi satu sampai tiga generasi di dalam inang yang sama dan memproduksi generasi baru dalam waktu 7-10 hari. Setelah nutrisi habis JI akan keluar dari tubuh inang, dalam jumlah ratusan sampai ribuan untuk

mencari inang baru. Biasanya JI steinernematidae keluar dari tubuh inangnya dalam 8-10 hari setelah terinfeksi (Kaya, 1993). Nematoda pada umumnya berada dalam serangga inangnya dalam 2-3 generasi. Setelah itu *free living* juvenil infektif akan akan secara aktif mencari inangnya setelah keluar dari inang yang telah dati. Juvenil infektif dapat hidup untuk 1-3 bulan sebelum mendapatkan inangnya tergantung dari konsisi lingkungannya (Hajek 2004).

Tubuh JI masih terbungkus kutikula larva II yang berfungsi sebagai pelindung dari gangguan fisik, mikroorganisme dan vertebrata yang lain. Fase infektif ini merupakan fase yang paling penting karena JI dapat aktif mencari inangnya. Nematoda akan masuk kedalam tubuh serangga inang dengan cara melakukan penetrasi melalui lubang alami (mulut, anus, dan spirakel) atau kutikula yang tipis. Didalam rongga tubuh serangga inang, nematoda melapaskan bakteri simbion dan akan menyebabkan kematian serangga dalam waktu 24-48 jam (Kaya, 1993).

2.4.3 Ekologi Steinernema

Faktor abiotik dan biotik sangat mempengaruhi efikasi dan persistensi nematoda entomopatogen untuk mengendalikan serangga hama yang hidup di lingkungan tanah, habitat tersembunyi dan daun. Persistensi JI yang digunakan sangat dipengaruhi faktor instrinsik (tingkah laku, fisiologi, karakteristik genetik) dan ekstrinsik. Faktor ekstrinsik meliputi faktor abiotik (temperatur, kelembaban tanah, tekanan osmotik, tekstur tanah, kelembaban, radiasi UV yang ekstrim) dan faktor biotik (antibiosis, kompetisi, dan musuh alami) (Hajek, 2004).

Lingkungan yang sesuai merupakan faktor utama bagi perkembangbiakan nematoda. Kemampuan nematoda untuk menyebar, mempertahankan diri,

menemukan inang, dan bereproduksi dalam tanah sangat dipengaruhi oleh kelembaban dan temperatur tanah (Gaugler, 2001). Kelembaban merupakan syarat penting untuk bertahan hidup dalam habitat mikro nematoda. Kelembaban relatif yang optimum berkisar antara 70-80%, nematoda akan bertahan sampai 20 hari (Poinar, 1979). Nematoda hidup dalam tanah yang lembab, basah, daerah perakaran atau terdapat pada vegetasi yang rimbun. Kedalaman 0 – 10 cm dari permukaan tanah. Temperatur yang sesuai bagi nematoda adalah 19^{o} C sampai 29^{o}C dan kelembaban 100 % (Sulistyanto, 2000). Infeksi nematoda ptaogen serangga dilakukan oleh Juvenil stadia III (*Juvenil Invektif*).

2.4.4 Mekanisme Serangan *Steinernema* spp.

Mekanisme infeksi dan patogenisitas nematoda entomopatogen dalam serangga inang merupakan faktor-faktor yang menunjukkan spesifitas inang dari nematoda ini. Invasi dan evasi terhadap ketahanan inang merupakan tahapan pentingdalam proses patogenik. Kemampuan nematoda untuk melakukan penetrasi ke dalam haemocoel serangga dengan pelepasan enzim proteolitik merupakan salah satu faktor spesifik dalam hubungan timbal balik nematoda – serangga. Faktor spesifik lain adalah kemampuan nematoda untuk melawan ketahanan internal serangga yang berupa senyawa antibakteri. Toksin dan enzim ekstraseluler merupakan senyawa yang dilepaskan oleh nematoda untuk menyerang serangga inang (Kaya, 2000). Mekanisme patologi NEP memarasit serangga inang dengan jalan penetrasi secara langsung melalui kutikula ke dalam hemocoel atau melalui lubang-lubang alami, seperti spirakel, mulut dan anus. dan stigma (Gaugler, 2002). Dikemukakan oleh Poinar (1979) bahwa terdapat interaksi mutualistik antara NEP dan bakteri Xenorhabdus spp. atau Photorhabdus

sp, dimana bakteri simbion tersebut terdapat dalam saluran pencernakan dari juvenil infektif (NEP). Setelah masuk dalam tubuh serangga, nematoda melepaskan bakteri ke dalam haemolymph. Didalam tubuh serangga, bakteri bereproduksi dan menghasilkan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan nematoda. Tanpa bakteri simbion dalam serangga inang, nematoda tidak akan dapat bereproduksi, karena bakteri simbion ini berfungsi sebagai makanan yang sangat diperlukan oleh nematoda (Grewal, 2005). Demikian juga sebaliknya, bakteri tidak akan dapat masuk ke dalam tubuh serangga apabila tanpa bantuan nematoda entomopatogen, yang mempenetrasi tubuh serangga inang. Dengan demikian simbiosis antara bakteri simbion dan nematoda entomopatogen tidak dapat dipisahkan dan merupakan syarat mutlak antara keduanya (Sulistyanto, 2000).

Dalam haemolymph serangga, bakteri menghasilkan enzim ekstra seluler selama multiplikasi (Protease, Lipase, Lechitinase, DNAase dan Phosphatase) dan Lipo Poli Sakharida (LPS) yang merusak haemocyt (sel darah serangga) dan menghambat Prophenoloxidase, yaitu senyawa kimia anti bakteri yang berfungsi sebagai ketahanan internal serangga (Grewal, 2002). Dalam haemolymph serangga, bakteri juga menghasilkan toksin yang dapat menyebabkan kematian pada serangga apabila mekanisme pertahanan tubuh serangga tidak berhasil dalam mengatasi kompleksitas simbiose nematoda–bakteri (Jarosz, 1996). Adanya enzim dan toksin tersebut menyebabkan serangga mati dalam waktu cepat (24-48 jam) (Grewal, 2002) Dalam tubuh inang yang mati, nematoda entomopatogen berkembang cepat dengan memakan sel bakteri dan jaringan tubuh inang, hingga akhirnya tinggal kulit tubuh inangnya saja (Gaugler, 2002).

Mekanisme patogenisitas nematoda entomopatogen secara umum melalui beberapa tahap yaitu invasi, evasi dan toksikogenesis. Invasi merupakan suatu proses terjadinya penetrasi nematoda entomopatogen ke dalam tubuh serangga inang melalui kutikula dan lubang-lubang alami, seperti mulut, anus, spirakel dan stigma. Tahap selanjutnya adalah evasi yaitu tahap dimana nematoda entomopatogen mengeluarkan bakteri simbion di dalam tubuh serangga inang. Setelah melalui tahap invasi dan evasi, selanjutnya terjadi proses toksikogenesis yaitu tahapan dimana bakteri simbion menghasilkan toksin sehinggadapat menyebabkan kematian kematian pada serangga inang (Sulistyanto, 1999).

Gambar 2.4 : *Steinernema* spp. menyerang larva *Diaprepes abbreviates*, hama tanaman jeruk. Warna merah pada kutikula serangga disebabkan oleh pigmen yang dihasilkan oleh bakteri simbion *Xenorhadus spp.*

Proses kematian serangga berawal dari pelepasan bakteri simbion oleh nematoda dalam haemolimph setelah nematoda masuk kedalam tubuh serangga, di dalam tubuh serangga bakteri bereproduksi dan menghasilkan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan nematoda, selanjutnya nematoda memakan sel bakteri dan jaringan inangnya (Kaya, 1993) Secara umum gejala dan tanda inang yang terinfeksi oleh nematoda entomopatogen adalah serangga akan berhenti bergerak dan makan, pertama kali terjadi perubahan warna di ujung

abdomen dari coklat muda hingga ke abu-abuan kemudian ke seluruh tubuh larva dan lama kelamaan akan menjadi hancur (Kaya, 1993). Hasil penelitian purnomo (2010) menunjukkan gejala serangan *Steinernema carpocapsae* pada *Spodoptera litura* ditandai dengan perubahan warna larva menjadi coklat kekuningan dan tubuh larva menjadi lembek. Hal tersebut dikarenakan aktifitas bakteri *Xenorhabdus* spp. yang menghasilkan eksotoksin.

2.4.5 Aplikasi Nematoda di Lapang

Steinernema spp. menjadi harapan baru bagi petani, karena diketahui sebagai nematoda entomopatogen yang efektif untuk mengendalikan beberapa hama penting komoditas pertanian dan perkebunan. Khususnya untuk komoditas perkebunan, nematoda ini telah diujicobakan untuk mengendalikan hama uret tebu yang selama ini menjadi musuh petani tebu terutama di lahan berpasir. Ujicoba dilakukan oleh Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya pada tahun 2009. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Steinernema spp tersebut efektif untuk mengendalikan hama uret tebu. Dosis 12.500 IJ/tan dapat direkomendasikan sebagai dosis aplikasi NEP di lapang (Zahroin, 2013).

Rosmana (2003) menyatakan pengujian yang dilakukan di malino dan enrekang menunjukkan bahwa nematoda yang diaplikasikan pada daun kubis dengan populasi 100.000 nematoda/m2 dapat secara efektif megurangi kerusakan pada tanaman kubis. Hal yang sama dilakukan pada Bawang merah, aplikasi nematoda di musim kemarau di jeneponto dapat menurunkan populasi *Spodoptera exigua* pada kerusakan daun. Pengamatan terhadap produksi menunjukkan bahwa bawang merah yang diaplikasi nematoda memberikan produksi umbi 25% lebih tinggi bila dibandingkan dengan bawang merah yang tidak diaplikasi nematoda.

Hasil penelitian David (2003) menunjukkan bahwa nematoda efektif mengatasi hama penggerek batang *Xyleutes ceramicus* pada pohon *G. abrorea*. aplikasi dilakukan dengan memberi nematoda entomopatogen *Heterorhabditis* sp. Sebanyak 2 sendok takar dengan populasi 1 sendok sekitar 3690 nematoda pada lubang pohon yang rusak akibat hama. Kematian larva mencapai 100 % selama 4 hari setelah aplikasi. Gejala kematian larva akibat nematoda Heterorhabditis sp. ditandai dengan perubahan warna tubuh, yang semula putih terang menjadi coklat muda dan tubuhnya menjadi lembek.

Ariana (2002) melaporkan bahwa pengendalian rayap yang merusak kayu dan bangunan dapat diatasi dengan pemanfaatan nematoda entomopatogen. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi *Steinernema* sp. Dengan konsentrasi 550 JI/ml efektif mengendalikan hama rayap tanah C. curvignathus dengan mortalitas 90,3 %.

2.5 Pestisida

Secara harfiah pestisida artinya pembunuh hama (*pest*: hama dan *cide*: pembunuh), Pestisida adalah substansi kimia dan bahan lain serta jasad renik dan virus yang digunakan untuk mengendalikan berbagai hama. Yang dimaksud hama di sini adalah sangat luas, yaitu serangga, tungau, tumbuhan pengganggu, penyakit tanaman yang disebabkan oleh fungi (jamur), bakteria dan virus, kemudian nematoda (bentuknya seperti cacing dengan ukuran mikroskopis), siput, tikus, burung dan hewan lain yang dianggap merugikan. Pestisida juga diartikan sebagai substansi kimia dan bahan lain yang mengatur dan atau menstimulir pertumbuhan tanaman atau bagian-bagian tanaman. Sesuai konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT), penggunaan pestisida ditujukan bukan untuk memberantas

atau membunuh hama, namun lebih dititiberatkan untuk mengendalikan hama sedemikian rupa hingga berada dibawah batas ambang ekonomi atau ambang kendali.

Pestisida merupakan bahan kimiawi yang banyak digunakan di bidang pertanian untuk membasmi hama penyakit (Djojosumarto, 2008). Penggunaan pestisida di bidang pertanian dapat menekan hilangnya hasil tanaman akibat serangan hama dan penyakit. Meskipun pestisida kimia memiliki banyak keuntungan ekonomi bagi petani dan masyarakat, namun dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan semakin dirasakan oleh masyarakat luas. Berbagai jenis pestisida telah beredar dan diproduksi di seluruh Indonesia, seperti pestisida kelompok insektisida (pembunuh serangga), rodentisida (pembunuh tikus), akarisida (pembunuh tungau), fungisida (pembunuh jamur), herbisida (pembunuh gulma) dan berbagai jenis pestisida lain. Karena organisme sasaran yang berbeda tiap kelompok pestisida tersebut umumnya memiliki sifat tersendiri sehingga tidak efektif untuk pengendalian organisme lain dari golongan yang lain (Untung 2006).

Berdasarkan sifat dan cara kerja racun pestisida masuk kedalam tubuh hama, pestisida dibedakan menjadi (Djojosumarto, 2008):

a. Racun Kontak

   Pestisida jenis ini bekerja dengan masuk ke dalam tubuh serangga sasaran lewat kulit (kutikula) dan di transportasikan ke bagian tubuh serangga tempat pestisida aktif bekerja.

b. Racun Pernafasan (*Fumigant*)

Pestisida jenis ini dapat membunuh serangga dengan bekerja lewat sistem pernapasan.

c. Racun perut

Jenis pestisida yang membunuh serangga sasaran jika termakan serta masuk ke dalam organ pencernaannya.

d. Racun sistemik

Cara kerja seperti ini dapat memiliki oleh insektisida, fungisida dan herbisida. Racun sistemik setelah disemprotkan atau ditebarkan pada bagian tanaman akan terserap ke dalam jaringan tanaman melalui akar atau daun, sehingga dapat membunuh hama yang berada di dalam jaringan tanaman seperti jamur dan bakteri. Pada insektisida sistemik, serangga akan mati setelah memakan atau menghisap cairan tanaman yang telah disemprot.

e. Racun metabolisme

Pestisida ini membunuh serangga dengan mengintervensi proses metabolismenya.

Formulasi pestisida yang dipasarkan terdiri atas bahan pokok yang disebut bahan aktif (*active ingredient*) yang merupakan bahan utama pembunuh organisme pengganggu dan bahan ramuan (*inert ingredient)* Beberapa jenis formulasi pestisida sebagai berikut (Sudarmo, 2008):

a. Tepung Hembus, debu (*dust* = D)

Bentuknya tepung kering yang hanya terdiri atas bahan aktif, misalnya belerang atau dicampur dengan pelarut aktif, kandungan bahan aktifnya rendah sekitar 2-10%. Dalam penggunaannya pestisida ini harus dihembuskan menggunakan alat khusus yang disebut *duster*.

b. Butiran (*granula = G)*

Pestisida ini berbentuk butiran padat yang merupakan campuran bahan aktif berbentuk cair dengan butiran yang mudah menyerap, bagian luarnya ditutup dengan suatu lapisan.

c. Tepung yang dapat disuspensikan dalam air (*wettable powder* = WP)

Pestisida berbentuk tepung kering agak pekat ini belum bisa secara langsung digunakan untuk memberantas jasad sasaran, harus terlebih dahulu dibasahi air. Hasil campurannya dengan air disebut suspensi. Pestisida jenis ini tidak larut dalam air, melainkan hanya tercampur saja. Oleh karena itu, sewaktu disemprotkan harus sering diaduk atau tangki penyemprotnya digoyang-goyang.

d. Tepung yang larut dalam air (*water-sofable powder* = SP)

Pestisida berbentuk SP ini sepintas mirip WP. Penggunaanya pun ditambahkan air. Perbedaannya terletak pada kelarutannya. Bila WP tidak bisa terlarut dalam air, SP bisa larut dalam air. Larutan ini jarang sekali mengendap, maka dalam penggunaannya dengan penyemprotan, pengadukan hanya dilakukan sekali pada waktu pencampuran.

e. Suspensi (*flowable concentrate* = F)

Jenis ini merupakan campuran bahan aktif yang ditambah pelarut serbuk yang dicampur dengan sejumlah kecil air. Hasilnya adalah seperti pasta yang disebut campuran basah. Campuran ini dapat tercampur air dengan baik dan mempunyai sifat yang serupa dengan formulasi WP yang ditambah sedikit air.

f. Cairan (*emulsifiable concentrare* = EC)

Bentuk pestisida ini adalah cairan pekat yang terdiri dari campuran bahan aktif dengan perantara emulsi (*emulsifiet*). Dalam penggunaanya, biasanya dicampur dengan bahan pelarut berupa air. Hasil pengencerannya atau cairan semprotnya disebut emulsi.

Merek dagang pestisida biasanya selalu diikuti dengan singkatan formulasinya dan angka yang menunjukkan besarnya kandungan bahan aktif. Menurut Djojosumarto (2008), ada tiga macam konsentrasi yang perlu diperhatikan dalam hal penggunaan pestisda yaitu:

a) Konsentrasi bahan aktif, yaitu persentase bahan aktif suatu pestisida dalam larutan yang sudah dicampur dengan air
b) Konsentrasi formulasi, yaitu banyaknya pestisida dalam cc atau gram setiap liter air.
c) Konsentrasi larutan atau konsentrasi pestisida, yaitu persentase kandungan pestisida dalam suatu larutan jadi.

Pengendalian untuk hama serangga pestisida yang digunakan adalah jenis insektisida. Pengelompokan insektisida yang paling penting adalah menurut sifat kimianya. Insektisida kimia dapat dibagi menurut sifat dasar senyawa kimianya menjadi insektisida anorganik yaitu insektisida yang tidak mengandung unsur karbon dan insektisida organik yang mengandung unsur karbon. Contoh insektisida anorganik adalah kalsium arsenat, Pb arsenat, sodium fluroid, kriolit dan belerang. Insektisida organik dibagi lagi menjadi insektisida organik alami dan insektisida organik sintetik. Insektisida organik alami dibuat dari tanaman

(insektisida botanik) dan bahan alami lainnya. Sedangkan sintetik merupakan hasil buatan pabrik dengan melalui sintetis kimiawi (Untung, 2006).

2.5.1 Insektisida Sintetik

Nyoman (2005) mengemukakan bahwa kelompok insektisida sintetik terdiri atas unsur-unsur karbon, hidrogen, dan satu atau beberapa unsur karbon seperti unsur klorin, oksigen, belerang, fosfor dan nitrogen. Kelompok ini merupak hasil sintesa manusia. Menurut Untung (2006), pembagian insektisida menurut komposisi atau susunan kimia bahan aktifnya (senyawa yang memiliki sifat racun) terdiri dari 5 kelompok besar yaitu organoklorin (OK), organofosfat (OP), karbamat, piretroid sintetik, dan IGR (*Insect Growth Regulator*). Kelima golongan tersebut masih dibagi kedalam kelompok-kelompok lagi yaitu:

1. Organoklorin (OK)

Organoklorin atau sering disebut Hidrokarbon klor merupakan insektisida tertua. Insektisida kelompok ini merupakan racun kontak dan racun perut, efektif mengendalikan larva, nimfa dan imago. Insektisida tersebut kurang baik untuk mengendalikan hama pencucuk atau penghisap. Insektisida jenis OK pada umumnya memiliki toksisitas yang sedang untuk mamalia. Masalah paling merugikan bagi lingkungan dan kesehatan adalah sifat persistensi OK yang sangat lama baik di tanah maupun di jaringan tanaman atau hewan. Dilihat dari struktur kimianya, insektisida OK dapat dikelompokkan dalam 4 kelas bahan kimia, yaitu: difenilalifatik (termasuk DDT, dikofol, metoksilor, klorbenzid), derivat banzen (termasuk BHC “benzen heksaklorid”, linden, pentaklorofenol), siklodien,

termasuk klordan, endosulfan, endrin, heptaklor, mirex) dan polikloreterpene (seperti kamfeklor).

2. Organofosfat (OP)

Insektisida OP meliputi unsur P semua ester asam fosforik (H3PO4) sebagai inti yang aktif. Saat ini OP merupakan kelompok insektisida yang terbesar karena sangat bervariasi jenis dan sifatnya. OP merupakan insektisida yang sangat beracun bagi serangga dan bersifat racun kontak, racun perut maupun fumigan. OP dilingkungan kurang stabil karena lebih cepat terdegradasi menjadi senyawa-senyawa kurang beracun. OP merupakan jenis insektisida yang paling banyak digunakan. Sistem kerja OP adalah menghambat bekerjanya enzim asetilkolin etarase dalam sistem saraf serangga.

Kebanyakan insektisida golongan OP adalah penghambat bekerjanya enzim asetilkolin esterase. Dalam sistem saraf serangga antara sel saraf terdapat celah yang disebut sinapse, enzim asetilkolin yang dibentuk berfungsi mengantarkan impuls dari sel saraf ke sel otot. Setelah impuls dihantarkan ke sel-sel otot proses penghantaran impuls tersebut dihentikan oleh karena bekerjanya enzim lain yaitu enzim asetilkolineterase. Dengan enzim tersebut asetilkolin diecah menjadi asam asetat dan koliin. keaadan ini menyebabkan pesan-pesan berikutnya tidak dapat dihantarkan, otot kejang , akhirnya terjadi kelumpuhan dan kematian.

OP memiliki berbagai bentuk alkohol yang melekat pada atom-atom P dan berbagai bentuk ester asam fosforik. Ester ester ini mempunyai kombinasi Oksigen, Karbon, Sulfur, dan Nitrogen. OP yang dikembangkan dari kombinasi tersebut dibagi menjadi 3 kelompok derivat yaitu alifatik, fenil, dan heterosiklik.Derivat alifatik ditandai dengan oleh senyawa lurus dan tidak

berbentuk cincin meliputi insektisida-insektisida seperti TEPP, malation, dimetoaat, oksidemetonmetil, dikrotofos, disulfoton, metamidofos, triklorfon, asetat, forat, terbufos, etoprop, dikloruos, mevinfos, naled, monotrofofsos dan fosfamidin.

Derivat fenil terlihat dari adanya cincin fenil, stabilitas dan persistensinya lebih besar daripada derivat alifatik sehingga residunya dapat lebih lama dilingkungan. Derivat fenil meliputi parathion, metil paration, stirofos, fention, fonofos, profenofos, isofenfos, fenitrotion, triazofoz, dan fentoat. Derivat heterosiklik memiliki bangunan rantai yang lebih kompleks. Senyawa ini paling stabil dan lama bertahan dilingkungan kelompok yang terkenal adalah diazinon dan yang lainya seperti asinfos, klorpirifos, fention, fosmet, stirofos, temefos, metidation dan kuinalfos. Berdasarkan masa degradasinya dalam lingkungan yaitu sekitar 2 minggu maka frekuensi/jarak penyemprotan golongan ini adalah 2 minggu sekali.

3. Karbamat

Karbamat merupakam insektisida spektrum lebar dan telah banyak digunakan secara luas untuk pengendalian hama tanaman. Insektisida karbamat memiliki bangunan dasar asam karbamat. Cara karmamat mematikan serangga sama dengan OP yaitu dengan penghambatan aktifitas enzim kolineterase pada system syaraf. Karbamat cepat terurai dan hilang daya racunnya dari jaringan binatang, beberapa karbamat memiliki toksisitas yang rendah bagi mamalia namun ada juga yang sangat beracun. Jenis yang paling banyak digunakan adalah karbaril. Insektisida karbamat dapat dikelompokkan kedalam 3 kelas yaitu a) metil karbamat dengan bangunan cincin fenil. Yang termasuk dalam kelas ini adalah

BPMC, MICP, isokarp; b)dimetil karbamat dengan struktur heterosiklik seperti dijumpai pada bendiokarp, karbofuran, dioxakarb; c)metil karbamat dari oksin seperti aldikarb dan metomil.

Djojosumarto (2008) mengemukakan, Karbaril ditemukan pada tahun 1957. Meskipun bukan merupakan karbamat yang pertama ditemukan, karbaril bias dikatakan sukses dipasaran. Karbaril dikatakan sebagi racun perut dan racun kontak serta bersifat sedikit sistemik. Digunakan untuk mengendalikan hama terutama dari ordo Lepidoptera, Coleoptera, serangga pengunyah dan beberapa serangga penusuk.

4. Piretroid sintetik (PS)

Piretroid merupakan kelompok insektisida organik sintetik konvensional yang relatif baru. Keunggulan dari insektisida jenis ini memiliki kemampuan *knock down* atau kemampuan menjatuhkan serangga dengan cepat dan toksisitas relatif rendah bagi manusia atau mamalia. masa terdegradasi dalam lingkungan juga singkat, berkisar antara 10-12 hari, jadi jarak/frekuensi penyemprotan juga berkisar 10-12 hari. PS merupakan bahan tiruan bahan aktif insektisida nabati piretrum yang berasal dari ekstrak bunga *Chrysanthemum cinerariaefolium.* PS seringkali dikelompokkan menurut generasi pengembangannya di laboratorium. Beberapa jenis PS diantaranya alletrin (generasi satu), resmetrin (generasi 2), yang paling banyak digunakan adalah dari generasi ketiga dan keempat. Generasi ketiga antara lain fenfalerat dan permetrin dan generasi keempat seperti sipermetrin, flusitrinat, fenopropatrin, fluvalinat, sihalotrin, deltametrin dan siflutrin.

5. IGR (*Insect Growt Regulator*)

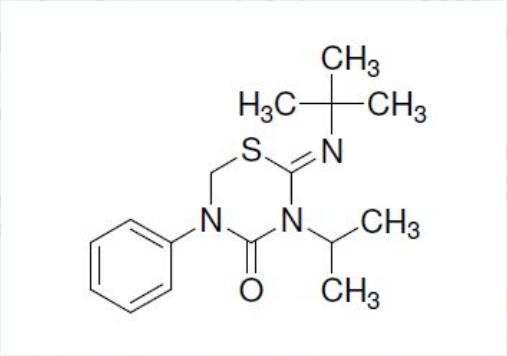
Insektisida ini sering disebut sebagai insektisida generasi ketiga. Generasi pertama adalah golongan rotenone, karosin dan garam arsenic, insektisida generasi kedua adalah golong OK, OP, Karbamat dan PS. Kelompok kimia yang termasuk dalam IGR adalah ekdikson (hormone pergantian kulit, hormon juvenil (JH), anti hormon juvenil, serta insektisida penghambat kitin.

IGR merupakan senyawa-senyawa kimia yang dapat mengubah atau mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan serangga. IGR pada hakekatnya mengganggu aktifitas normal sistem endokrin serangga. Pengaruh IGR tersebut dapat terjadi pada waktu perkembangan embrionik, perkembangan larva atau nimfa, metamorfosis, proses reproduksi atau perilaku diapause. Contoh dari IGR adalah tebufenozoid, metoksifenozoid dan halofenozoid. Hormon juvenil yang diaplikasikan pada serangga akan menghambat proses metamorphosis serangga sehingga terjadi kekacauan fisiologis. Insektisida penghambat khitin seperti buprofezin menghambat pergantian kulit. Karena kulit baru tidak terbentuk secara normal dan kulit lama tidak dapat ditanggalkan sehingga mengakibatkan serangga mati. Karena cara kerja IGR terhadap serangga sasaran adalah dengan mempengaruhi sistem hormonal serangga yang khas, pada dasarnya IGR memiliki sifat selektifitas fisiologi tinggi terhadap serangga sasaran sehingga sesuai dengan prinsip-prinsip PHT. Beberapa jenis insektisida IGR yang terdaftar di Indonesia antara lain Buprofezin, Klorfluazuron, Siromazin dan Novaluron.

5.1 Buprofezin

Buprofezin, ditemukan pada tahun 1981. Buprofezin merupakan insektisida non-sistemik yang bekerja sebagai *chitin synthesis inhibitor* (penghambat sintesa khitin) sehingga mengganggu proses pergantian kulit pada

serangga dan akhirnya menimbulkan kematian. Serangga yang terkena buprofezin akan menghasilkan telur yang steril. Keunggulan buprofezin adalah relatif aman terhadap kebanyakan serangga berguna. Buprofezin efektif untuk mengendalikan serangga dari ordo homoptera, beberapa coleoptera, dan acarina. insektisida ini sangat baik untuk program pengendalian hayati. Siromazin, ditemukan pada tahun 1980. Insektisida ini bersifat sistemik, ditranslokasikan secara akropetal. Buprofezin (*2-tert-butylimino-3-isopropyl-5-phenyl-1,3,5-thiadiazinan-4-one*) memiliki struktur kimia sebagai berikut:

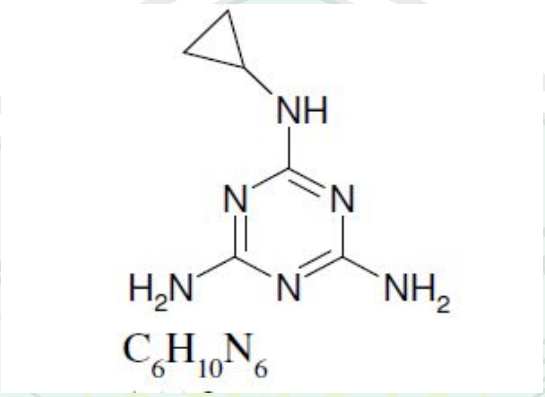


Gerling (2004) melaporkan, efek buprofezin terhadap lalat putih pada ubi jalar, kematian lalat putih biasanya terjadi pada saat larva akan berganti ke instar selanjutnya. Buprofezin paling efektif membunuh larva instar 1 dampai 2. Efek Buprofezin pada larva instar 4 berupa gagalnya pembentukan kepompong sehingga menyebabkan kematian larva.

5.2 Siromazin

Siromazin bekerja sebagai insect growth regulator (IGR) yang mempengaruhi pergantian kulit dan perkembangan pupa. di bidang pertanian, siromazin merupakan insektisida spesialis yang sangat kuat untuk mengengendalikan penggorok daun pada berbagai tanaman sayuran. dan tidak

merugikan kebanyakan serangga berguna. Siromazin adalah insektisida yang memiliki selektifas tinggi dan memiliki spektrum pengendalian yang luas khususnya untuk mengendalikan hama diptera. Siromazin memiliki nama lain *N-cyclopropyl-[1,3,5]triazine-2,4,6-triamine,* dan memiliki rumus kimia sebagai berikut:



2.6 Viabilitas dan Virulensi Nematoda Entomopatogen

Viabilitas adalah kemampuan bertahan hidup dari makhluk hidup. Kemampuan bertahan hidup nematoda entomopatogen dipengaruhi oleh faktor instrinsik dan ekstrinsik. Faktor ekstrinsik meliputi faktor abiotik (temperatur, kelembaban tanah, tekanan osmotik, tekstur tanah, kelembaban, radiasi UV yang ekstrim) dan faktor biotik (antibiosis, kompetisi, dan musuh alami) (Hajek, 2004). Bahan-bahan kimia yang terkandung dalam tanah akibat penggunaan pestisida juga dapat mempengaruhi kemampuan bertahan hidup nematoda. Nematoda golongan *steinernematidae* dan *heterorhabditidae* sering diaplikasikan pada ekosistem yang dimasuki bahan-bahan lain termasuk pestisida sintetik dan pupuk organik (Laznik, 2012). Nematoda entomopatogen fase *Infecktif juvenile* (IJ) dapat toleran dalam jangka pendek terhadap beberapa bahan kimia dan biologi seperti insektisida, fungisida, herbisida dan pupuk organik selain itu dapat

diaplikasikan pula bersama dengan beberapa jenis pestisida kimia dalam tangki sempot.

Secara umum nematoda tidak dapat diaplikasikan karena beberapa faktor yang kurang mendukung seperti spesies dari nematoda, dosis penggunaan, strain nematoda, jenis bahan kimia dan beberapa faktor lain (Grewal, 2003). Menurut Kaya (2002), meskipun nematoda entomopatogen dapat bertahan hidup dari berbagai jenis pestisida sintetik, namun akan menurunkan tingkat virulensi dan infektivitas dari nematoda tersebut terhadap hama sasaran. Virulensi adalah kapasitas relatif patogen untuk mengatasi pertahanan tubuh. Dengan kata lain, derajat atau kemampuan dari organisme patogen untuk menyebabkan penyakit (Purnomo,2010). Pada lingkungan yang cocok virulensi nematoda menjadi lebih tinggi, bahan kimia yang terkandung dalam tanah juga dapat mempengaruhi tingkat virulensi nematoda (Sulistyanto, 2000). Jenis bahan aktif insektisida kimia tertentu dapat menurunkan atau meningkatkan virulensi dari nematoda entomopatogen (Laznik, 2000).

Garnet (2007) melaporkan, nematoda jenis *Steinernema feltiae* telah menunjukkan potensi dapat dikombinasikan dengan pestisida kimia. Namun hanya dengan beberapa jenis pestisida saja. Grewal (2001) mengemukakan pemberian fungisida jenis *azoxytrobin* pada *S. feltiae* tidak memiliki pengaruh terhadap mortalitas dan viabilitas selama 120 jam inkubasi. Tetapi pemberian fungisida jenis *cinnamaldehyde* menunjukkan toxisitas yang sangat tinggi, yaitu mortalitas 100 % pada nematoda *S. feltiae* setelah 24 jam inkubasi. Pengaruh Zerotol (*hydrogen dioxide peroxyacetic acid mixture*) juga menyebabkan 100 % mortalitas *S. feltiae* setelah 120 jam inkubasi.

Sebagian besar jenis dari insektisida kimia toksik terhadap *steinernema* spp. dan *Heterorhabditis* spp. termasuk golongan organofosfat dan karbamat. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan viabilitas dan virulensi dari nematoda entomopatogen (Kaya, 2000). menurut (Andrew, 2008) beberapa jenis pestisida kimiawi mempertinggi aktifitas *Steinernema carpocapsae.* Larva *Lepidoptera* efektif dikendalikan dengan aplikasi campuran antara *Steinernema carpocapsae* dengan insektisida kimiawi. Bednarek (2004) menambahkan insektisida jenis karbosulfan dan karbofuran tidak menurunkan patogenitas dari nematoda entomopatogen. Penggunaan Kombinasi dari dosis kecil insektisida kimia dengan entomopatogenik organisme (seperti nematoda: *Steinernema* spp. dan *Heterorhabditis* spp.) diharapkan mampu mengurangi kontaminasi bahan kimia terhadap lingkungan dan meningkatkan potensi dan efektifitas organisme sebagai agen pengendali hayati (Bednarek, 2004).

Penelitian Radova (2010) menunjukkan bahwa semua jenis insektisida yang diuji termasuk imidakloprid, metomil, fenpiroksimat, dan tebufenpirad menyebabkan penurunan virulensi *Heterorhabditis bacteriophora* terhadap larva *Tenebrio molitor.* Insektisida golongan proksimat menyebabkan mortalitas tertinggi yaitu 20,18 % sementara golongan piriproksifen menyebabkan mortalitas sebesar 17,92% pada *H. bacteriophora.* Menurut (Garnet, 2007), Formulasi dari pestisida kimia yang berbeda mungkin merubah toksisitas atau virulensi dari nematoda entomopatogen. Jenis nematoda yang berbeda juga mempengaruhi sensitivitas terhadap pestisida kimia yang sama. Selain jenis insektisida sintetik temperatur adalah faktor penting terhadap mortalitas dari juvenil infektif,

temperatur yang terlalu tinggi menyebabkan angka mortalitas nematoda meningkat atau viabilitasnya menurun (Laznik, 2012).

2.7 Serangga Uji *Corcyra cephalonica*

Nematoda entomopatogen efektif mengendalikan hama serangga dengan spektrum pengendalian yang luas. Untuk mengetahui tingkat virulensi nematoda di laboratorium, biasanya menggunakan inang pengganti. Inang pengganti yang umum adalah serangga yang hidup di gudang, seperti ulat beras, *Corcyra chepalonica* (Lepidoptera: Pyralidae) (Herlinda, 1999). Inang pengganti harus memenuhi syarat, yaitu mudah dipelihara dan disediakan di laboratorium. Selain itu, pembiakan inang pengganti harus relatif lebih cepat dan murah dibanding dengan pembiakan inang alami (Herlinda, 2002).

Sebagai inang pengganti, *C. cephalonica* memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan spesies serangga gudang lainnya, seperti mudah didapatkan dari berbagai macam bahan simpanan lokal, seperti padi, beras, terigu, tepung jagung, dan dedak. Serangga ini mudah dan murah dibiakkan di laboratorium. Ukurannya telurnya cukup besar sehingga nutrisi yang dibutuhkan parasitoid cukup untuk mendapatkan kebugaran cukup tinggi. Ngengat betina memiliki keperidian yang tinggi dengan produksi telur dapat mencapai 300- 400 butir per betina (Alba, 1990). Dalam pembiakan massal *C. cephalonica* tahap yang paling penting adalah mendapatkan kebugaran larva (ulat) yang nantinya setelah memasuki fase imago akan menghasilkan banyak telur (keperidian tinggi) yang merupakan tujuan yang diinginkan dalam pembiakan massal. Untuk mendapatkan ngengat dengan keperidian yang tinggi ini, maka fase larva harus mendapatkan nutrisi yang baik dan cukup (Herlinda, 2002).