

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Biologi *Helicoverpa armigera* Hubner

2.1.1 Klasifikasi *H. armigera*

H. armigera merupakan serangga ordo Lepidoptera dari famili Noctuidae. Secara umum serangga ordo Lepidoptera mempunyai 4 buah sayap yang bersisik. Selain sayap, ordo ini mempunyai badan dan kaki yang bersisik. Lepidoptera berkembang secara holometabola, yaitu dalam perkembangannya larva akan berubah menjadi pupa dan pupa akan berubah menjadi kupu-kupu. Larva dan serangga famili Noctuidae mencari makan pada waktu malam hari. Larvanya mempunyai bulu yang jarang, agak pendek dan kaku. Sedangkan ngengatnya berukuran besar dengan sayap yang lebar (Pracaya, 2007).

H. armigera diklasifikasikan sebagai berikut (Pracaya, 2007):

Kingdom : Animalia

Filum : Arthropoda

Kelas : Insekta

Ordo : Lepidoptera

Famili : Noctuidae

Genus : *Helicoverpa*

Spesies : *Helicoverpa armigera*

2.1.2 Biologi *H. armigera*

H. armigera merupakan serangga yang berkembang biaknya mengalami metamorfosis sempurna, karena proses perkembangbiaknya terdiri dari empat stadia hidup, yaitu telur, larva, pupa dan imago (PPHTPR, 2000). Pada umumnya, ngengat betina meletakkan telur pada bagian tanaman yang banyak rambut-rambutnya, seperti pucuk, batang, kelopak bunga dan tangkai bunga. Hal ini mengikuti karakter ngengat betina yang lebih menyukai bertelur pada permukaan yang berambut dan kasar. Telur *H. armigera* berwarna kuning muda dan berbentuk setengah bulat seperti kubah. Telur akan berubah warna menjadi abu-abu dan akhirnya hitam ketika akan menetas. Lama masa pra-peneluran sekitar 1 hari dan masa peneluran mencapai 10 hari. Produksi telur tertinggi saat umur ngengat 3 hari (40,56 butir). Lama stadia telur ini berkisar antara 2-4 hari (Herlinda, 2005).



Gambar 2.1. Telur *H. armigera* (Venette *et al.*, 2003)

Larva yang baru keluar dari telur setelah menetas berbentuk silinder dan tubuhnya berwarna kuning pucat. Larva *H. armigera* mempunyai enam instar (Herlinda, 2005). Instar 1 biasanya berlangsung selama 3 hari, instar 2 selama 4 hari, instar 3 selama 2,5 hari, instar 4 selama 3,4 hari, instar 5 selama 3,6 hari dan







instar 6 selama 7,8 hari (Pitojo, 2004). Tiap pergantian instar dapat diketahui berdasarkan bekas mandibelnya yang mengelupas (Sudarmo, 1987). Department of Primary Industries and Fisheries (2005) menyebutkan bahwa perbedaan instar larva juga dapat diketahui dari ukuran larva.



Gambar 2.2. Larva *H. armigera* (Venette *et al.*, 2003)

Tiap instar larva mempunyai perbedaan dalam memakan inang. Instar satu dan dua lebih menyukai makan daun dan pucuk bunga. Sedangkan instar tiga, empat, lima dan enam lebih suka memakan daging buah. Ketika memakan, kepala dan sebagian tubuh larva masuk ke dalam buah inang. Larva yang memakan bunga inang umumnya berwarna hijau kekuningan. Perbedaan warna larva dipengaruhi oleh pakannya, ketika larva *H. armigera* diberi polong kedelai yang berwarna hijau maka tubuhnya berwarna hijau (Herlinda, 2005). Stadia larva bersifat kanibalis, terutama pada instar ketiga. Karena sifatnya yang kanibal ini, di lapangan, jarang dijumpai dua larva atau lebih yang menggerek dalam satu kuncup bunga, bunga atau buah (Sudarmo, 1987). Stadia larva membutuhkan waktu berkisar antara 29 – 46 hari (Herlinda, 2005).

Tabel 2.1. Perbedaan instar larva *H. armigera* berdasarkan ukuran dan masa stadia (Department of Primary Industries and Fisheries, 2005; Pitojo, 2004).

Instar	Ukuran panjang larva (mm)	Penampakan Larva	Masa Stadia (Hari)
I	1-3		3
II	4-7		4
III	8-13		2,5
IV	14-23		3,4
V	24-28		3,6
VI	29-30		7,8

Memasuki fase pre-pupa, yaitu masih dalam bentuk larva, namun hanya aktifitas makan yang berkurang, larva kelihatan lemah dan pucat. Larva cenderung membenamkan diri dalam pasir atau tanah dan menghasilkan glandula untuk konstruksi selubung tubuhnya. Lama fase pre-pupa ini antara 2-4 hari. Pada saat fase pupa, *H. armigera* berada dalam tanah dengan warna coklat kekuningan maupun coklat kemerahan dan yang tua berwarna coklat gelap dengan panjang 15-22 mm dan lebar 4-6 mm. Stadia pupa berkisar antara 11-16 hari (Sudarmo, 1987).



Gambar 2.3. Pupa *H. armigera* (Department of Primary Industries and Fisheries, 2005)

Serangga dewasa berupa kupu/ngengat yang aktif pada malam hari dan terbang cukup jauh (Sarwono dkk., 2003). Ngengat *H. armigera* memiliki sayap depan berwarna coklat dan terdapat satu bintik hitam. Sayap belakang bagian tepi berwarna hitam, sedangkan pangkal sayapnya berwarna putih kecoklatan. Antara ngengat jantan dan betina dapat dibedakan pada pola bercak sayapnya. Ngengat betina memiliki pola bercak pirang tua (merah). Sedangkan pada ngengat jantan terdapat pola bercak yang berwarna kehijauan pada ujung sayapnya. Lama hidup ngengat berkisar antara 2-18 hari (Herlinda, 2005). Panjang tubuh ngengat berkisar 18 mm dan rentangan sayapnya 30-40 mm. Ngengat betina mampu menetas telur antara 200-2000 telur. Total perkembangan sejak dari telur sampai dewasa bertelur 31- 47 hari (Sudarmo, 1987).



Gambar 2.4. Imago/Ngengat *H. armigera* (Venette *et al.*, 2003).

2.1.3 Ekologi dan Penyebaran *H. armigera*

H. armigera mempunyai mobilitas dan kemampuan hidup yang tinggi bahkan dalam kondisi yang tidak menguntungkan. Karena sifatnya yang polifagus, serangga ini mempunyai kemampuan beradaptasi yang tinggi pada beberapa tanaman inang. Selain itu, *H. armigera* mudah menyebar karena pada

fase dewasa serangga ini merupakan serangga imigran yang dapat menempuh jarak terbang hingga 1000 km (Czepak *et al.*, 2013).

H. armigera tersebar dari daerah tropis sampai subtropis dan mampu hidup dengan baik pada ketinggian 0-2.000 m dpl (Trubus, 2010). Daerah penyebaran *H. armigera* di antaranya Eropa, Asia, Afrika dan Kepulauan Helena (Tenirawe, 2007).

2.1.4 Tanaman Inang Larva *H. armigera*

H. armigera bersifat polifag, yaitu memakan semua jenis tanaman (Trubus, 2010). Menurut Czepak *et al.* (2013) larva *H. armigera* menyerang lebih dari 60 jenis tanaman budidaya dan tanaman liar. Larva *H. armigera* dilaporkan menyerang sekitar 67 famili inang antara lain, Asteraceae, Fabaceae, Malvaceae, Poaceae dan Solanaceae.

Banyak tanaman hasil panen yang menjadi inang larva *H. armigera* antara lain, tembakau, jagung, sorgum (gandum-gandum), kapas, rami, kentang, *Ricinus* (jarak), kacang-kacangan, sayur-sayuran dan tanaman hias (Kalshoven, 1981). Menurut Lammers dan Macleod (2007), rumput-rumputan dan buah-buahan juga menjadi inang larva *H. armigera*.

2.1.5 Gejala Serangan Larva *H. armigera*

Gejala tanaman yang terserang larva *H. armigera* bervariasi. Pada daun, larva *H. armigera* membentuk lubang-lubang acak. Jika serangannya berat, daun bisa habis sama sekali. Pada tunas, serangan larva *H. armigera* menyebabkan rontok sebelum sempat menjadi bunga atau daun. Sedangkan pada buah dan

tongkol muda, larva *H. armigera* membuat lubang-lubang dan menyebabkan kerusakan berat (Trubus, 2010). Lubang-lubang yang dibentuk larva *H. armigera* saat menyerang inang dibuat secara melingkar dan sering dikelilingi oleh bekas kotoran. Pada buah, kerusakan yang berat akan menyebabkan buah tersebut membusuk dan jatuh atau menjadi cacat (Srinivisan, 2010).

2.1.6 Musuh Alami Larva *H. armigera*

Larva *H. armigera* dilaporkan dapat dikendalikan populasinya oleh musuh alami (Nurindah dan Sunarto, 2008). Terdapat beberapa parasitoid yang menjadi musuh alami larva *H. armigera* di antaranya adalah *Trichogramma nana* Zehnta. dan *Eriborus argentiopilosa*. *Trichogramma nana* Zehnta. merupakan parasit telur, sedangkan *Eriborus argentiopilosa* (Ichneumonidae) merupakan parasit pada larva muda (Pracaya, 2007).

Beberapa patogen juga menjadi musuh alami larva *H. armigera* di antaranya, virus NPV, *B. bassiana* dan *N. rileyi*. Patogen-patogen tersebut telah dimanfaatkan untuk mengendalikan *H. armigera* (Indrayani, 2010). Jamur *Metarhizium* juga dilaporkan menjadi musuh alami larva *H. armigera* (Pracaya, 2007).

2.2 Tinjauan Biologi *Metarhizium anisopliae* Metsch.

2.2.1 Klasifikasi *M. anisopliae*

M. anisopliae adalah jamur entomopatogen yang dikelompokkan ke dalam divisi Deuteromycotina: Hyphomycetes. Jamur ini tersebar luas di seluruh dunia. *M. anisopliae* merupakan jamur tanah yang bersifat saprofit, tetapi dapat bersifat

patogen pada beberapa ordo serangga seperti Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Orthoptera, Hemiptera dan Isoptera (Prayogo dkk., 2005).

Klasifikasi jamur *M. anisopliae* adalah sebagai berikut (Tanada dan Kaya, 1993):

Kingdom: Fungi

Divisi: Eumycota

Subdivisi: Deuteromycotina

Kelas: Hyphomycetes

Ordo: Moniliales

Famili: Moniliaceae

Genus: *Metarhizium*

Spesies: *Metarhizium anisopliae*

2.2.2 Biologi *M. anisopliae*

M. anisopliae dapat diketahui morfologinya jika diamati melalui mikroskop, yaitu mempunyai miselium yang bersekat, konidiofor tersusun tegak dengan ukuran bervariasi antara panjang 4-13,4 mM dan lebar 1,4-2,5 mM, berlapis dan bercabang yang dipenuhi dengan konidia/spora, konidia bersel satu berwarna hialin, dan berbentuk bulat silinder. Konidia berukuran panjang 4-7 mM dan lebar 1,43-3,2 mM. Mempunyai fialid dengan ukuran bervariasi antara panjang 6,1-12,9 mM dan lebar 1,7-3,5 mM (Nuraida dan Hasyim, 2009). Pada beberapa media seperti *potato dextrose agar* (PDA), jagung dan beras, koloni dapat tumbuh dengan cepat (Prayogo dkk., 2005). Koloni *M. anisopliae* berwarna putih ketika muda, kemudian akan berubah menjadi hijau gelap saat konidia

matang. Konidia yang berwarna hijau ini diberi istilah *green muscardin fungus* pada *M. anisopliae* (Tanada dan Kaya, 1993).



Gambar 2.5. Biologi Jamur *M. anisopliae*: (a). konidiofor; (b). konidia/spora (Soewarno dkk., 2012).

Jamur entomopatogen pada umumnya memerlukan kelembaban yang tinggi untuk tumbuh dan berkembang. Hal ini dibutuhkan konidia dalam membentuk kecambah. Suhu optimum untuk pertumbuhan *M. anisopliae* berkisar 22-27°C dengan kisaran pH antara 3,3-8,5 (Rustama dkk., 2008). Namun, beberapa laporan menyebutkan bahwa jamur ini masih dapat tumbuh pada suhu yang lebih dingin dari kisaran suhu tersebut (Prayogo dkk., 2005).

2.2.3 Patogenisitas *M. anisopliae*

Jamur entomopatogen menghasilkan metabolit sekunder yang berperan sebagai mikotoksin. Metabolit sekunder yang dihasilkan *M. anisopliae* antara lain siklodepsipeptida, destruksin A,B,C,D, dan E serta desmethyldestruxin B. Destruksin telah dipertimbangkan sebagai bahan insektisida generasi baru yang berpengaruh terhadap organel sel target (mitokondria, retikulum endoplasma dan membran nukleus) yang menyebabkan paralisis sel. Selain itu, destruksin juga berpengaruh terhadap kelainan fungsi organ bagian lambung tengah, tubulus malphigi, hemosit dan jaringan otot larva. Dekstruksin juga dapat dihasilkan

dalam tubuh larva yang terinfeksi jamur dan berperan penting dalam perkembangan munculnya gejala hasil infeksi jamur pada larva. Senyawa metabolit sekunder (contohnya destruksin E), berperan sebagai immunosupresan yaitu menghambat respon pertahanan humoral maupun selular. *M. anisopliae* juga memproduksi enzim proteolitik yang menghambat kerja protease pada hemolimfe serangga (Tanada dan Kaya, 1993).

Secara umum, konidia jamur membutuhkan kelembaban tinggi untuk membentuk kecambah. Perkecambahan dan patogenisitas akan semakin meningkat dengan baik bila kelembapan udara sangat tinggi. Namun, patogenisitas jamur *M. anisopliae* akan menurun apabila kelembaban udara rendah, yaitu di bawah 86% (Prayogo dkk., 2005).

2.2.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Keefektifan Jamur *M. anisopliae*

Secara umum, keefektifan jamur entomopatogen sebagai agens pengendali hayati dipengaruhi oleh beberapa faktor. Keefektifan jamur entomopatogen di antaranya ditentukan oleh kondisi lingkungan, seperti curah hujan dan sinar matahari. Selain itu, konsentrasi jamur/kepadatan konidia jamur yang diaplikasikan juga dapat mempengaruhi keefektifan jamur (Prayogo, 2006).

Curah hujan dan sinar matahari dapat mempengaruhi keefektifan jamur entomopatogen, karena berkaitan dengan kondisi konidia jamur. Curah hujan berkaitan dengan kelembaban lingkungan. Kelembaban yang tinggi diperlukan untuk tumbuh dan berkembang, di mana dalam prosesnya hal ini dibutuhkan untuk pembentukan tabung kecambah (*germ tube*) sebelum terjadi penetrasi ke integumen serangga. Sedangkan sinar matahari, khususnya sinar ultraviolet dapat

merusak konidia jamur. Sinar ultraviolet menyebabkan berkurangnya viabilitas jamur entomopatogen (Prayogo, 2006).

Konsentrasi jamur entomopatogen juga menentukan keberhasilan jamur dalam mengendalikan hama. Konsentrasi jamur yaitu kerapatan konidia dalam setiap mililiter air. Kerapatan konidia yang optimal untuk mengendalikan hama bergantung pada jenis dan populasi hama yang akan dikendalikan. Kerapatan yang lebih tinggi dibutuhkan untuk mengendalikan hama pada tanaman pangan, karena tanaman pangan bersifat semusim, sehingga sekali aplikasi jamur harus mampu menginfeksi dan mengkolonisasi serangga hama sasaran (Prayogo dkk., 2005). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jamur *M. anisopliae* efektif mengendalikan serangga hama dengan konsentrasi tertentu tergantung pada jenis hama yang dikendalikan. Hama ordo Lepidoptera, di antaranya *Plutella xylostella* dapat dikendalikan dengan konsentarsi jamur *M. anisopliae* $8,9 \times 10^5$ dan $3,2 \times 10^6$ konidia/ml yang merupakan dosis-dosis letal pada masing-masing instar ke-2 dan ke-3 (Soewarno dkk, 2012). Berdasarkan penelitian Prayogo dan Tengkan (2004) *S. litura* mampu dikendalikan jamur *M. anisopliae* secara optimal dengan kerapatan konidia 10^7 konidia/ml. Selain itu, penelitian Yasin dkk. (2000) menunjukkan bahwa jamur *M. anisopliae* mampu mengendalikan larva *O. furnacalis* instar II dengan konsentrasi 10^8 konidia/ml hingga 72,50% pada hari ke-6 setelah inokulasi (HSI).

2.2.5 Pengaruh Isolat Terhadap Virulensi *M. anisopliae*

Jamur entomopatogen umumnya memiliki banyak strain yang masing-masing menunjukkan karakter biologi yang berbeda-beda. Perbedaan karakter

biologi ini berkaitan dengan virulensi jamur tersebut. Secara bioekologi, jamur yang mampu beradaptasi di lingkungan bersuhu tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$) dan mempunyai kelembaban rendah ($<80\%$) biasanya lebih virulen dibanding jamur yang hidup di daerah dengan kelembaban tinggi. Hal ini berhubungan dengan kemampuan adaptasi jamur tersebut pada daerah yang lebih ekstrim. Jamur yang dapat menginfeksi inang di daerah kering dengan kelembaban lingkungan rendah menunjukkan jamur tersebut lebih virulen dibanding yang hidup di daerah dengan kelembaban tinggi. Jamur virulen diindikasikan dengan kemampuan jamur tersebut menginfeksi inang kurang dari 7 hari (Indrayani, 2011).

Jamur yang virulen dapat diperoleh dari substrat hama inangnya atau dari perakaran (rizosfir) pada ekosistem pertanian di mana hama tersebut berada (Nuraida dan Hasyim, 2009). Trizelia dkk. (2011) menyatakan bahwa isolat *Metarhizium* yang diisolasi dari perakaran (rizosfir) tanaman yang berbeda mempunyai virulensi yang berbeda. Perbedaan virulensi antar isolat diduga disebabkan karena adanya senyawa tertentu yang dikeluarkan oleh akar tanaman. Menurut Meyling dan Eilenberg (2007), rizosfir tanaman dapat mempengaruhi persistensi dan aktivitas biologi *M. anisopliae*. Selain itu, perbedaan karakter fisiologi antar isolat juga dapat mempengaruhi perbedaan virulensi masing-masing isolat. Karakter fisiologi tersebut, di antaranya jumlah konidia yang dihasilkan dan daya kecambah konidia masing-masing isolat. Nunilahwati dkk. (2012) menyatakan bahwa variasi dan viabilitas konidia pada isolat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu nutrisi, suhu dan kelembaban serta faktor genetik.

2.2.6 Mekanisme Infeksi Jamur *M. anisopliae* Pada Larva Serangga

Mekanisme penetrasi jamur ke dalam tubuh serangga sangat dipengaruhi oleh struktur kutikula serangga yaitu ketebalan, sklerotisasi, kandungan zat anti jamur, dan substansi nutrisi. Larva yang baru mengalami penggantian kulit dan larva yang baru membentuk pupa lebih mudah diinfeksi dibandingkan larva dengan kutikula yang telah mengalami pengerasan. Selain infeksi melalui kutikula, jamur juga dapat menginfeksi serangga melalui *buccal cavity*, spirakel, dan bukaan eksternal lain yang terdapat pada tubuh serangga (Tanada dan Kaya, 1993).

Mekanisme infeksi *M. anisopliae* terhadap serangga dapat digolongkan menjadi empat tahapan, yaitu inokulasi, penempelan dan perkecambahan propagul jamur pada integumen serangga, penetrasi dan invasi, serta destruksi pada titik penetrasi dan terbentuknya blastospora. Tahap pertama adalah inokulasi, yaitu kontak antara propagul (konidia) jamur dengan tubuh serangga (Prayogo dkk., 2005).

Tahap kedua adalah proses penempelan dan perkecambahan propagul jamur pada integument serangga. Jamur dapat memanfaatkan senyawa-senyawa yang terdapat pada integument serangga. Pada fase ini, kelembaban udara yang tinggi dan bahkan kadang-kadang air diperlukan untuk perkecambahan propagul jamur (Prayogo dkk., 2005). Awalnya, propagul akan menempel pada kutikula. Penempelan ini merupakan mekanisme pasif dengan bantuan angin dan air, sehingga terjadi kontak antara propagul jamur dengan permukaan integument serangga. Pada beberapa kasus, penempelan propagul berkorelasi dengan tingkat

keagresifan atau spesifitas inang dari spesies jamur (Tanada dan Kaya, 1993). Setelah terjadi penempelan dalam waktu yang cukup lama, propagul akan berkecambah. Untuk dapat berkecambah, propagul membutuhkan sumber karbon seperti glukosa, *glucosamine*, kitin dan pati (*starch*) (Simamora dkk., 2012). Perkecambahan propagul dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya, kondisi cahaya, nutrisi di lingkungan, karakteristik dan struktur propagul (Tanada dan Kaya, 1993).

Tahap ketiga yaitu penetrasi dan invasi. Prayogo dkk. (2005) menyatakan bahwa jamur melakukan penetrasi untuk menembus integument inang. Dalam proses ini, jamur akan membentuk tabung kecambah (*appresorium*) yang berperan sebagai hifa penetrasi dan akan menyerang inang (Rustama dkk., 2008). Penembusan dilakukan secara mekanis dan kimiawi dengan mengeluarkan enzim atau toksin. Secara mekanis yaitu menembus kulit tubuh serangga dengan kekuatan hifa dan secara kimiawi dengan mengeluarkan enzim. Enzim berfungsi membantu dalam penghancuran kutikula serangga (Simamora dkk., 2012).

Terdapat enam senyawa enzim yang dikeluarkan dalam tahap ini, yaitu lipase, kitinase, amilase, proteinase, fosfatase dan esterase (Prayogo dkk., 2005). Protease merupakan enzim pendegradasi kutikula paling utama dan aktivitas enzim ini merangsang munculnya enzim kitinase. Aktivitas enzim kitinase umumnya berlangsung pada awal pertumbuhan jamur, pembentukkan konidia dan sporulasi konidiospora. Sedangkan toksin yang dihasilkan antara lain, metarisin dan asam oksalat yang mengakibatkan kenaikan pH darah, penggumpalan darah, dan terhentinya peredaran darah serangga (Simamora dkk., 2012). *Appresorium*

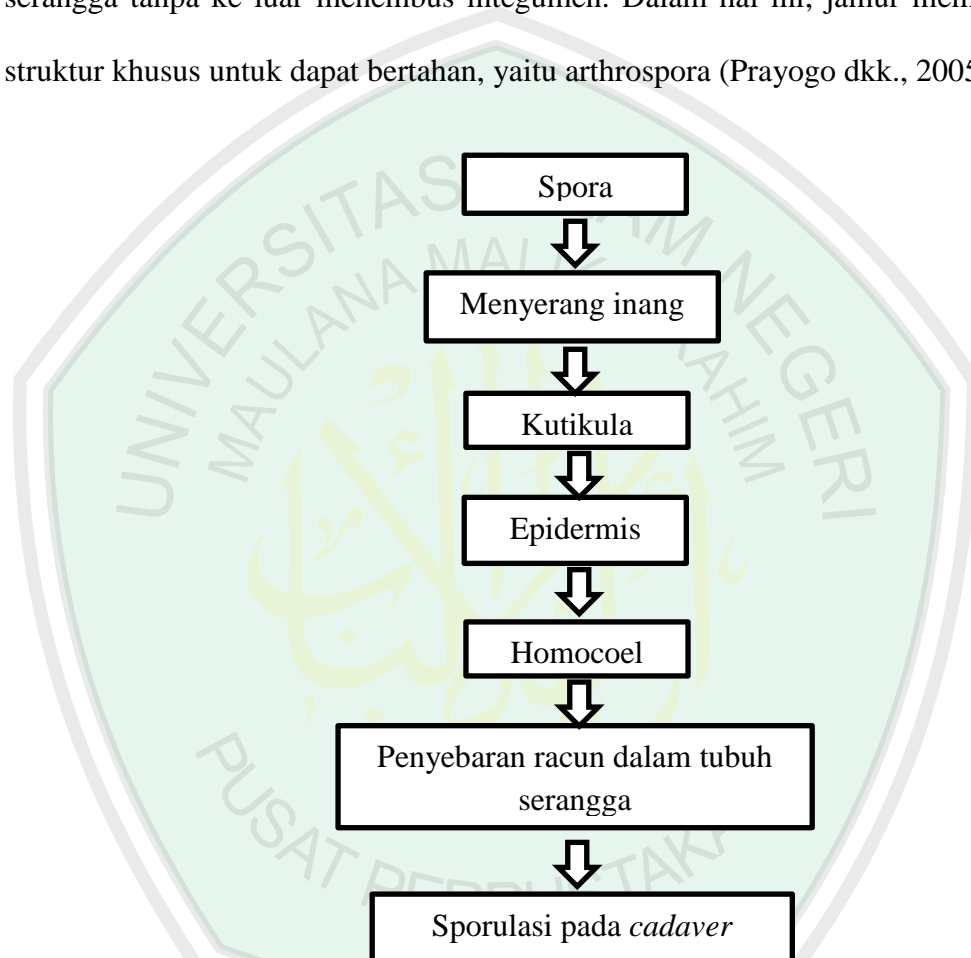
jamur *M. anisopliae* dapat tumbuh optimal pada suhu 25-30°C dan kisaran pH optimal untuk pertumbuhan appressorium adalah 5-8 (Rustama dkk., 2008).

Jamur menyebabkan gangguan fisik pada bagian dalam tubuh serangga selama terjadi kolonisasi hifa. Gangguan fisik tersebut diawali pada integument. Setelah menembus integument, hifa yang berkoloni kemudian merambat ke bagian sistem sirkulasi, reproduksi, respirasi, saraf, pencernaan dan mempengaruhi mekanisme imun serangga. Dalam mempengaruhi mekanisme imun inilah terjadi proses yang kompleks dan spesifik (Schneider *et al.*, 2013).

Tahap keempat yaitu destruksi pada titik penetrasi dan terbentuknya blastospora (*yeastlike hiphal bodies*). Pada umumnya, serangga sudah mati sebelum terbentuknya blastospora ini. Blastospora terbentuk saat jamur telah masuk ke dalam *hemocoel* kemudian akan beredar ke dalam hemolimfa dan membentuk hifa sekunder untuk menyerang jaringan lainnya. Jaringan yang diserang antara lain jaringan lemak, sistem syaraf, trakea, dan saluran pencernaan (Prayogo dkk., 2005; Simamora dkk., 2012). Setelah serangga mati, jamur akan terus melanjutkan siklus dalam fase saprofitik, yaitu membentuk koloni di sekitar tubuh inang. Setelah tubuh inang dipenuhi oleh koloni jamur, maka spora infeksiif akan diproduksi (Marheni dkk., 2010).

Fase perkembangan saprofit jamur dimulai dengan penyerangan jaringan inang dan berakhir dengan pembentukan organ reproduksi jamur saat serangga mati. Pada umumnya, semua jaringan dan cairan tubuh serangga habis digunakan oleh jamur sehingga serangga mati dengan tubuh yang mengeras seperti mumi. Pertumbuhan jamur diikuti dengan pengeluaran pigmen atau toksin untuk

melindungi serangga dari serangan mikroorganisme lain terutama bakteri. Jamur tidak selalu tumbuh ke luar menembus integumen serangga, apabila keadaan kurang mendukung, perkembangan saprofit hanya berlangsung di dalam jasad serangga tanpa ke luar menembus integumen. Dalam hal ini, jamur membentuk struktur khusus untuk dapat bertahan, yaitu arthrospora (Prayogo dkk., 2005).



Gambar 2.6. Bagan Mekanisme infeksi jamur *M. anisopliae* pada tubuh serangga (Rustama dkk., 2008).

2.2.7 Gejala Infeksi *M. anisopliae*

Moslim *et al.* (2007) menyatakan bahwa, ciri-ciri larva yang terinfeksi *M. anisopliae* adalah adanya perubahan warna kutikula serangga menjadi kecoklatan atau hitam. Kemudian pada infeksi selanjutnya, serangga yang mati menjadi lebih keras dan akhirnya diselimuti oleh hifa jamur. Hifa ini kemudian berubah menjadi

hijau seiring dengan semakin bertambahnya umur. Berdasarkan penelitian Manurung dkk. (2012), menunjukkan bahwa *O. rhinoceros* yang terserang *M. anisopliae* (5-8 hari setelah aplikasi), pada awal infeksi terdapat noda-noda hitam pada kutikulanya. Hari kedua, tubuh larva mulai kaku, hari ketiga larva mati disertai dengan tubuh mulai mengeras, hari keempat hifa *M. anisopliae* berwarna putih mulai muncul dari pinggiran tubuh larva, hari kelima hifa mulai menyelimuti keseluruhan tubuh larva, hari keenam hifa mulai berubah warna menjadi hijau kebiru-biruan dimulai dari tepi tubuh larva dan hari ketujuh seluruh hifa sudah hijau kebiru-biruan.

2.2.8 Potensi *M. anisopliae* Sebagai Bioinsektisida

Penggunaan jamur entomopatogen dalam pengendalian serangga hama memiliki kelebihan dibanding agen hayati lainnya, terutama parasitoid, predator dan pestisida botani. Kelebihan penggunaan jamur entomopatogen dalam mengendalikan serangga hama diantaranya, dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama karena dapat diformulasi. Selain itu, jamur entomopatogen bersifat persisten di lapang, baik pada tanaman maupun tanah hingga kurun waktu yang cukup lama (Indrayani, 2011).

M. anisopliae pertama kali digunakan sebagai pengendali hama kumbang kelapa selama lebih dari 85 tahun yang lalu, dan sejak itu digunakan sebagai pengendali hama kumbang kelapa di beberapa negara termasuk Indonesia (Prayogo dkk., 2005). Penggunaan jamur *M. anisopliae* sebagai agen pengendali hayati hama tanaman telah diterapkan pada beberapa jenis hama, diantaranya pada hama uret, lalat buah, ulat, wereng dan belalang (Harjaka dkk., 2011).

Keunggulan *Metarhizium* sebagai bioinsektisida adalah kemampuannya tumbuh baik dalam tanah dan di alam serta menyebabkan penyakit pada beberapa jenis serangga dengan cara memarasit (Irawati dan Sastro, 2010).

M. anisopliae telah digunakan secara komersial sebagai bioinsektisida di beberapa negara. Di Jepang, jamur *M. anisopliae* telah digunakan untuk mengendalikan uret perusak akar ubi jalar *Anomala cuprea*. Di Australia, jamur ini telah dibuat formulasi padat (granul) dengan nama dagang Bio Green^R dan BIO-CANE^R untuk diaplikasikan ke habitat uret, di antaranya pada hama uret *Lepidiota* sp. dan *Dermolepida albohirtum*. Di Indonesia sendiri, penelitian tentang pemanfaatan jamur *M. anisopliae* untuk pengendalian hama telah berkembang sejak tahun 1970-an. Pengembangan metode perbanyakan untuk menghasilkan inokulum yang siap diaplikasikan di lapangan juga telah dilakukan (Harjaka dkk., 2011).

2.3 Peran Musuh Alami Dalam Menjaga Keseimbangan Alam

Beberapa organisme yang ada dalam suatu ekosistem menempati urutan aras trofik tertentu. Serangga herbivora menempati aras trofik kedua atau sebagai konsumen pertama (Untung, 2006). Keberadaan serangga dalam ekosistem dapat digunakan sebagai indikator keseimbangan ekosistem tersebut. Pada ekosistem alami serangga mempunyai keanekaragaman yang tinggi, sehingga tidak terjadi ledakan hama. Sedangkan pada ekosistem buatan yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan manusia sering terjadi ledakan hama akibat ketidakstabilan ekosistem tersebut (Suheriyanto, 2008).

Dalam suatu pertanian, keberadaan serangga hama secara alami dapat dikendalikan oleh musuh alaminya. Musuh alami yang dapat dijumpai di pertanian antara lain predator, parasitoid dan patogen. Patogen merupakan jenis musuh alami yang akhir-akhir ini telah banyak digunakan sebagai agens pengendali salah satunya adalah jamur entomopatogen. Berdasarkan hasil penelitian, jamur entomopatogen *M. anisopliae* berpotensi sebagai agens hayati pengendali beberapa jenis hama sasaran. Karena sifatnya yang aman dan ramah lingkungan, penggunaan *M. anisopliae* sebagai pengendali hayati dapat menjaga keseimbangan ekosistem (Untung, 2006).

Keanekaragaman organisme yang diciptakan Allah SWT dalam suatu ekosistem memiliki peran dan fungsi masing-masing. Dalam ekosistem tersebut, peran dan fungsi masing-masing organisme saling berkaitan untuk membentuk suatu keseimbangan (Yarnisah, 2010). Allah SWT telah menciptakan alam semesta beserta isinya dalam keadaan yang seimbang. Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT dalam al-Qur'an surat Al- Mulk: 3 yang berbunyi:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُتٍ ۗ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾

Artinya: "yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak seimbang?" (QS. Al-Mulk: 3).

Menurut Quthb (2004), ayat di atas menjelaskan tentang keteraturan dan keseimbangan alam semesta yang diciptakan Allah SWT. Dalam ayat tersebut terdapat kalimat yang berbunyi "Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak

seimbang?”, pada kalimat ini seolah-olah Allah menantang manusia untuk mencari ketidakseimbangan pada ciptaan Allah, karena memang Allah telah menciptakan segala yang ada di alam semesta ini tanpa ada cacat dan kekurangan. Abdulloh (2004) menafsirkan bahwa ayat tersebut menunjukkan kebesaran Allah yang menciptakan langit yang berlapis-lapis yang saling seimbang dan bersesuaian. Allah memerintahkan agar kita melihat ke langit dan meneliti apakah terdapat ketidakseimbangan padanya.

Berdasarkan penjelasan kedua tafsir tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dalam penciptaan alam semesta ini Allah telah mengaturnya dalam keadaan seimbang dengan ukuran yang semestinya. Salah satu contoh dari keseimbangan yang ada adalah adanya keanekaragaman organisme dalam suatu ekosistem yang masing-masing telah mempunyai peran, di antaranya tumbuhan yang berperan sebagai produsen menempati trofik pertama, serangga yang berperan sebagai konsumen kedua menempati aras trofik kedua dan musuh alami yang berperan sebagai konsumen kedua maupun sebagai pengurai menempati trofik ketiga. Seluruhnya bekerja dengan cara berinteraksi membentuk siklus yang berjalan stabil membentuk suatu keseimbangan. Apabila ada organisme yang tumbuh secara tidak terkendali maka organisme pada aras trofik di atasnya akan bekerja untuk mengendalikan, sehingga ekosistem akan tetap seimbang.