

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Aedes aegypti* L

2.1.1 Klasifikasi *Aedes aegypti* L

Menurut Maskoer Jasin (1984), *Aedes aegypti* (L.) diklasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Phylum : Arthropoda
Sub phylum : Invertebrata
Class : Insecta
Ordo : Diptera
Family : Culicidae
Genus : *Aedes*
Spesies : *Aedes aegypti* L.

Nyamuk merupakan anggota ordo *Diptera* yang berbentuk langsing, baik tubuhnya, sayap maupun proboscisnya. Ciri-ciri khas ordo *Diptera*, yaitu (Jasin, 1984):

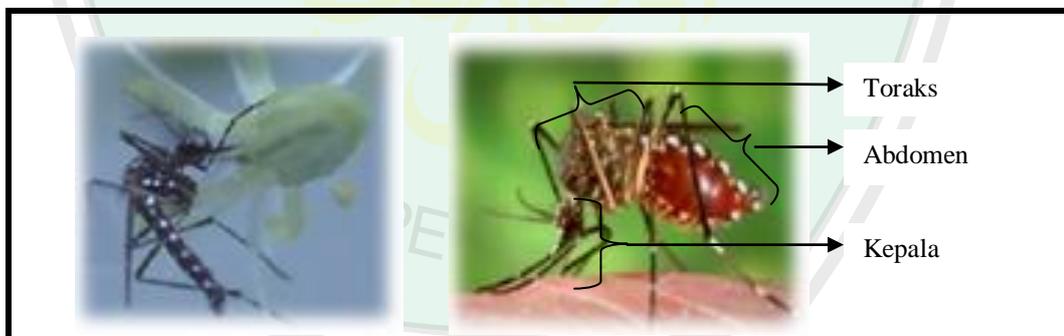
1. Kepala, toraks, dan abdomen berbatas jelas
2. Mempunyai sepasang antena
3. Sepasang sayap selaput melekat pada segmen toraks yang kedua, pasangan sayap lainnya berubah bentuk menjadi alat keseimbangan
4. Mulut berfungsi untuk mengisap

5. Abdomen terdiri dari 10 segmen

2.1.2 Morfologi *Aedes aegypti* L

Dalam (Gambar 2.1) dapat diamati bahwa nyamuk *Aedes aegypti* mempunyai 3 bagian tubuh yaitu kepala, toraks dan abdomen. Bentuk badan yang kecil, berwarna hitam belang-belang putih pada ruas tubuhnya. Terutama pada kakinya dan dari bentuk morfologinya yang khas dikenal sebagai nyamuk yang mempunyai gambaran lira (*lyre forum*) yang putih di punggung atau toraksnya (Notoatmojo, 2003).

Eksoskeleton serangga tersusun atas tiga lapisan meliputi lapisan pelindung, epikutikula tempat disintesisnya protein dan prokutikula yang merupakan tempat disintesisnya kitin. pada umumnya 80% komponen eksoskeleton serangga tersusun atas senyawa kitin (Wang dan Chang, 1996).



Gambar 2.1. Morfologi Nyamuk *Aedes aegypti* Dewasa. (Kiri) nyamuk jantan, (kanan) nyamuk betina (Supartha, 2008)

Pada bagian kepala terdapat sebuah *proboscis*, sepasang antena yang terdiri dari 15 segmen, sepasang *palpus maxilaris* yang terdiri dari 4 segmen, sepasang mata majemuk dan bulu *clypeus proboscis* berfungsi untuk alat mengisap darah pada nyamuk betina, sedangkan pada nyamuk jantan berfungsi

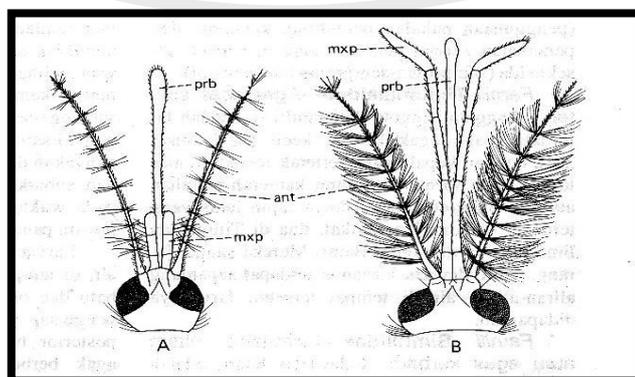
untuk mengisap madu bunga atau cairan tumbuh-tumbuhan. Untuk membedakan antara jantan dan betina dilihat dari sepasang antenanya. Pada nyamuk jantan terdapat antena *plumous* (berambut lebar) sedangkan pada nyamuk betina terdapat antena *pilose* (berambut panjang). Selain itu dapat dilihat pada ukuran *palpus maxilaris*. Pada nyamuk betina lebih pendek dari pada *proboscisnya*, dan pada nyamuk jantan lebih panjang *proboscisnya* (Gambar 2.2) (Effendy, 1998).

Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di bumi ini dengan berpasang-pasangan. Allah SWT berfirman dalam Al-Quran surat Adz-Dzariyat/ 51: 49 sebagai berikut:

وَمِنْ كُلِّ شَيْءٍ خَلَقْنَا زَوْجَيْنِ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ ﴿٤٩﴾

Artinya: “dan segala sesuatu kami ciptakan berpasang – pasangan supaya kamu mengingat kebesaran Allah” (QS. Adz-Dzariyat/ 51: 49).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu yang ada di bumi selalu disertai dengan pasangannya. Seperti halnya penciptaan laki-laki dan perempuan, siang dan malam, hujan dan panas, begitu pula nyamuk *Aedes aegypti* yang diciptakan oleh Allah SWT secara berpasangan yaitu jantan dan betina.



Gambar 2.2. Struktur Kepala Pada Nyamuk (a) *Aedes*, betina; (b) *Aedes*, jantan. Ant, sungut; mxp, palpus maksilla; prb, probosis (Borror, 1992)

2.1.3 Siklus Hidup *Aedes aegypti* L

Nyamuk *Aedes aegypti* mengalami metamorfosis sempurna (*Holometabola*), yaitu telur membutuhkan waktu 1-2 hari untuk menetas menjadi larva, setelah itu larva menjadi pupa dalam waktu 5-7 hari, dari pupa hingga imago (nyamuk dewasa) membutuhkan waktu 1-2 hari. Selama masa bertelur, seekor nyamuk betina mampu meletakkan 100-400 butir telur. Biasanya, telur-telur tersebut diletakkan di bagian yang berdekatan dengan permukaan air, seperti di bak yang airnya jernih dan tidak berhubungan langsung dengan tanah (Kardinan, 2003).

Firman Allah SWT dalam Al-Quran yang secara khusus menjelaskan tentang nyamuk, sebagai berikut:

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ ءَامَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ
الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا
وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ﴿٢٦﴾

Artinya: "Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Rabb mereka, tetapi mereka yang kafir mengatakan: "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?" Dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik." (QS. Al-Baqarah/ 2: 26).

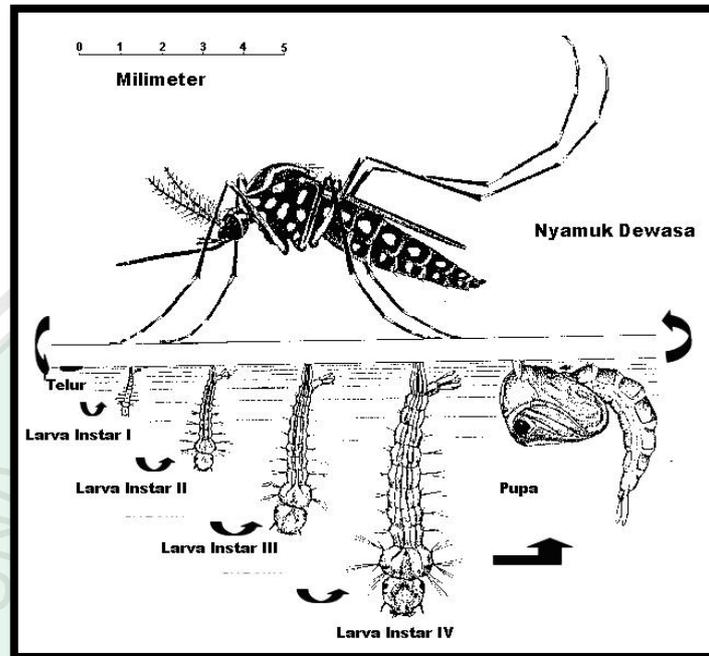
Mungkin banyak diantara kita yang menganggap nyamuk sebagai serangga yang biasa. Tetapi pernyataan: "Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu" semestinya

mendorong kita untuk memikirkan keistimewaan binatang ini. Proses perkembangan nyamuk merupakan peristiwa yang istimewa. Mulai dari larva hingga menjadi nyamuk dewasa.

Lafad “ما” pada ayat tersebut adalah *Maa Mausulah* yang mengindikasikan segala hal yang harus diperhatikan dari seekor nyamuk, bukan hanya keberadaannya secara utuh, melainkan apa saja yang ada pada seekor nyamuk. Diantaranya morfologi, siklus hidup, lingkungan hidup dan beberapa penyakit yang disebabkan oleh nyamuk.

Telur *Aedes aegypti* yang diletakkan di dalam air akan menetas selama 1-3 hari pada suhu 30°C, tetapi jika diletakkan pada suhu 16°C membutuhkan waktu 7 hari. Larva mengalami 4 kali pergantian kulit (instar) dan segera berubah menjadi pupa. Bentuk pupa merupakan fase tanpa makan, sangat sensitif terhadap pergerakan air, serta sangat aktif jungkir balik di air. Pupa menjadi dewasa di atas permukaan air yang tenang. Stadium ini hanya berlangsung dalam waktu 2-3 hari, tetapi dapat diperpanjang sampai 10 hari pada suhu rendah, pada suhu di bawah 10°C pupa tidak akan berkembang. Siklus hidup nyamuk dipengaruhi suhu, makanan, spesies, dan faktor lain. Pada saat menetas (ekslosi), kulit pupa tersobek oleh adanya gelembung udara dan oleh kegiatan nyamuk dewasa yang melepaskan diri. Nyamuk jantan dewasa umumnya hanya mampu bertahan hidup 6 sampai 7 hari dan makanannya adalah cairan tumbuhan atau nektar, sedangkan yang betina dapat mencapai 2 minggu lebih di alam dan bisa mengisap darah berbagai jenis hewan dan manusia. Nyamuk betina memerlukan (mengisap) darah untuk produksi telur-telurnya. Nyamuk-nyamuk di laboratorium yang dipelihara

dengan cukup karbohidrat dalam kelembapan yang tinggi, dapat mencapai usia beberapa bulan (Sigit *et al.*, 2006).



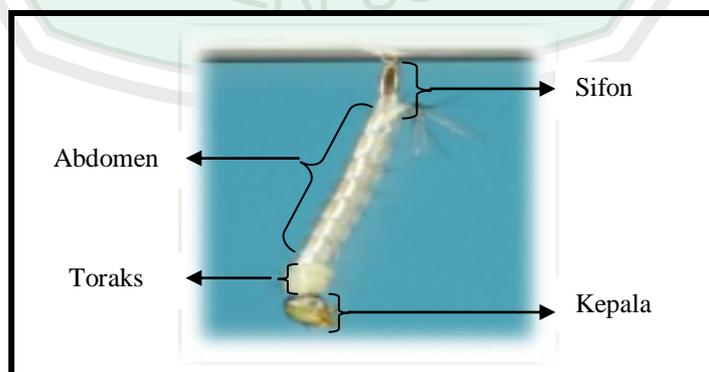
Gambar 2.3. Siklus Hidup *Aedes aegypti* (Sigit *et al.*, 2006)

Karakteristik telur *Aedes aegypti* adalah berbentuk bulat pancung yang mula-mula berwarna putih kemudian berubah menjadi hitam (Gambar 2.4). Telur tersebut diletakkan secara terpisah di permukaan air untuk memudahkannya menyebar dan berkembang menjadi larva di dalam media air. Media air yang dipilih untuk tempat bertelur adalah air bersih yang stagnan (tidak mengalir) dan tidak berisi spesies lain sebelumnya (Supartha, 2008). Apabila wadah air ini mengering, telur bisa tahan (dorman) selama beberapa minggu atau bahkan bulan. Ketika wadah air tersebut berisi air lagi dan menutupi seluruh bagian telur, telur akan menetas menjadi jentik (larva) (Sigit *et al.*, 2006).



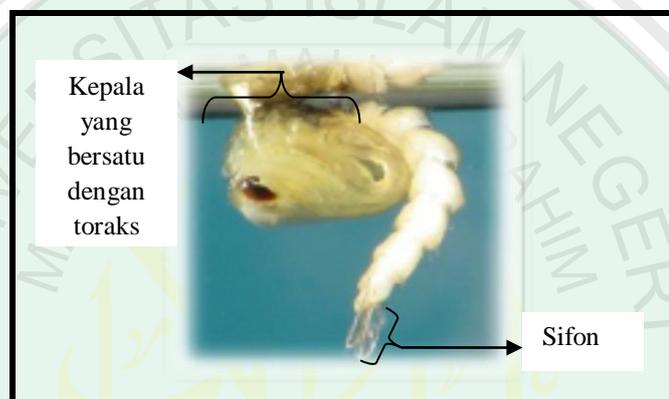
Gambar 2.4. Telur *Aedes aegypti* (L.) (Supartha, 2008)

Jentik nyamuk tidak berlegan dan dadanya lebih lebar dari kepalanya. Kepalanya berkembang baik dengan sepasang antena dan mata majemuk serta mempunyai sikat mulut yang menonjol. Perutnya terdiri atas 9 ruas yang jelas, ruas terakhir dilengkapi dengan tabung udara (sifon) yang berbentuk silinder (Gambar 2.5). Stadium jentik ini adalah stadium makan bagi nyamuk. Jentik dalam kondisi yang sesuai akan berkembang dalam waktu 6-8 hari (Sigit *et al.*, 2006). Larva nyamuk hidup di air dan stadium instarnya terdiri atas empat tahap. Setelah melewati tahap stadium instar keempat, larva berubah menjadi pupa (Supartha, 2008).



Gambar 2.5. Larva *Aedes aegypti* (L.) (Supartha, 2008)

Pupa nyamuk berbentuk seperti koma. Kepala dan dadanya bersatu dan dilengkapi dengan sepasang terompet pernapasan (Gambar 2.6). Stadium pupa ini adalah stadium tidak makan. Dalam keadaan terganggu, pupa akan bergerak naik turun di dalam wadah air. Dalam waktu kurang lebih dua hari, dari pupa akan muncul nyamuk dewasa. Jadi, total siklus hidup nyamuk bisa diselesaikan dalam waktu 9-12 hari (Sigit *et al.*, 2006).



Gambar 2.6. Pupa *Aedes aegypti* (L.) (Supartha, 2008)

Imago yang lebih awal keluar adalah nyamuk jantan yang sudah siap melakukan kopulasi, sedangkan nyamuk betina muncul belakangan (Supartha, 2008). Setelah muncul dari pupa, nyamuk akan mencari pasangan kemudian mengadakan perkawinan. Setelah kawin, nyamuk betina siap mencari darah untuk perkembangan telur. Setelah kawin, nyamuk jantan akan istirahat. Nyamuk jantan tidak mengisap darah tetapi mengisap cairan tumbuhan. Nyamuk betina menggigit dan mengisap darah manusia atau hewan. Aktivitas nyamuk pada saat mengisap darah adalah pada pagi hari dan sore hari. Nyamuk lebih suka menggigit di daerah yang terlindung seperti di sekitar rumah. Mereka tidak akan terbang jauh, hanya sekitar 50-100 meter, kecuali jika terbawa angin kencang. Apabila sudah

mengisap darah, nyamuk ini akan istirahat di tempat-tempat yang gelap dan sejuk sampai proses penyerapan darah untuk perkembangan telur selesai. Setelah itu, nyamuk akan mencari tempat yang berair dan bertelur. Setelah bertelur, nyamuk akan mulai mencari darah lagi untuk siklus bertelur berikutnya (siklus gonotrofik). Proses ini berlangsung setiap 2-3 hari untuk daerah tropis seperti di Indonesia (Sigit *et al.*, 2006).

2.1.4 Lingkungan Hidup *Aedes aegypti* L

Nyamuk *Aedes aegypti* bersifat urban, hidup di perkotaan dan lebih sering hidup di dalam dan di sekitar rumah (domestik) dan sangat erat hubungannya dengan manusia. Nyamuk *Aedes aegypti* meletakkan telur di dalam rumah (*indoor*) maupun di luar rumah (*outdoor*). Tempat perindukan yang ada di dalam rumah yang paling utama adalah tempat-tempat penampungan air diantaranya bak air mandi, bak air WC, tandon air minum, tempayan, gentong tanah liat, gentong plastik, ember, drum, vas tanaman hias, perangkap semut, dan lain-lain. Sedangkan tempat perindukan yang ada di luar rumah yaitu drum, kaleng bekas, botol bekas, ban bekas, pot bekas, pot tanaman hias yang terisi oleh air hujan, tandon air minum, dan lain-lain (Soegijanto, 2006).

Nyamuk betina sangat sensitif terhadap gangguan sehingga memiliki kebiasaan mengisap berulang-ulang. Kebiasaan ini sangat memungkinkan penyebaran virus demam berdarah ke beberapa orang sekaligus (Kardinan, 2009).

Aktivitas mengisap biasanya mulai pagi sampai petang hari, dengan 2 puncak aktivitas antara pukul 09.00-10.00 dan 16.00-17.00 (Depkes, 2005). *Aedes aegypti* suka beristirahat di tempat yang gelap, lembap, dan tersembunyi di dalam

rumah atau bangunan, termasuk di kamar tidur, kamar mandi, kamar kecil, maupun di dapur. Nyamuk ini jarang ditemukan di luar rumah, di tumbuhan, atau di tempat terlindung lainnya. Di dalam ruangan, permukaan istirahat yang mereka suka adalah di bawah furnitur, benda yang tergantung seperti baju, korden dan dinding (WHO, 2005).

Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk menjaga kebersihan lingkungan. Nabi Muhammad SAW telah memerintahkan supaya umat manusia untuk menjaga kebersihan, sebagaimana sabda Nabi Muhammad SAW dalam hadits sebagai berikut:

الطهور شطر الإيمان (رواه مسلم)

Artinya: *"suci itu sebagian dari iman"* (HR. Muslim)

Dalam hadits tersebut dijelaskan bahwa kebersihan dan kesucian merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari keimanan, oleh sebab itu orang yang tidak menjaga kebersihan dan kesucian sama halnya telah mengabaikan sebagian dari nilai-nilai keimanannya, sehingga dia belum termasuk orang yang betul-betul beriman. Islam selain menganjurkan untuk menjaga kebersihan diri, juga sangat menganjurkan untuk menjaga kebersihan lingkungan.

Islam menganjurkan manusia untuk memperhatikan kebersihan lingkungan. Karena kebersihan lingkungan akan sangat berpengaruh terhadap keselamatan manusia yang ada di sekitarnya, oleh sebab itu menjaga kebersihan lingkungan sama pentingnya dengan menjaga kebersihan diri. Perintah Nabi Muhammad SAW untuk menjaga kebersihan lingkungan juga disebutkan dalam hadits berikut:

النبي صلى الله عليه وسلم نهى أن يبال في الماء الراكد

Artinya: “Nabi SAW melarang umatnya mengotori sumber air” (HR. Muslim)

Dalam hadits tersebut dijelaskan bahwa sumber air merupakan sumber kehidupan di bumi. Oleh karena itu sebagai khalifah di bumi, kita harus menjaga kebersihan lingkungan sekitar, termasuk menjaga kebersihan sumber air. Tetapi tidak semua orang menyadari betapa pentingnya sumber air bagi kehidupan. Masih sering dijumpai masyarakat yang membuang sampah, kaleng-kaleng bekas, bekas pecahan peralatan dapur dan barang bekas lainnya ke sungai.

Dijelaskan dalam (Soegijanto, 2006) bahwa tempat perindukan *Aedes aegypti* yang ada di luar rumah yaitu drum, kaleng bekas, botol bekas, ban bekas, pot bekas, pot tanaman hias yang terisi oleh air hujan, tendon air minum, dan lain-lain. Tanpa disadari bahwa aktivitas masyarakat membuang barang-barang bekas ke sungai akan menjadi peluang meningkatnya populasi nyamuk *Aedes aegypti* yang merupakan vektor penyebab penyakit demam berdarah.

Selama masa bertelur, seekor nyamuk betina mampu meletakkan 100-400 butir telur. Biasanya, telur-telur tersebut diletakkan di bagian yang berdekatan dengan permukaan air, seperti di bak yang airnya jernih dan tidak berhubungan langsung dengan tanah. Pada air-air yang tergenang dalam wadah-wadah bekas perabot rumah tangga juga menjadi tempat perkembangbiakan bagi nyamuk *Aedes aegypti* (Kardinan, 2003).

2.2. Nyamuk *Aedes aegypti* L. Sebagai Vektor Penyakit

Nyamuk merupakan vektor atau penular utama dari penyakit-penyakit arbovirus (demam berdarah, chikungunya, demam kuning, encephalitis, dan lain-lain), serta penyakit-penyakit nematoda (filariasis), riketsia, dan protozoa (malaria). Di seluruh dunia terdapat lebih dari 2500 spesies nyamuk meskipun sebagian besar dari spesies-spesies nyamuk ini tidak berasosiasi dengan penyakit. Jenis-jenis nyamuk yang menjadi vektor utama, biasanya adalah *Aedes* spp., *Culex* spp., *Anopheles* spp., dan *Mansonia* spp (Sembel, 2009).

2.2.1. Demam Berdarah Dengue

Demam dengue dan *dengue hemorrhagic fever* (DHF) atau dikenal sebagai demam berdarah dengue disebabkan oleh salah satu dari empat antigen yang berbeda, tetapi sangat dekat satu dengan yang lain, yaitu DEN-1, DEN-2, DEN-3, dan DEN-4 dari genus *Flavivirus*. Demam berdarah dengue (DBD) adalah bentuk dengue yang parah, berpotensi mengakibatkan kematian (Sembel, 2009).

Gambaran klinik demam berdarah dengue sering kali tergantung dari umur penderita. Gejala pada bayi dan balita biasanya ditandai dengan demam dan ruam makulopapular. Pada orang dewasa gejala ditandai dengan demam ringan atau gambaran klinis lengkap dengan panas tinggi mendadak, sakit kepala hebat, sakit bagian belakang kepala, nyeri otot dan sendi serta ruam. Tidak jarang ditemukan pendarahan kulit, biasanya didapatkan lekopeni dan kadang-kadang trombositopeni. Perbedaan antara demam berdarah dengue (DBD) dengan demam

dengue (DD) adalah pada DBD disertai dengan pendarahan sedangkan demam dengue tidak disertai pendarahan (Soegijanto, 2006).

Orang yang terinfeksi virus dengue untuk pertama kali, umumnya hanya menderita demam dengue (DD) atau demam yang ringan dengan gejala dan tanda yang tidak spesifik atau bahkan tidak memperlihatkan tanda-tanda sakit sama sekali (asimtomatis). Penderita DD biasanya akan sembuh dalam waktu 5 hari pengobatan (Depkes, 2005).

Diagnosis klinis DBD berdasarkan kriteria diagnosis menurut WHO terdiri dari (Depkes, 2005):

1. Kriteria Klinis

- a. Demam tinggi mendadak, tanpa sebab yang jelas, berlangsung terus menerus selama 2-7 hari.
- b. Terdapat manifestasi perdarahan, sekurang-kurangnya uji Tourniquet (Rumple Leede) positif
- c. Pembesaran hati
- d. Syok

2. Kriteria laboratories

- a. Trombositopenia (jumlah trombosit $\leq 100.000/\mu\text{l}$)
- b. Hemokonsentrasi, dapat dilihat dari peningkatan hematokrit $\geq 20\%$.

2.2.2. Perkembangan Penyakit Demam Berdarah Dengue

Penyakit yang sekarang dikenal sebagai DHF pertama kali dikenal di Filipina pada tahun 1953. Sindromnya secara etiologis berhubungan dengan virus dengue ketika serotipe 2, 3, dan 4 diisolasi dari pasien di Filipina pada tahun

1956. Dua tahun kemudian dilakukan isolasi berbagai tipe virus dengue dari pasien selama epidemik di Bangkok Thailand (WHO, 1999). Tahun 1968, Demam Berdarah Dengue dilaporkan untuk pertama kalinya di Indonesia yaitu berupa kejadian luar biasa penyakit Demam Berdarah Dengue di Jakarta dan Surabaya mencatat 58 kasus DBD dengan 24 kematian (CFR= 41,5%). Pada tahun berikutnya kasus DBD menyebar ke lain kota yang berada di wilayah Indonesia dan dilaporkan meningkat setiap tahunnya. Kejadian luar biasa penyakit DBD terjadi di sebagian besar daerah perkotaan dan beberapa daerah pedesaan (Soegijanto, 2006).

2.2.3. Penularan Demam Berdarah Dengue

Penyakit demam berdarah dengue ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Nyamuk ini terinfeksi virus *Dengue* sewaktu mengisap darah orang yang sakit demam berdarah dengue atau tidak sakit tetapi didalam darahnya terdapat virus dengue. Seseorang yang didalam darahnya mengandung virus dengue merupakan sumber penularan penyakit demam berdarah. Virus dengue berada dalam darah selama 4-7 hari mulai 1-2 hari sebelum demam (Lestari, 2007).

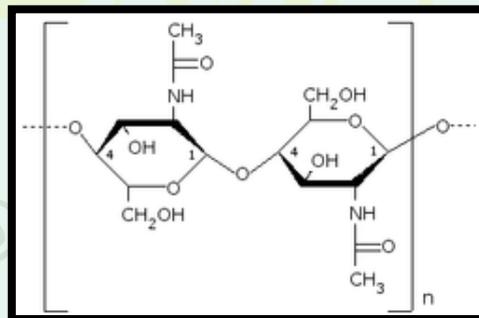
Ketika nyamuk *Aedes aegypti* mengisap darah penderita DBD, maka virus dalam darah akan ikut terisap masuk ke dalam lambung nyamuk, selanjutnya virus akan memperbanyak diri dan tersebar di berbagai jaringan tubuh nyamuk termasuk dalam kelenjar air liurnya. Kira-kira 1 minggu setelah mengisap darah penderita, nyamuk tersebut siap menularkan kepada orang lain (masa inkubasi ekstrinsik). Oleh karena itu nyamuk *Aedes aegypti* yang telah terinfeksi virus dengue menjadi penular (*infektif*) sepanjang hidupnya. Penularan ini terjadi karena

setiap kali nyamuk mengisap darah, nyamuk mengeluarkan air liur melalui saluran alat tusuknya agar darah yang diisap tidak membeku. Bersama air liur inilah virus dengue dipindahkan dari nyamuk ke manusia (Depkes, 2005).

2.3 Enzim Kitinase

2.3.1 Pengertian Enzim Kitinase

Kitinase merupakan enzim yang mampu menghidrolisa polimer kitin menjadi kitin oligosakarida atau monomer n-asetilglukosamin. Enzim ini dihasilkan oleh bakteri, tanaman, dan hewan (Cohen-Kupiec and Chet, 1998). Kitinase tersebar mulai dari bakteri, serangga, virus, tumbuhan, dan hewan (Ohno *et al.*, 1996). Kitinase mempunyai peranan yang penting dalam fisiologi dan ekologi (Saito *et al.*, 1998).



Gambar 2.7. Struktur Kitin
(Yurnaliza, 2002)

Kitin berbentuk padat tidak berwarna, tidak larut dalam air, asam encer, alkohol dan semua pelarut organik lainnya, tetapi kitin dapat larut dalam fluoroalkohol dan asam mineral pekat (Richards, 1951 dalam Nurhaliza, 2001). Koloidal kitin adalah kitin yang banyak digunakan sebagai substrat dalam medium fermentasi. Senyawa ini diperoleh dengan menghidrolisis secara parsial

kitin dengan larutan asam klorida (HCl) 10 N (Haran *et al.*, 1995 dalam Yurnaliza, 2002).

2.3.2 Penggolongan Enzim Kitinase

Berdasarkan cara kerjanya dalam mendegradasi substrat enzim kitinase dikelompokkan kedalam dua tipe yaitu (Rostinawati, 2008):

1. Endokitinase, yaitu kitinase yang memotong secara acak ikatan β -1,4 bagian internal mikrofibril kitin. Produk akhir yang terbentuk bersifat mudah larut berupa oligomer pendek N-asetilglukosamin (GlcNAc) yang memiliki berat molekul rendah seperti kitotetraose.
2. Eksokitinase dinamakan juga kitobiosidase atau kitin 1,4- β -kitobiosidase, yaitu enzim yang mengkatalisis secara aktif pembebasan unit-unit diasetilkitobiosidase tanpa ada unit-unit monosakarida atau oligosakarida yang dibentuk. Pemotongan hanya terjadi pada ujung non reduksi mikrofibril kitin dan tidak secara acak.

Menurut Rostinawati (2008), enzim kitinase dibedakan atas dua famili berdasarkan homolog sekuen asam aminonya, yaitu:

1. Famili 18

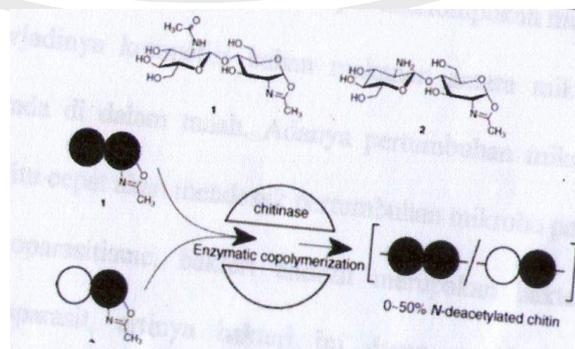
Famili 18 dibagi menjadi dalam tiga sub famili yaitu A, B, dan C. Famili meliputi kitinase dari virus, bakteri, jamur, dan hewan, serta kelas III dan V merupakan kitinase dari tumbuhan (Gijzen *et al.*, 2001).

2. Famili 19

Famili 19 mencakup kelas I, II, dan IV yang berasal dari tumbuhan. Tanaman mengeluarkan kitinase untuk mempertahankan diri dari

serangan patogen. (Gooday, 1994). Kitinase kelas IV famili 19 selain tersebar pada tanaman juga ditemukan tersebar pada *Streptomyces sp* (Ohno *et al.*, 1996). Kitinase tanaman kelas I dengan kitinase tanaman kelas II secara struktural homolog, tetapi kitinase kelas II tidak memiliki domain kaya *cystein* seperti kitinase kelas I. Sementara, kitinase kelas III dan V tidak memiliki homologi dengan kitinase kelas I, II, dan IV (Fukamizo, 2000).

Kitin dapat dihidrolisis dengan enzim kitinase. Enzim kitinase merupakan enzim yang berperan dalam pengendalian jamur, nematoda dan serangga. Enzim kitinase ini mampu menguraikan kitin pada dinding sel jamur, nematoda dan eksoskeleton serangga menjadi N-asetil glukosaminida. Faktor yang menginduksi sintesis kitinase adalah kemampuan sel mikroorganisme untuk mengenal struktur fisik kitin seperti susunan rantai, contoh mekanisme sintesis pada *Streptomyces olivaceoviridis*. Mikroorganisme ini memproduksi protein seperti lektin yang mengikat secara khusus pada kristal α -kitin. sel juga dapat mengenal derajat deasetilasi dari jumlah glukosamin dan GlcNac relatif yang dibebaskan selama degradasi kitin (Dewi, 2008).



Gambar 2.8. Proses Pemecahan Kitin menjadi N-asetil glukosaminida (Makino *et al.*, 2006)

2.3.3 Bakteri Penghasil Enzim Kitinase

Genus bakteri yang sudah banyak dilaporkan menghasilkan enzim kitinase antara lain *Aeromonas*, *Alteromonas*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Ewingella*, *Pseudoalteromonas*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Vibrio* (Gooday, 1994), *Bacillus*, dan *Pyrococcus* (Harman *et al.*, 1993).

Bakteri mengeluarkan kitinase sebagai sarana memperoleh nutrisi dan agen parasit, sementara fungi, protozoa dan invertebrata mengeluarkan enzim tersebut untuk proses morfogenesis (Gooday, 1994).

Kitinase dari organisme laut berperan dalam proses daur ulang kitin. Banyak bakteri dan fungi mengeluarkan kitinase untuk menguraikan kitin menjadi karbon dan nitrogen. Dua senyawa terakhir ini selanjutnya dipakai sebagai sumber energi biota lainnya. Dengan adanya kitinase penguraian kitin berlangsung kontinyu sehingga tidak terjadi akumulasi kitin dari sisa cangkang udang, kepiting, cumi-cumi dan organisme laut lainnya. Secara alami, kitinase dihasilkan serangga untuk proses morfogenesis. Dalam perkembangan pertumbuhan serangga, kitin pada kutikel tua didegradasi kitinase, kemudian diganti kitin baru hasil enzim kitin sintase. Proses ini terus berlangsung selama siklus pertumbuhan serangga (Gooday, 1994).

2.4 Bakteri Endofit Penghasil Enzim Kitinase

Banyak organisme seperti bakteri, virus, jamur, tumbuhan dan hewan menghasilkan kitinase yang mengkonversi kitin menjadi monomer atau oligomernya. Bakteri memanfaatkan kitinase untuk asimilasi kitin sebagai sumber karbon dan nitrogen (Fuji dan Miyashita (1993), Ohno *et al.*, (1996) dalam

Suryanto *et al.*, (2006). Bakteri penghasil kitinase diantaranya *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Vibrios*, dan *Clostridia* ((Ueda *et al.*, (1992), Wang *et al.*, (1997), Sakai *et al.*, (1998) Patil *et al.*, (2000) dalam Wahyuni (2011).

Mikroba kitinolitik juga dapat diaplikasikan dalam bidang pertanian seperti pada penelitian Sudjono *et al.*, (1996), Sudjono *et al.*, (1999), Priyatno *et al.*, (1999) yang telah menyeleksi 60 isolat mikroba kitinolitik yang dilakukan sejak tahun 1995 di balai penelitian bioteknologi tanaman pangan (BALITBIO) menghasilkan tiga isolat bakteri penghasil kitinase unggulan yang efektif mengendalikan jamur patogen karat kedelai. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh Priyatno *et al.*, (2000) tentang teknik produksi dan formulasi bakteri kitinolitik untuk pengendalian penyakit karat kedelai dan diperoleh hasil biofungisida formulasi cair berbahan aktif bakteri kitinolitik efektif menekan perkembangan jamur patogen karat kedelai di rumah kaca hingga 4 minggu setelah aplikasi.

Beberapa bakteri tanah seperti: *Streptomyces* (Okazaki *et al.*, 1995, Tsujibo *et al.*, 1995), *Bacillus* (Mitsutomi *et al.*, 1995), *Aeromonas* (Ueda *et al.*, 1996), *Serratia* (Krishnan *et al.*, 1999), *Enterobacter* (Chernin *et al.*, 1995), *Pseudomonas* (Wang *et al.*, 1997), *Arthrobacter* (Okazaki *et al.*, 1999) dan *Vibrio* (Svitil *et al.*, 1997) dilaporkan memiliki aktivitas kitinolitik, yakni mampu menguraikan kitin. Kemampuan ini menyebabkan kelompok bakteri tersebut berpotensi besar untuk dimanfaatkan, misalnya: sebagai penghasil enzim kitinase yang berguna dalam industri pangan, kosmetik, farmasi, dan lain-lain. Bakteri

kitinolitik berpotensi pula sebagai pengendali hayati beberapa jenis fungi patogen (Pujiyanto *et al.*, 2004).

Perakaran tanaman (rizosfer) merupakan bagian tanaman yang paling kaya akan mikroorganisme (Bruehl, 1987). Tingginya populasi mikroorganisme yang ada di rizosfer disebabkan karena pada daerah tersebut merupakan bagian yang kaya akan nutrisi seperti asam amino dan gula sebagai sumber nitrogen dan karbon yang dibutuhkan untuk perkembangan mikroorganisme. Jaringan internal tanaman juga dilaporkan mengandung beberapa jenis bakteri atau yang lebih dikenal dengan istilah bakteri endofit. Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup atau mengkolonisasi jaringan internal tanaman tetapi tidak menimbulkan gangguan pada inang. Jaringan internal akar dilaporkan memiliki kerapatan bakteri endofit yang paling tinggi dibandingkan bagian tanaman lain seperti batang dan daun (Hallman, *et al.*, 1997).

Beberapa jenis bakteri endofit perakaran tanaman, dilaporkan banyak memiliki kemampuan sebagai agensia antagonis. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi bakteri sebagai agensia antagonis adalah dengan melihat karakter fisiologisnya. Beberapa karakter fisiologis yang dapat digunakan diantaranya kemampuan bakteri menghasilkan enzim ekstraseluler (kitinase, protease dan selulase) (Harni, *et al.*, 2010).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Harni *et al.* (2010). Enzim kitinase merupakan enzim penting yang dihasilkan bakteri, karena enzim ini dapat mendegradasi dinding sel patogen. TIAN *et al.* (2000) melaporkan bahwa enzim kitinolitik yang dihasilkan oleh bakteri dapat mendegradasi lapisan

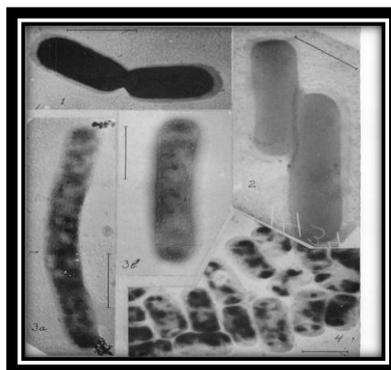
tengah kutikula *Meloidogyne javanica*, *Rotylenchulus reniformis*, *Tylenchulus semipenetrans* dan *Pratylenchus minyus*, serta lapisan luar telur *Heterodera schachtii* dan *H. Glycines* (Perry dan Tret, 1986).

Kitin dapat dihidrolisis oleh enzim kitinase. Enzim kitinase merupakan enzim yang berperan dalam pengendalian hayati jamur, nematoda dan serangga secara mikroparasit. Enzim kitinase ini mampu menguraikan kitin pada dinding sel jamur, nematoda dan eksoskeleton serangga menjadi N-asetil glukosamida.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Faticah (2011) menjelaskan bahwa bakteri endofit (*Bacillus mycooides*, *Klebsiella ozaenae* dan *Pseudomonas pseudomallei*) mampu menghasilkan enzim kitinase, protease dan selulase.

2.4.1 *Bacillus mycooides*

Bacillus mycooides merupakan bakteri dari genus *Bacillus* Gram positif, sel membentuk rantai 5-6 sel, non-motil, anaerob fakultatif, suhu untuk pertumbuhannya sekitar 15-40°C, bisa membentuk asam dari glukosa, dan biasanya berukuran lebih dari 3µm (Knaysi, *et.al*, 1947). Adapun bentuk bakteri *Bacillus mycooides* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.9. Bentuk Bakteri *Bacillus mycooides* (Knaysi, *et.al*, 1947)

Sebagaimana bakteri genus *Bacillus* lainnya, *Bacillus mycoides* juga memiliki endospora, pada kondisi lingkungan yang ekstrim bakteri menghasilkan endospora yang bisa dorman selama periode yang panjang. Habitat bakteri ini dapat ditemukan di debu, tanah yang subur, tanaman-tanaman, binatang-binatang, susu, air dan bakteri ini berbentuk batang. *Bacillus* secara khusus dapat memproduksi enzim protease ekstraseluler (Fincan dan Okumus, 2007).

Melalui beberapa pengujian menunjukkan bahwa *Bacillus mycoides* mampu memproduksi enzim kitinase, β -1,3-glukanase, dan peroksidase, semua protein yang berhubungan dengan patogenesis dan diterima sebagai indikator dari ketahanan sistemik (Bargabus *et al.*, 2002).

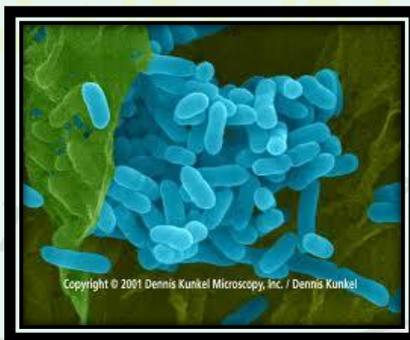
2.4.2 *Klebsiella ozaenae*

Berbentuk batang lurus, berdiameter 0,3 – 1 μ m dan panjangnya 0,6 – 6 μ m, tersusun secara tunggal, berpasangan atau membentuk rantai pendek, sel diselubungi oleh kapsul. Merupakan gram negatif, tidak bergerak, anaerobik fakultatif, suhu optimal adalah 37°C. Mampu mengkatalisis D-glukosa dan karbohidrat lain, menghasilkan asam dan gas, tetapi strain terjadi secara anaeroganik. Oksidasi negatif dna katalase positif. Beberapa spesies mampu menghidrolisis urea, tumbuh pada KCN. Tidak memproduksi H₂S dan mereduksi nitrat. *Klebsiella ozaenae* termasuk jenis bakteri yang koloninya berbentuk lendir atau mukoid.

2.4.3 *Pseudomonas pseudomallei*

Bakteri genus *Pseudomonas* umumnya berbentuk batang lurus atau sedikit berombak, tapi tidak berbentuk heliks, bakteri ini berukuran 0,5-1,0 x 1,5-5,0 μm . Banyak spesies menghimpun β -*hydroxybutyrate* sebagai bahan cadangan karbon. Mereka tidak memproduksi fosfat dan tidak dikelilingi oleh lapisan-lapisan. Tidak memiliki fase istirahat yang diketahui, termasuk strain gram negatif. Pergerakan terjadi karena adanya satu atau beberapa flagel yang polar (Kunkel, 2010).

Kebanyakan spesies dari genus *Pseudomonas* tidak dapat tumbuh dalam kondisi asam (pH4,5). Sebagian besar spesies tidak membutuhkan bahan organik sebagai faktor tumbuh. Oksidasi positif atau negatif. Katalase positif dan kemoorganotrofik sebagian spesies merupakan kemolitotrof yang bisa menggunakan H₂ dan CO sebagai sumber energi.



Gambar 2.10. Bentuk Bakteri *Pseudomonas pseudomallei* (Kunkel, 2010)

Pseudomonas pseudomallei merupakan bakteri batang gram negatif yang tidak meragi karbohidrat, bersifat aerob. Bakteri ini dapat menyebabkan meliodosis (Mayasari, 2005). Habitat *Pseudomonas pseudomallei* tersebar luas di alam dan memegang peranan penting dalam pembusukan zat organik (Chowdhury and Heinemann, 2006).

Pseudomonas sp. telah diteliti sebagai agen pengendalian hayati penyakit tumbuhan. Strain *P. fluorescens* dan *P. putida* yang diaplikasikan pada umbi kentang telah menggalakkan pertumbuhan umbi kentang. *Pseudomonas* pendarfluor meningkatkan hasil panen umbi kentang 5-33%, gula beet 4-8 ton/ha. dan menambah berat akar tumbuhan radish 60-144%. Strain ini dan strain-strain yang sama dengannya disebut sebagai rizobakteri perangsang per tumbuhan tanaman (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR). Sebutan sebagai rizobakteri pada bakteri *Pseudomonas* spp. Kemampuan PGPR sebagai agen pengendalian hayati adalah karena kemampuannya bersaing untuk mendapatkan zat makanan, atau karena hasil-hasil metabolit seperti siderofor, hidrogen sianida, antibiotik, atau enzim ekstraselluler yang bersifat antagonis melawan pathogen (Tjahjadi, 2005).

Baru-baru ini telah dibuktikan bahwa *Pseudomonas* spp. dapat menstimulir timbulnya ketahanan tanaman terhadap infeksi jamur patogen akar, bakteri dan virus. Bahwa ekstrak lipopolisakarida (LPSs) dari membran luar *P. fluorescens* menyebabkan ketahanan sistemik terhadap infeksi *Fusarium oxysporum* f.sp. Sianida yang dihasilkan *P. fluorescens* strain CHAO merangsang pembentukan akar rambut pada tumbuhan tembakau dan menekan pertumbuhan *Thielaviopsis basicola* penyebab penyakit busuk akar, diduga bahwa sianida mungkin penyebab timbulnya ketahanan sistemik (ISR). Siderofor pyoverdine dari *P. fluorescens* strain CHAO adalah sebab timbulnya ketahanan sistemik pada tumbuhan tembakau terhadap infeksi virus nekrosis tembakau (Rukmana, 2002).

2.5 Bakteri Endofit Kitinolitik Sebagai Agen Pengendali Hayati

Pemanfaatan mikroorganisme dalam mengendalikan penyakit tanaman merupakan bidang yang relatif baru. Pengendalian hayati jamur penyakit tanaman sering dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Salah satu pemanfaatan mikroorganisme sebagai pengendali hayati adalah isolat bakteri kitinolitik. Bakteri ini sering digunakan sebagai agen pengendali hayati karena kemampuannya menghidrolisis kitin menjadi derivat kitin (Ohno *et al.*, 1996).

Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa jenis mikroorganisme yang dapat memproduksi enzim kitin seperti *Pseudomonas putida* 89-B27 dan *Serratia marcescens* 90-166 mampu menekan patogen penyebab penyakit antraknosa pada tomat dan timun (Raupach *et al.*, 1996), *Pseudomonas* sp. strain PSJN mampu menekan pertumbuhan *Botrytis cinerea* (Barka *et al.*, 2002), *Pseudomonas fluorescens* dapat mengendalikan penyakit lincat yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* pada tembakau (Heru, 2006), *Bacillus mycoides* dan *Bacillus pumilis* menekan penyakit bercak daun *Cercospora* pada tanaman gula bit (Bargabus *et al.*, 2004), *Bacillus cereus* BT8 dan BP24 mampu mengendalikan penyakit pada beberapa tanaman tomat, kentang dan pecan (Backman, 1997).

Bakteri kitinolitik merupakan salah satu kelompok mikroorganisme yang relatif mudah dikembangkan sehingga akan lebih cepat melimpah jika dikembangkan dari biosfirnya. Aktivitas kitinase yang dapat mendegradasi dinding sel jamur menyebabkan bakteri kitinolitik ini, dapat digunakan sebagai agen biokontrol jamur patogen karena dapat mendegradasi dinding sel jamur yang

tersusun atas kitin, yang merupakan sumber nutrisi dan agen parasitisme (Toharisman, 2007).

Kemampuan mikroorganisme tersebut diharapkan dalam penelitian ini, aplikasi bakteri kitinolitik dapat digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. penyebab penyakit antraknosa pada tanaman kakao secara *in vitro* dan *in vivo* (Wahyuni, 2011).

Pengendalian populasi pada tahap larva lebih mudah dilakukan dibandingkan tahap lain dari fase hidup nyamuk. Pengendalian hayati yang telah dilaporkan pada larva nyamuk ini antara lain menggunakan jamur air *Lagenidium giganteum* (Banani *et al.*, 2002; May dan Gheynst, 2002).

Dalam Penelitian Pujiyanto (2008) dijelaskan bahwa Isolasi bakteri kitinolitik dilakukan dari sampel air yang diperoleh dari beberapa daerah di Jawa Tengah dan Jawa Barat. Pada penelitian ini telah dilakukan isolasi bakteri kitinolitik dari 72 contoh air. Dari 72 contoh air tersebut telah diperoleh 151 isolat bakteri kitinolitik. Ke-151 isolat bakteri tersebut dipelihara dalam medium agar kitin dan disimpan pada suhu 4°C sebelum diuji lebih lanjut. Hasil seleksi ini diperoleh 10 isolat yang memiliki nilai tertinggi dan ditetapkan sebagai isolat untuk diuji kemampuannya dalam mengendalikan larva nyamuk. Kesepuluh isolat tersebut selanjutnya diuji kemampuannya dalam mengendalikan larva nyamuk *Ae. aegypti*. Sebelum diujicobakan kemampuannya dalam mengendalikan larva nyamuk, kesepuluh isolat ini terlebih dahulu diperbanyak dalam medium cair selama 18 jam. Tujuannya adalah untuk mendapatkan sel aktif bakteri dalam jumlah yang cukup.

Setelah dilakukan pengamatan, berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki isolat bakteri LMB1-5 memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengendalikan larva nyamuk *Aedes aegypti*, mudah diperbanyak serta memiliki viabilitas yang tinggi maka isolat LMB1-5 ini sangat berpotensi untuk dikaji dan dikembangkan sebagai galur pengendali nyamuk *Ae. aegypti* sehingga dapat digunakan sebagai alternatif pencegahan timbulnya wabah demam berdarah. Diketahui bahwa komponen eksoskeleton nyamuk tersusun dari bahan kitin sehingga dapat didegradasi oleh enzim kitinase yang dihasilkan oleh bakteri kitinolitik. Kerusakan struktur eksoskeleton larva nyamuk dapat berakibat pada gangguan pertumbuhan dan kematian (Pujiyanto, 2008).

2.6 Mekanisme Kerja Bakteri Endofit dalam Pengendalian Hayati

Menurut FAO (1997) dalam Supriadi (2006) agen hayati adalah organisme yang dapat berkembang biak sendiri seperti parasitoid, predator, parasit, artropoda pemakan tumbuhan, dan patogen. Pada umumnya jenis agens hayati yang dikembangkan adalah mikroba alami, baik yang hidup sebagai saprofit di dalam tanah, air dan bahan organik, maupun yang hidup di dalam jaringan tanaman (endofit) yang bersifat menghambat pertumbuhan dan berkompetisi dalam ruang dan nutrisi dengan patogen sasaran, atau bersifat menginduksi ketahanan tanaman.

Pemanfaatan mikroba kitinolitik merupakan salah satu cara pengendalian hayati yang efektif. Karena mekanisme pengendaliannya tidak bergantung pada ras patogen dan tidak merangsang timbulnya resistensi (Mazzone, 1997). Kitinase dihasilkan oleh bakteri, serangga, virus, tumbuhan dan hewan (Fuji dan Miyashita 1993, Ohno *et al*, 1996), memainkan perang yang penting dalam

fisiologi dan ekologi (Ohno *et al*, 1996). Kitinase yang dihasilkan mikroba dapat menghidrolisis struktur kitin, senyawa utama penyusun dinding sel tabung miselia dan eksoskeleton serangga. Bakteri kitinolitik mempunyai kemampuan dalam menghidrolisis kitin menjadi derivat kitin. Pengendalian hayati dengan menggunakan bakteri kitinolitik didasarkan pada kemampuan organisme menghasilkan kitinase dan β -1, 3-glucanase yang dapat melisis kitin (El-Katany *et al*, 2000).

Nasahi (2010), menyatakan bahwa mekanisme antagonis bakteri endofit untuk mengendalikan patogen tanaman dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

1. Terjadinya kompetisi bahan makanan antara mikroorganisme yang berada di dalam tanah. Adanya pertumbuhan mikroorganisme yang begitu cepat akan mendesak pertumbuhan mikroba patogen.
2. Mikroparasitisme, bakteri endofit merupakan bakteri yang bersifat mikroparasit, artinya bakteri ini dapat menghambat pertumbuhan patogen dengan parasitisme.
3. Antibiosis, bakteri endofit juga mampu menghasilkan antibiotik yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba patogen.