

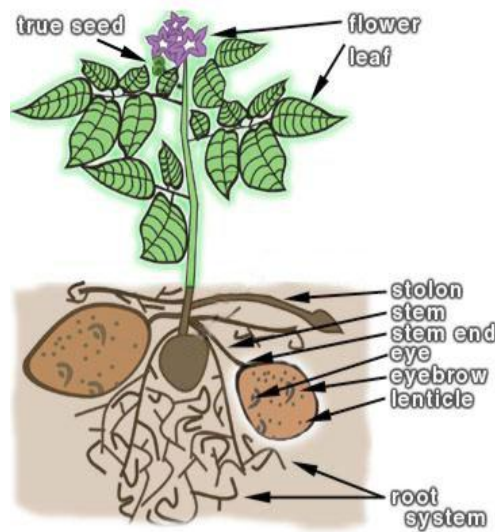
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

Tanaman kentang merupakan tanaman dikotil semusim, berbentuk semak atau herba dengan filotaksis spiral (Nurhidayah, 2005). Dengan susunan tubuh utama terdiri dari stolon, umbi, batang, daun, bunga dan biji serta akar (lihat Gambar 2.1). Stolon merupakan tunas lateral yang tumbuh dari ketiak daun di bawah permukaan tanah. Stolon ini tumbuh memanjang dan melengkung di bagian ujungnya, kemudian membesar (membengkak) membentuk umbi sebagai tempat menyimpan cadangan makanan (Rukmana, 1997). Batang kentang kecil, lunak, bagian dalamnya berlubang dan bergabus. Berbentuk persegi dan dilapisi bulu – bulu halus (Sunarjono, 2007). Warna daun hijau muda sampai hijau gelap dan tertutup oleh bulu – bulu halus (Sunarjono, 2007).

Perakaran tanaman kentang berada pada tanah lapisan atas, berpautan dengan partikel tanah untuk memperkokoh berdirinya tanaman. Perakaran ini memiliki fungsi utama sebagai penyerap air dan zat – zat hara dari dalam tanah. Perakaran tanaman kentang tidak dapat masuk jauh ke dalam tanah sehingga tingkat kesuburan tanah lapisan atas sangat menentukan perkembangan tanaman (Pitojo, 2004).



Gambar 2.1 Morfologi tanaman kentang (Price Edward Island, 2004)

2.1.1 Kandungan Gizi Umbi Kentang

Kentang merupakan salah satu bahan makanan yang mempunyai kandungan gizi yang tinggi. Bagian utama tanaman kentang yang menjadi bahan makanan adalah umbi. Umbi kentang merupakan sumber karbohidrat yang mengandung vitamin mineral yang cukup tinggi. Menurut Minarno (2008), karbohidrat merupakan persenyawaan kimia yang mengandung unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O). Nama karbohidrat terjadi karena unsur tersebut merupakan campuran dari karbon dan hidrat (air) yang bergabung menjadi satu persenyawaan. Karbohidrat merupakan hasil dari proses fotosintesis yang terjadi pada tanaman berhijau daun. Hasil dari fotosintesis ini sebagian besar adalah karbohidrat yang disimpan pada sel tanaman yang berupa pati, selulosa (polisakarida) dan glukosa (monosakarida).

Kentang merupakan bahan pangan yang memiliki kandungan pati yang tinggi dan merupakan bahan pangan yang pokok serta mudah diperoleh di

berbagai bagian Asia Tenggara (Minarno, 2008). Hasil utama tanaman kentang adalah umbi, bahan pangan yang kaya akan vitamin dan mineral. Komposisi utama umbi kentang terdiri atas 80 % pati dan 2 % protein (Pitojo, 2004).

2.1.2 Kandungan Senyawa Kimia Tanaman Kentang

Senyawa kimiawi yang dikandung oleh kentang termasuk dalam golongan glikoalkaloid, dengan dua macam senyawa utama, yaitu solanin dan *chaconine*. Biasanya senyawa ini dalam kentang berkadar rendah dan tidak menimbulkan efek yang merugikan bagi manusia. Meskipun demikian, kentang yang berwarna hijau, bertunas, dan secara fisik telah rusak atau membusuk dapat mengandung kadar glikoalkaloid dalam kadar yang tinggi. Kadar glikoalkaloid yang tinggi dapat menimbulkan rasa pahit dan gejala keracunan berupa rasa seperti terbakar di mulut, sakit perut, mual, dan muntah (BPOM, 2008). Byrne (1998) melaporkan bahwa glikoalkaloid, solanin, dan α -kakonin merupakan senyawa kimia yang mampu merangsang penetasan larva II *G. rostochiensis*.

Selain itu, tanaman kentang juga mengandung Phytoalexin. Pada tanaman kentang ditemukan Phytoalexin norsesquiterpenoid dan rishitin. Phytoalexin adalah senyawa antimikroba dengan berat molekul yang kecil yang terakumulasi dalam tanaman sebagai akibat dari adanya infeksi atau cekaman (Kuc, 1995).

2.2 Nematoda Sista Kentang (*Globodera* spp)

Sebagian besar nematoda yang mendiami tanah adalah mikroba pengumpan atau predator organisme tanah lain tetapi beberapa diantaranya telah

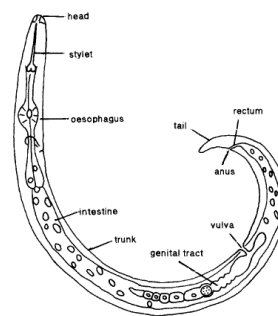
diketahui termasuk dalam nematoda pengganggu tanaman. Nematoda parasit tanaman berbeda dengan nematoda non-parasit pada bentuk struktur penyusun, cara bergerak, berbentuk seperti jarum, stilet, rongga mulut dan karakteristik esofagus. Karena ukurannya yang kecil (panjang rata-rata sekitar 1 mm) dan transparan tubuh nematoda tidak dapat dilihat dalam tanah atau jaringan tanaman dengan mata telanjang nematoda parasit tanaman merupakan suatu hal yang penting diperhitungkan penting dalam bidang pertanian karena mereka menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman dampak terburuk dari hal tersebut adalah terjadinya gagal panen. Nematoda parasit tanaman dipisahkan menjadi 3 golongan berdasarkan karakter morfologinya yaitu Triplonchida, Dorylaimida, dan Tylenchida (SAFRINET, 1999).

Globodera sp termasuk ke dalam superkingdom Eukaryota, kingdom Animalia, phylum Nematoda, Kelas Chromadea, ordo Tylenchida, subordo Tylenchina, superfamili Tylenchoidea, family Heteroderidae, subfamily Heteroderinae, dan genus *Globodera*. *Globodera* mempunyai 14 spesies, terdapat 2 spesies yang menjadi parasit utama pada kentang yaitu spesies *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens dan *Globodera pallida* (Stone) Behrens. *G. rostochiensis* dengan sista berwarna emas atau kuning (*Golden cyst nematoda*), dan *G. pallida* dengan sista berwarna putih (*white cyst nematoda*) (Cabi, 2007).

2.2.1 Nematoda Sista Kuning (*G. rostochiensis*)

Nematoda sista kuning atau *G. rostochiensis* merupakan organisme berupa cacing berukuran kecil, dengan panjang kurang dari 1 mm, yang tinggal di dalam tanah dan menyerang akar tanaman (Knoxfield, 2006). Tubuh biasanya

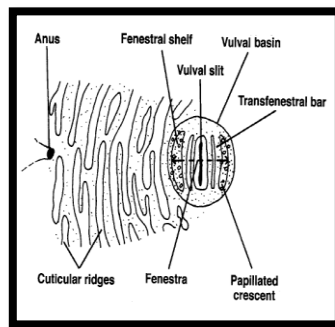
memanjang silindris, kadang – kadang berbentuk gelendong dan terdiri atas daerah kepala, daerah leher, batang, dan ekor (lihat Gambar 2.2), berwarna, memiliki beberapa lapisan kutikula yang semi permeabel menutupi tubuh dan bersama-sama dengan lapisan sel hipodermal membentuk skeleton hidrostatik (SAFRINET, 1999). Nematoda sista kuning umumnya bersifat menetap (sedentari). Spesies ini dapat ditemukan dalam jaringan akar dalam keadaan sudah berubah bentuk dari cacing menjadi membulat (seperti bentuk botol) (Indriatmoko, 2004). Nematoda ini berukuran sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Pada akar halus atau akar samping, nematoda ini membentuk sista yang dapat dilihat dengan mata (Sunarjono, 2007).



Gambar 2.2 Struktur umum nematoda tanaman tipe Tylenchida (SAFRINET, 1999)

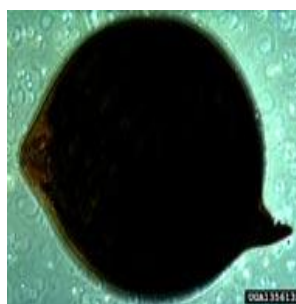
Nematoda betina bersifat menetap, memiliki bentuk tubuh panjang agak bulat dengan leher yang terproyeksi kecil, tidak memiliki terminal kerucut, diameter lebih dari 450 μm , mulai dari warna putih kekuning – kuning. Sista memiliki bentuk yang sama dan memiliki kulit berwarna kecoklatan. Permukaan kutikula zig – zag menyerupai pola pegunungan dan memiliki lapisan-D. Daerah perineum terdiri dari fenestra tunggal yang terletak di celah vulva dan tabung perineum dekat vulva. Anus subterminal tanpa fenestra, vulva dalam wadah

vulva, penghubung dalam dan bullae jarang ditemukan. Telur dipertahankan dalam sista dan tidak memiliki massa (Nijs, 2012). Sista yang berisi telur bisa bertahan hidup di tanah selama 28 tahun (Robison, 1986).



Gambar 2.3 Globodera: Daerah perineal dari sista Globodera (After Fleming and Power, 1998 dalam Nijs, 2012)

Hasil identifikasi *G. rostochiensis* pada tanaman kentang di Batu, Jawa Timur oleh Mulyadi dkk (2003), menunjukkan bahwa panjang sista yakni antara 470-1.008 μm (lihat Gambar 2.7). Sedang lebar sista antara 357-744 μm dengan rata – rata 490,33 μm . Panjang kepala termasuk “leher” antara 80-160 μm dengan rata – rata 112,17 μm .



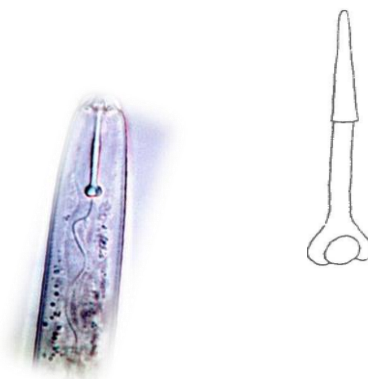
Gambar 2.4 Sista *G.rostochiensis* (Zunke, 2005)

Larva II berbentuk seperti cacing dan bersifat tidak menetap, tubuhnya tidak keras dan meruncing di kedua ujungnya. Panjang tubuh berkisar 445-510 μm , panjang stilet 19-25 μm , panjang ekor 37-55 μm , dan ekor hialin 21-31 μm

(Nijs, 2012). Ketika masih di dalam telur pada umumnya tubuh larva melipat menjadi empat lipatan (lihat Gambar 2.8 dan dan Gambar 2.12). Larva berbentuk cacing (*vermiform*), bentuk ekor makin ke ujung makin mengecil (lihat Gambar 2.5). Kepala sedikit *offset* (bagian kepala dengan bagian tubuh di belakang kepala “dipisahkan” suatu lekukan pada kutikula). Stile tipe stomatostilet dan berkembang dengan baik. Knob stilet (pangkal stilet) berbentuk membulat (lihat Gambar 2.15) yang merupakan ciri dari spesies *Globoedera rostochiensis* (Mulyadi, 2003).

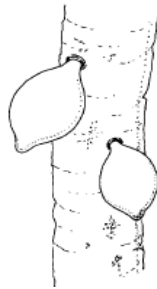


Gambar 2.5. Larva II yang telah menetas dari telur (Zunke, 2005)



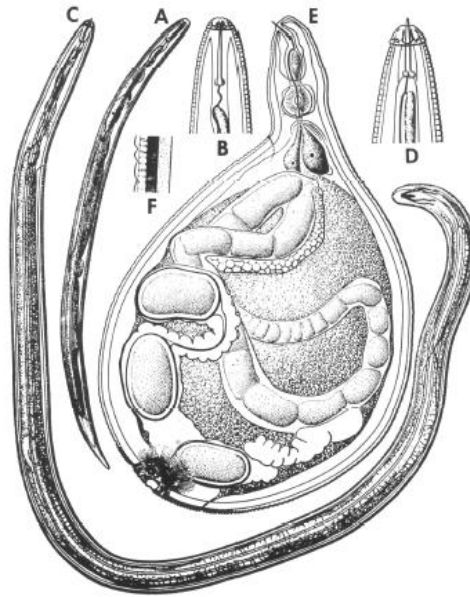
Gambar 2.6 Knob stilet *Globodera rostochiensis*

Sebagian besar spesies *Globodera* sudah membentuk sista yang menempel pada akar tanaman dengan jaringan anterior tubuhnya menyusup dalam korteks, sedangkan bagian posteriornya di luar jaringan akar (semi endoparasit) (lihat Gambar 2.10). Sista *G. rostochiensis* (nematoda emas) berwarna putih, kuning atau berwarna keemasan ketika pertama kali mereka berada pada akar (sista belum dewasa) dan berubah warna menjadi coklat jika mereka sudah dewasa (Knoxfield, 2006).



Gambar 2.7 Sista nematoda betina pada akar (SAFRINET, 1999)

Apabila *G. rostochiensis* betina mati, telur-telur yang mengandung embrio tetap berada di dalam tubuh *G.rostochiensis* betina. Larva *G.rostochiensis* mengalami pergantian kutikula yang pertama di dalam telur, sebelum telur menetas. (Dropkin, 1996). Biasanya telur-telur akan dorman dalam sista sampai ada rangsangan dari akar tanaman inang. Telur dapat bertahan hidup dalam sista selama 30 tahun (Ferris, 1999) dan dalam keadaan dorman, sista dapat tahan terhadap faktor lingkungan ekstrim, nematisida, dan senyawa kimia tertentu (Spears, 1968). Telur dalam sista akan menetas jika temperatur tanah mencapai 10 °C. Larva II *G. rostochiensis* keluar dari sista dan bergerak mencari akar tanaman. Sekitar 60-80 % telur menetas sangat dipengaruhi oleh rangsangan akar tanaman, dan hanya sekitar 5 % telur nematoda dapat menetas di dalam air (Ferris, 1999).



Gambar 2.8 Nematoda sista emas pada kentang, *Globodera rostochiensis* Wollenweber, 1923: A. Larva infeksi, yang menetas dari telur; B. Kepala dari larva infeksi; C. Pejantan; D. Kepala dari pejantan; E. Betina muda; F. Bagian dari dinding sista (Spears, 1998)

1.2.2 Larva II *G. rostochiensis*

Larva II *Globodera rostochiensis* merupakan hasil perkawinan antara nematoda betina dan nematoda jantan. Larva II ini tersimpan dalam telur yang berada di dalam tubuh *G. rostochiensis* betina (Dropkin, 1996). Ketika larva II *G. rostochiensis* menemukan inang, maka akan masuk ke dalam akar melalui ujung pertumbuhan akar atau melalui akar lateral dan menggunakan mulut atau stilet-nya untuk menembus dinding sel. Memakan umbi akar sebagai precursor untuk membentuk sintisium, dengan demikian dapat memperbesar ukuran lubang sel akar (sel akar membengkak) dan memecah dinding sel akar. Keberadaan sintisium dapat memudahkan asupan nutrisi bagi nematoda (APHIS, 2008).

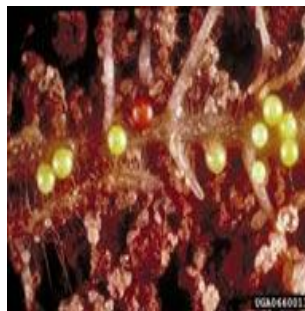
Larva tersebut bergerak aktif melalui selaput air di antara partikel-partikel tanah dan menyerang akar tanaman dengan cara melukai epidermis ujung akar

dengan stilet (alat penusuk dan pengisap pada mulutnya) lalu masuk ke dalam jaringan sampai ke jaringan tengah. Larva tersebut menginjeksikan cairan ke dalam sel akar. Cairan pencernaan yang dikeluarkan oleh nematoda ini merangsang terjadinya pembelahan sel akar sehingga terjadi pembengkakan. Keadaan ini dibutuhkan untuk perkembangan larva (Luc, dkk. 1995).

Larva II masuk kedalam perakaran dipengaruhi oleh rangsangan eksudat tanaman inang yang menyebabkan telur di dalam sista yang berada di tanah menetas dan kemudian menyerang akar tanaman tersebut. Tiap – tiap individu nematoda hidup dalam suatu kelompok sel di dalam perisikel, korteks atau endodermis, kemudian berpindah sampai ke sintisium. Nematoda menetap disini selama perkembangannya, dan hal ini menentukan apakah larva II akan berkembang menjadi jantan ataupun betina. Tubuh betina membengkak dan pecah, dan masuk ke dalam jaringan tanaman melalui penempelan pada permukaan akar. Proses fertilisasi mereka sama seperti cacing lainnya, jantan bergerak dengan aktif. Setelah terjadi pembuahan jantan mati dan betina tinggal di akar sampai telur berkembang. Ketika betina secara penuh mengalami maturasi mereka akan mati dan kulit mereka akan mengeras dan berwarna coklat sebagai lapisan pelindung (sista) bagi telur yang ada di dalamnya (Stelter, 1971; Stone, 1973; Jones & Jones, 1974).



Gambar 2.9 Umbr kentang yang tidak berkembang akibat serangan nematoda sista kentang (Institut Perlindungan dan Penelitian Tanaman Ankara, 2010)



a

Gambar 2.10 Sista yang menempel pada akar tanaman kentang (Central Science Laboratory, 2008)

2.2.3 Habitat Nematoda *G. rostochiensis*

Semua nematoda tanaman menghabiskan sebagian dari siklus hidup mereka di tanah yang dipengaruhi oleh kondisi tanah seperti kelembaban tanah, teperatur tanah, jenis tanah, aerasi, material organik yang dibutuhkan, distribusi akar tanaman inang, jenis kultivar tanaman, parasit, predator dan nematoda patogen lainnya. Beberapa kondisi yang mempengaruhi kelangsungan hidup nematoda tanaman antara lain (SAFRINET, 1999):

1. Suhu optium tanah yang dibutuhkan agar nematoda dapat aktif adalah 16 - 29°C, di atas dan di bawah ini nematoda menjadi tidak aktif, dan suhu di bawah 4°C dan diatas 40°C mampu menyebabkan nematoda mati.

2. Kisaran optimal kelembaban tanah adalah antara 40% dan 80%, pada tanah yang kering tidak memungkinkan untuk melakukan pergerakan disebabkan kurangnya oksigen dalam tanah dan tanah yang liat juga menghambat pergerakan bebas. Nematoda menghuni semua jenis tanah tapi lebih suka tanah berpasir.
3. Eksudat akar tanaman inang dapat merangsang larva II untuk menetas, eksudat akar tanaman inang pada beberapa spesies tanaman juga dapat menghambat penetasan bahkan mampu membunuh nematoda.
4. Penanaman jenis kultivar tanaman yang rentan terhadap nematoda dapat mengakibatkan kerusakan tanaman tanaman tersebut, sedangkan kultivar yang tahan dapat menghambat perbanyakan nematoda. Serangan nematoda kebanyakan terjadi di tanah dibudidayakan, munculnya spesies lain yang mengganggu tanaman ini biasanya terjadi melalui kegiatan manusia.

2.2.4 Siklus Hidup Nematoda *G. rostochiensis*

Menurut Ferris (2008), siklus hidup nematoda *G. rostochiensis* dimulai ketika larva stadium kedua yang infeksiif menembus pucuk akar inang, menginfeksi sel korteks akar dan merangsang sel – sel tersebut menjadi sintisium yang membengkak. Isi sintisium tersebut menjadi sumber nutrisi bagi nematoda. Nematoda jantan mengalami metamorfosis sejati karena berbentuk *vermifora* (cacing), di dalam tubuh larva stadium kelima berbentuk bulat, kemudian menerobos keluar jaringan akar, hidup bebas di dalam tanah dan pada waktunya akan mengawini nematoda betina. Nematoda betina yang berbentuk bulat tersebut

menempatkan sebagian tubuhnya berada di luar akar, menjadi *semi endoparasit*. Setelah terjadi perkawinan, ketika kondisi lingkungan tidak mendukung maka nematoda betina akan segera membentuk menjadi sista.

Jantan dewasa tidak makan (bukan parasit tanaman) tetapi perannya dalam memperbanyak nematoda sangat besar karena sangat aktif mengawini betina (*Amphimictic*). Rasio seks nematoda sista kuning sangat dipengaruhi oleh persediaan nutrisi. Apabila nutrisi cukup, banyak larva menjadi betina, tetapi apabila suplai nutrisi kurang (infestasi terlalu tinggi) atau kondisi kurang menguntungkan sering terjadi perubahan seks (*seks reversal*), larva yang akan menjadi betina berubah menjadi jantan. Setelah terjadi perkawinan, betina akan menghasilkan sekitar 500 telur (Stone, 1973 dalam Hadisoeganda, 2006).

Telur menetas di dalam tubuh nematoda betina yang membengkak (yang disebut sista). Sista pada awalnya berwarna putih mutiara, kemudian berubah menjadi keemasan, orange dan akhirnya coklat. Sista dibentuk dari kutikula yang menghitam (*tanning*) dari nematoda betina (Departemen Perlindungan Tanaman, 2008) dan dapat bertahan hidup lebih dari 15 tahun dalam tanah tanpa makanan dalam stadia istirahat (dorman) (Sunarjono, 2007).



Gambar 2.11 telur *G. rostochiensis* (Zunke, 2005)

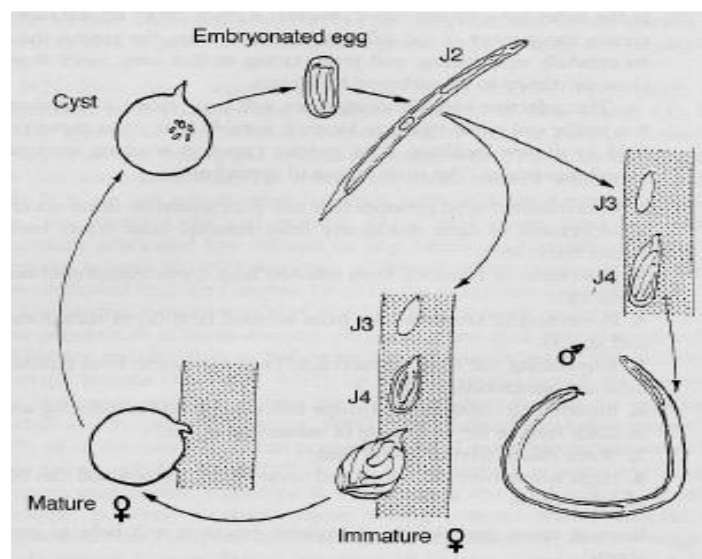
Proses dormansi (*diapause*) dimulai dengan terjadinya perubahan daya permeabilitas dinding sista dan telur, diikuti dengan penurunan metabolisme larva I atau telur ke taraf yang lebih rendah. Pada periode tersebut sista menjadi relung (*niche*) ekologi tersendiri yang resisten terhadap faktor ekologis yang sub-optimal (tidak baik) (Hadisoeganda, 2006).

Dalam situasi dorman tersebut nematoda bertahan hidup terhadap bahan aktif nematisida, suhu ekstrem (-35°C) maupun kekeringan (Spears, 1968 dalam Hadisoeganda, 2006), sehingga nematoda *Globoedera rostochiensis* mudah tersebar luas secara pasif baik terikut oleh benih kentang, bahan perbanyakan tanaman lainnya, tanah dan peralatan pertanian. Telur mulai berkembang melalui proses embriogenesis, membelah dari satu sel menjadi dua sel, empat, delapan, dan seterusnya sehingga terbentuk cacing bersilet. Larva stadium kesatu berganti kulit di dalam telur dan menjadi larva stadium kedua. Telur tersebut baru akan menetas menjadi larva stadium kedua yang infeksiif apabila terangsang eksudat akar inang, khususnya eksudat akar kentang (*PRD/Potato Root Diffusate*) dan suhu tanah yang menghangat (di atas 10°C) (Clarks dan Hannessy, 1984 dalam Hadisoeganda, 2006).

Menurut Mark dan Brodie (1995) dalam Hadisoeganda (2006) menyebutkan bahwa kisaran temperatur yang optimum untuk proses penetasan telur nematoda *G. rostochiensis* adalah $18-24^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk perkembangan dan reproduksi nematoda *G. rostochiensis* antara $15-21^{\circ}\text{C}$. Meskipun begitu tidak berarti diluar kisaran itu nematoda *G. rostochiensis* tidak mampu berkembang dengan optimal, mengingat bahwa nematoda *G. rostochiensis* terbukti dapat

dikembangkan di dalam rumah kaca di Bandung yang kisaran suhunya lebih dari 20-27°C.

Siklus hidup nematoda *G. rostochiensis* sangat dipengaruhi oleh temperatur tanah. Biasanya periode siklus hidup tersebut berkisar antara 38 hari sampai 48 hari (Mark dan Bordie, 1998 dalam Hadisoeganda, 2006). Daya bertahan tetap hidup (survival), pembiakan dan dinamika populasi nematoda *G. rostochiensis* sangat dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, waktu penyinaran matahari dan faktor – faktor edafik (faktor – faktor yang terkait dengan tanah) (Hadisoeganda, 2006).



Gambar 2.12 Skema siklus hidup *Globodera* spp (Evans, 1977 dalam Marks, 1998)

2.2.5 Mekanisme Serangan Nematoda Sista Kuning

Nematoda mempenetrasi tanaman dengan stilet. Nematoda mensekresikan senyawa tertentu untuk proses infeksi yang berperan dalam penetrasian (*hatching*), pertahanan, pergerakan dan pembentukan *feeding site*. Senyawa tersebut dihasilkan dari kutikula, *amphids*, dan *esophageal gland cells*. Kutikula

nematoda mengandung protein yang terikat pada retinol, asam lemak linolenat dan linoleat. Peroksidasi asam lemak oleh lipoksigenase dapat menginduksi pembentukan asam jasmonat dan ROS yang berperan dalam respon ketahanan inang. Kutikula dapat menghasilkan peroksiredoksin (peroksidase) dan superoksida dismutase untuk melawan ROS. *Amphid secretion* berperan dalam pembentukan dan pemeliharaan *feeding site* (Darma, 2012).

2.2.6 Karakteristik Tanaman Kentang yang Terserang *G. rostochiensis*

Gejala - gejala akibat terserang *Globodera* tidak diketahui secara spesifik. Gejala umumnya yang dapat diamati contohnya adalah buruknya pertumbuhan pada tanaman. Kadang – kadang tanaman yang terinfeksi nematoda jenis ini menunjukkan penampakan dedaunan yang menguning, layu hingga pada kematian tanaman. Ukuran umbi kentang yang dihasilkan kecil atau tidak berkembang, kadang – kadang tidak dihasilkan sama sekali (lihat Gambar 2.3). Namun, penyebab lainpun dimungkinkan memiliki gejala serupa dengan serangan *Globodera*. Karena itu pengangkatan tanaman untuk pemeriksaan visual perlu dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat sista dan juvenile betina di akar. Selain itu dapat dilakukan pula pengambilan dan pengamatan sampel tanah untuk menemukan sista nematoda tersebut. Juvenile dan sista hanya terlihat oleh mata telanjang sebagai bola putih, kuning atau coklat kecil pada permukaan akar (lihat Gambar 2.10). Deteksi dengan cara pengangkatan tanaman tidak mudah dan memakan waktu. Oleh karena itu pengambilan sampel tanah merupakan alternatif terbaik untuk menentukan adanya sista nematoda kentang (Nijs, 2012).

2.3 Bakteri Endofit

Mikroba endofit adalah organisme hidup yang berukuran mikroskopis (bakteri dan jamur) yang hidup di dalam jaringan tanaman (*xylem* dan *phloem*), daun, akar, buah dan batang (Simarmata, 2007). Setiap tanaman tingkat tinggi dapat mengandung beberapa mikroba endofit yang mampu menghasilkan senyawa biologi atau metabolit sekunder yang diduga sebagai akibat koevolusi atau transfer genetik (*genetic recombination*) dari tanaman inangnya dalam mikroba endofit (Tan RX, 2001 dan Radji, 2005).

Yunus dkk. (1999) menyatakan bahwa organisme endofit merupakan organisme yang hidup selama satu periode siklus hidup dalam jaringan tanaman, tidak termasuk mikroorganisme yang hidup di permukaan tanaman, organisme yang menyebabkan penyakit pada tanaman mikrozoa maupun rhizobium. Bakteri endofit awalnya berasal dari lingkungan eksternal dan masuk ke dalam tanaman melalui stomata, lentisel, luka (seperti adanya trikoma yang rusak), melalui akar lateral dan akar yang berkecambah (Kaga, 2009).

Koionisasi bakteri endofit pada lapisan luar sel (*exodermis*, *sclerenchyma*) dan korteks akar, terjadi secara inter dan intraseluler dalam waktu 2-3 minggu, menyebabkan bagian *aerenchyma* (korteks) menjadi berair dan ini merupakan tempat terbesar bagi terbentuknya mikrokoloni. Sebagian besar kolonisasi secara interseluler menyebabkan pengambilan nutrisi, terutama karbon oleh bakteri. Kadangkala bakteri endofit mampu melakukan penetrasi ke dalam akar sampai pada *stele*, dan juga terdapat pada *parenchyma* dan dalam jaringan xilem (Prakamhang, 2007).

Bakteri endofit secara umum yang ditemukan pada berbagai tumbuhan diantaranya *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter* dan *Agrobacterium*. *Pontea*, *Enterobacter*, *Methylobacterium*, *Agrobacterium* dan *Bacillus* banyak dilaporkan sebagai bakteri endofit pada tumbuhan yang dibudidayakan. *Pontea* banyak ditemukan di dalam jaringan tanaman dan *Klebsiella* sp. juga dilaporkan mengkolonisasi jaringan tanaman (Susilowati, 2010).

2.3.1 Asosiasi Bakteri Endofit dengan Tanaman Inang

Asosiasi endofit dengan tumbuhan inangnya, oleh Carrol (1988) dalam Worang (2003), digolongkan dalam dua kelompok, yaitu mutualisme konstitutif dan induktif. Mutualisme konstitutif merupakan asosiasi yang erat antara endofit dengan tumbuh – tumbuhan terutama rumput – rumputan. Pada kelompok ini endofit menginfeksi ovula (benih) inang dan penyebarannya melalui benih serta organ penyerbukan inang. Mutualisme induktif adalah asosiasi antara endofit dengan tumbuhan inang, yang penyebarannya terjadi secara bebas melalui air dan udara. Jenis ini hanya menginfeksi bagian vegetative inang.

Disamping menyebabkan ketahanan, sedikit yang mengetahui tentang mekanisme lain yang digunakan oleh antagonis bakteri endofit terhadap patogen seperti antibiotik, kompetisi dan lisis. Selanjutnya bakteri endofit juga diketahui dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi hormon pertumbuhan, meningkatkan nutrisi dan fiksasi nitrogen (Schulz, 2006).

Beberapa bakteri endofit dilaporkan mampu mendukung pertumbuhan dan menjaga kesehatan tanaman inangnya. Oleh karena itu, bakteri endofit penting sebagai biokontrol (Reiter, 2002). Kemampuan mikroba endofit memproduksi

senyawa metabolit sekunder sesuai dengan tanaman inangnya merupakan peluang yang sangat besar dan dapat diandalkan untuk memproduksi metabolit sekunder dari mikroba endofit yang diisolasi dari tanaman inangnya tersebut (Strobel, 2003 dalam Radji, 2005).

Salah satu cara terbaru dalam memproduksi senyawa metabolit sekunder sejenis yang terdapat pada tanaman adalah dengan memanfaatkan mikroba endofit yang hidup dalam jaringan tanaman. Di dalam medium fermentasi, mikroba endofit menghasilkan senyawa sejenis seperti yang terkandung pada tanaman dengan bantuan aktivitas enzim (Petrini, 1992).

2.3.2 Senyawa Nematisida Bakteri Endofit

Enzim ekstraseluler yang dihasilkan bakteri endofit diantaranya adalah kitinase, protease, dan selulase. Enzim kitinase merupakan enzim penting yang dihasilkan oleh bakteri antagonis untuk mengendalikan patogen tular tanah, karena enzim ini dapat mendegradasi dinding sel patogen yang terdiri dari kitin seperti dinding sel cendawan, nematoda, dan serangga. Enzim protease yang dihasilkan oleh bakteri selain berperan dalam mendegradasi dinding sel patogen, protease dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk melakukan penetrasi secara aktif ke dalam jaringan tanaman. Benhamou, dkk. (1996) menyebutkan bahwa enzim selulase dan pektinase yang dihasilkan *Pseudomonas fluorescens* dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk mengkolonisasi daerah interseluler jaringan korteks akar, sehingga terjadi penghambatan invasi patogen.

Beberapa jenis bakteri seperti *Bacillus thuringiensis* dikenal mempunyai sifat antagonis terhadap nematoda parasitik. Bakteri tersebut menghasilkan β -

exotoxin dan δ -endotoxin yang menyebabkan sel tubuh nematoda akan rusak. Efek lain dari infeksi bakteri tersebut terhadap nematoda adalah terganggunya proses pencernaan nematoda seperti *Meloidogyne incognita*, *Ratylenchus reniformis*, dan *Pratylenchus penetrans* (Kloper dkk, 1992). Bakteri marga *Bacillus* menghasilkan berbagai macam enzim sebagai hasil metabolit sekundernya dan telah banyak diproduksi dalam skala industri diantaranya adalah enzim alanin dan formiat, α -amilase, β -amilase, glukamilase, kitinase, dan kolesterol oksidase (Hatmanti, 2000).

2.3.2 Mekanisme Bakteri Endofit Melindungi Tanaman

Mekanisme bakteri endofit melindungi tanaman dari infeksi nematoda melalui beberapa cara di antaranya menghasilkan senyawa toksik yang bersifat nematisidal. Senyawa hasil metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri endofit yang dapat membunuh nematoda diantaranya adalah antibiotik, HCN, dan siderofor. Produksi senyawa toksik dalam kultur filtrat dari bakteri endofit *Bulkholderia ambifaria* berasal dari akar tanaman jagung dapat menghambat penetasan telur dan mobilitas dari larva stadia kedua *M. incognita* (Li, 2002 dalam Harni, 2010). Sedangkan senyawa toksik lain yang dihasilkan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan yang dihasilkan oleh bakteri endofit *Pseudomonas fluorescens* adalah 2,4 diacetyl- pholoroglucinol yang dapat menurunkan penetasan telur dan membunuh larva *M. javanica* (Siddiq, 2003 dalam Harni, 2010).

Sturz (2006), menyatakan bahwa bakteri endofit ditemukan mampu melawan invasi pitopatogen. Adapun lima mekanisme penghambatan patogen oleh bakteri yang sering disebutkan adalah:

- i) Kompetisi sumberdaya (unsur hara). Sebagai contoh *siderophore* (*chelator*) dihasilkan oleh bakteri dalam jumlah yang sangat banyak, untuk bersaing memanfaatkan unsur – unsur mineral spesifik sehingga dapat menghambat pitopatogen untuk memenuhi unsur – unsur kebutuhannya pada mineral – mineral yang terbatas.
- ii) Menghasilkan antibiosis; pada mulanya diketahui bahwa bakteri mampu memproduksi metabolit antibakteri, antijamur dan antinematoda. Beberapa antibiotik telah diidentifikasi, seperti yang dihasilkan oleh *Pseudomonas* sp., zat yang berfungsi sebagai antibiotik tersebut diantaranya adalah *phloroglucinols*, *phenazin derivative*, *pyoluteorin*, *pyrrolnitrin*, siklus *lipopeptides* dan *sianida hydrogen*, dan zat antibiotik lainnya adalah agrocin 84 (*Agrobacterium* sp.), Herbicolin A (*Erwinia* sp.), Iturin A, surfactin, zwittermicin A (*Bacillus* sp.) dan xanthobacin (*Stenotrophomonas* sp.).
- iii) Aktivitas enzim litik: beberapa jenis bakteri yang berfungsi sebagai agen pengendali terbukti benar, dan biasanya mengakibatkan degradasi dinding sel patogen atau mengakibatkan gangguan pada bagian – bagian tertentu. Sebagai contoh enzim kitinase yang diproduksi oleh *Serratia plymuthica* dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan spora dan elongasi jaringan (germ-tube) pada *Botrytis cinerea*. Sedangkan enzim β - 1,3 glucanase

yang disintesis dari *Paenibacillus* sp. dan *Streptomyces* sp. dapat menyebabkan lisis pada dinding sel jamur *Fusarium oxysporum* dan enzim lain yang diproduksi oleh bakteri tersebut meliputi hydrolase, laminarinase dan protease.

- iv) Sistem resistensi pada tanaman: bakteri mempengaruhi gen ketahanan melalui produksi *jasmonate* yang disandikan, peroxidase atau enzim yang terlibat dalam sintesis *phytoalexins*. Sampai sekarang bukti keterlibatan polisakarida, *siderophores* dan *phloroglucinols* telah banyak diketahui.
- v) Kamuflase akar. Hal ini berarti bahwa bakteri yang bersifat resisten pada beberapa jenis penyakit dengan meningkatkan kepadatan populasi untuk menghindari kehadiran pathogen tanaman.

Mekanisme penghambatan mikroorganisme oleh senyawa antimikrobal dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penghambatan terhadap sintesis penyusun dinding sel, peningkatan permeabilitas membran sel yang dapat menyebabkan kehilangan komponen penyusun sel, menginaktivasi enzim dan destruksi (Ardiansyah, 2007) atau penghambatan terhadap sintesis protein (misalnya penghambatan translasi dan transkripsi material genetik) dan penghambatan terhadap sintesis asam nukleat (Brooks, dkk. 2005). Sitoplasma semua sel hidup dibatasi oleh membran sitoplasma yang berperan sebagai barrir permeabilitas selektif, membawa fungsi transfor aktif, dan kemudian mengontrol komposisi internal sel. Jika fungsi integritas membran sitoplasma dirusak maka makromolekul dan ion keluar dari sel, kemudian sel akan rusak.

Menurut pelczar (1988) dan jawetz (2001), mekanisme kerja antimikroba dapat melalui beberapa cara, yaitu:

1. Merusak Dinding Sel

Dinding sel dapat mengalami kerusakan jika pembentukannya dihambat, yaitu penghambatan pada sintesis dinding sel atau dengan cara mengubahnya setelah selesai terbentuk. Kerusakan dinding sel akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan yang mengarah pada kematian.

2. Mengubah Permeabilitas Membran Sel

Sitoplasma semua sel hidup dibatasi oleh suatu selaput yang dibatasi membran sel yang mempunyai permeabilitas selektif. Membran ini tersusun atas fosfolipid dan protein. Membran sel berperan sangat vital yaitu mengatur transport zat ke luar atau ke dalam sel, melakukan pengangkutan aktif dan mengendalikan susunan dalam diri sel.

Beberapa bahan antimikroba seperti fenol, kresol, deterjen dan beberapa antibiotik dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel. Bahan - bahan ini akan menyerang dan merusak membran sel sehingga fungsi permeabilitas membran mengalami kerusakan. Kerusakan pada membran ini akan mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan sel atau matinya sel (pelczar, 1988).

3. Kerusakan Sitoplasma

Sitoplasma atau cairan sel terdiri atas 80 % air, asam nukleat, protein, karbohidrat, lipid, ion anorganik dan berbagai senyawa dengan bobot molekul rendah. Kehidupan suatu sel tergantung pada terpeliharanya molekul-molekul protein dan asam nukleat dalam keadaan alaminya. Konsentrasi tinggi beberapa

zat kimia dapat mengakibatkan koagulasi dan denaturasi komponen-komponen seluler yang vital

4. Menghambat Kerja Enzim

Di dalam sel terdapat enzim dan protein yang membantu kelangsungan proses-proses metabolisme. Banyak zat kimia telah diketahui dapat mengganggu reaksi biokimia misalnya logam-logam berat, golongan tembaga, perak, air raksa, dan senyawa logam berat lainnya umumnya efektif sebagai bahan antimikroba pada konsentrasi relative rendah. Logam-logam ini akan mengikat gugus enzim sulfihidril yang berakibat terhadap perubahan protein yang terbentuk. Penghambatan ini dapat mengakibatkan terganggunya metabolisme atau matinya sel.

5. Menghambat Sintesis Asam Nukleat dan Protein

DNA, RNA dan protein memegang peranan amat penting dalam sel, beberapa bahan antimikroba dalam bentuk antibiotic misalnya cloramnivekol, tetrasiline, prumysin menghambat sintesis protein. Sedangkan sintesis asam nukleat dapat dihambat oleh senyawa antibiotic misalnya mitosimin. Bila terjadi gangguan pada pembentukan atau pada fungsi zat-zat tersebut dapat mengakibatkan kerusakan total pada sel.

2.4 Penyakit dan Musibah dalam Islam

Setiap orang tentu tidak ingin dirinya ditimpa musibah dan rasa sakit. Musibah adalah suatu kejadian (peristiwa) menyedihkan yang menimpa manusia. Dan perlu diketahui, telah menjadi ketetapan dari Allah *Azza wa Jalla* bahwa

setiap manusia pasti pernah mengalami sakit dan musibah selama hidupnya. Allah *Subhanahu wa Ta'ala* berfirman:

وَلَنَبْلُوَنَّكُمْ بِشَيْءٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ مِّنَ الْأَمْوَالِ وَالْأَنْفُسِ وَالثَّمَرَاتِ
وَبَشِّرِ الصَّابِرِينَ ﴿١٥٥﴾ الَّذِينَ إِذَا أَصَابَتْهُمُ مُصِيبَةٌ قَالُوا إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ
﴿١٥٦﴾ أُولَٰئِكَ عَلَيْهِمْ صَلَوَاتٌ مِّن رَّبِّهِمْ وَرَحْمَةٌ وَأُولَٰئِكَ هُمُ الْمُفْتَخُونَ ﴿١٥٧﴾

“Dan sungguh akan kami berikan cobaan kepadamu, dengan sedikit ketakutan, kelaparan, kekurangan harta, jiwa dan buah-buahan. dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar. (yaitu) orang-orang yang apabila ditimpa musibah, mereka mengucapkan: "Inna lillaahi wa innaa ilaihi raaji'uun". Mereka Itulah yang mendapat keberkatan yang sempurna dan rahmat dari Tuhan mereka dan mereka Itulah orang-orang yang mendapat petunjuk.” (QS. Al-Baqaroh: 155-157)

Sakit dan musibah yang menimpa seorang mukmin mengandung hikmah yang merupakan rahmat dari Allah Ta'ala. Imran (2010) menerangkan bahwa Imam Ibnul Qayyim berkata:” Andaikata kita bisa menggali hikmah Allah yang terkandung dalam ciptaan dan urusan-Nya, maka tidak kurang dari ribuan hikmah. Namun akal kita sangat terbatas, pengetahuan kita terlalu sedikit dan ilmu semua makhluk akan sia – sia jika dibandingkan ilmu Allah, sebagaimana sinar lampu yang sia – sia di bawah sinar matahari. Dan inipun hanya kira – kira, yang sebenarnya tentu lebih dari sekedar gambaran ini.” Sakit dan musibah adalah takdir Allah Azza wa Jalla sebagaimana firmanNya:

مَا أَصَابَ مِنْ مُصِيبَةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي أَنْفُسِكُمْ إِلَّا فِي كِتَابٍ مِّن قَبْلِ أَنْ
نَبْرَأَهَا إِنَّ ذَٰلِكَ عَلَى اللَّهِ يَسِيرٌ ﴿٢٢﴾

“Tiada suatu bencanapun yang menimpa di bumi dan (Tidak pula) pada dirimu sendiri melainkan Telah tertulis dalam Kitab (Lauhul Mahfuzh) sebelum kami menciptakannya. Sesungguhnya yang demikian itu adalah mudah bagi Allah.” (QS. Al-Hadiid: 22)

Salah satu bencana yang Allah turunkan di muka bumi ini adalah adanya penyakit pada lahan pertanian yang disebabkan oleh serangan hama dan penyakit tanaman. Sebagaimana telah disebutkan dalam Al-Qur'an Surat Al-A'raaf ayat 133 sebagai berikut:

فَأَرْسَلْنَا عَلَيْهِمُ الْطُوفَانَ وَالْجَرَادَ وَالْقُمَّلَ وَالضَّفَادِعَ وَالْدَّمَ ءَايَاتٍ مُّفَصَّلَاتٍ
فَاسْتَكْبَرُوا وَكَانُوا قَوْمًا مُّجْرِمِينَ

“Maka kami kirimkan kepada mereka taufan, belalang, kutu, katak dan darah sebagai bukti yang jelas, tetapi mereka tetap menyombongkan diri dan mereka adalah kaum yang berdosa.” (QS. Al-A'raaf 133)

Abdur Rahman ibnu Zaid ibnu Aslam mengatakan, *alqummal* artinya nyamuk kecil. Ibnu Jarir mengatakan bahwa *alqummal* adalah bentuk jamak, sedangkan bentuk tunggalnya ialah *qumlah*, artinya sejenis serangga yang menyerupai kutu yang suka menyedot darah unta (Ibnu Katsir, 2006). Dalam tafsir Al Aisar (2007) Syaikh Abu Bakar Jbir Al Jazairi menjelaskan bahwa *al-qummal* bisa artinya kutu yang kita kenal atau serangga dalam biji. Mustafa Al Maragi (1994) menafsirkan bahwa *al-qummal* adalah ulat yang keluar dari biji gandum. Ada yang mengatakan, artinya belalang kecil. Adapun mengenai kutu, maka disebutkan dari Ibnu Abbas bahwa yang dimaksud dengan kutu ialah semacam ulat yang keluar dari biji gandum. Dari Ibnu Abbas pula disebutkan

bahwa kutu adalah belalang kecil yang tidak bersayap (Ibnu Katsir, 2006). Syihab (2000) menafsirkan bahwa kutu merupakan hama tanaman.

Berdasarkan ayat tersebut, Al-Qur'an telah menjelaskan bahwa Allah telah menurunkan binatang yang dapat merusak di bumi ini, agar manusia mengetahui dan tidak menyombongkan diri dari kekuasaan-Nya. Betapa besar kekuasaan Allah yang mampu menciptakan sesuatu yang sangat kecil, tetapi dapat menimbulkan kerugian bagi kehidupan manusia sesuai dengan kehendak Allah Swt dengan sifat *Al-Kholiq* dapat menciptakan segala sesuatu yang dikehendaki-Nya. Semua ciptaan-Nya yang meliputi seluruh jagad raya ini beserta isinya diciptakan bukan tanpa maksud dan tujuan. Mulai dari sesuatu yang sangat besar seperti kumpulan galaksi sampai makhluk penghuni di dalamnya seperti manusia, tumbuhan, hewan dan bahkan makhluk mikroskopis seperti bakteri, jamur, virus dan nematoda. Itu semua merupakan tanda – tanda kebesaran-Nya.

