

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Deskripsi Kentang

2.1.1. Morfologi Tanaman Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) termasuk ke dalam jenis tanaman sayuran berumuran pendek dan berbentuk perdu atau semak. Tanaman budidaya ini berumur pendek, yaitu sekitar 90-180 hari dan hanya sekali berproduksi dalam satu masa pembudidayaannya (Samadi, 1997).

Allah SWT menciptakan bumi beserta isinya untuk kemaslahatan manusia, diantaranya adalah ditumbuhkannya berbagai macam tanaman yang memiliki banyak keragaman baik dalam segi bentuk pohon, bentuk buah, rasa dan manfaatnya. Sebagaimana yang tercantum dalam Al-Qur'an surat Al-An'am ayat 141 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا
أُكْلُهُ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا
أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿١٤١﴾

Artinya: dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila Dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan (Q.S. Al-An'am : 141).

Ayat di atas menjelaskan beberapa jenis tanaman yang ada di bumi. Tanaman tersebut memiliki beberapa kelompok berdasarkan ukuran, bentuk, warna dan rasanya. Dalam ayat tersebut terdapat lafadh "*ma'rusyatin wa ghoiroma'rusyatin*" yang bermakna "berjunjung dan tidak berjunjung". Dalam hal ini yang dimaksud tanaman yang tidak berjunjung adalah tanaman yang memiliki ukuran yang tidak terlalu tinggi atau yang disebut dengan tanaman herba/semak, contohnya adalah tanaman kentang, tomat, cabai dan lain sebagainya. Sedangkan tanaman yang berjunjung adalah tanaman yang memiliki ukuran yang tinggi dan biasa di sebut dengan pohon, contohnya adalah pohon kelapa, mangga, rambutan dan lain-lain (Phil, 2008).

Tanaman kentang tidak dijelaskan dalam Al-Qur'an secara tekstual. Tetapi tanaman kentang merupakan salah satu jenis tanaman sayur-sayuran (*Qodlban*). Tanaman kentang ini berbentuk perdu/semak dapat dikonsumsi oleh manusia dan memiliki manfaat yang sangat banyak.

Keanekaragaman jenis tumbuhan juga diikuti dengan keanekaragaman manfaatnya bagi kehidupan manusia, seperti tumbuh-tumbuhan sebagai bahan makanan, bahan bangunan, bahan obat dan potensi lainnya yang masih perlu dicari. Kentang memiliki kandungan protein cukup tinggi dibandingkan biji sereal dan umbi lainnya. Kandungan asam aminonya juga seimbang sehingga sangat baik bagi kesehatan manusia (Nurmayulis, 2005). Umbi kentang mengandung karbohidrat, sodium, serat diet, protein, vitamin A, vitamin C, kalsium dan zat besi, juga vitamin B6 yang cukup tinggi, dibandingkan dengan beras kentang tidak mengandung lemak dan kolestrol. Dengan hasil temuan riset

ini menunjukkan bahwa Allah SWT telah menciptakan segala sesuatunya dengan perencanaan yang luar biasa.

Tingginya kandungan karbohidrat menyebabkan umbi kentang dikenal sebagai bahan pangan yang dapat menggantikan bahan pangan penghasil karbohidrat lain seperti beras, gandum dan jagung. Tanaman kentang juga dapat meningkatkan pendapatan petani. Selain itu, umbi kentang lebih tahan lama disimpan dibandingkan dengan sayuran lainnya (Rusiman, 2008).

Tanaman kentang merupakan tanaman dikotil semusim, berbentuk semak atau herba dengan filotaksis spiral. Tanaman ini umumnya ditanam dari umbi. Daun-daun pertama tanaman kentang berupa daun tunggal sedangkan daun-daun berikutnya berupa daun majemuk *impartipinnate* (Nurhidayah dkk, 2005). Warna bunga tanaman ini bermacam-macam, seperti putih, biru, ungu, terdapat pada tukul-tukul dengan percabangan dikotomik dengan ibu tangkai yang panjang. Buahnya buah buni yang bulat dengan kelopak yang tetap (Gembong, 1994).

Batang tanaman kentang berbentuk segi empat, panjangnya bisa mencapai 50-120 cm, dan tidak berkayu (tidak keras bila dipijat). Batang dan daun berwarna hijau kemerah-merahan atau keunggu-ungguan. Bunganya berwarna kuning keputihan atau ungu dan tumbuh di ketiak daun teratas dan berjenis kelamin dua. Benang sarinya berwarna kekuning-kuningan dan melingkari tangkai putik. Putik ini biasanya lebih cepat masak (Setiadi dan Suryadi, 1997). Morfologi bunga pada tanaman kentang dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Bunga Tanaman Kentang (Amaranthus, 2001)

Batang di atas tanah berdiri tegak, awalnya halus dan akhirnya menjadi persegi serta bercabang jika pertumbuhannya sudah berlanjut. Bentuk pertumbuhan tanaman berkisar dari kompak hingga menyebar. Batang di bawah permukaan tanah (rhizoma), umumnya disebut stolon, menimbun dan menyimpan produk fotosintesis dalam umbi yang membengkak dekat bagian ujung.

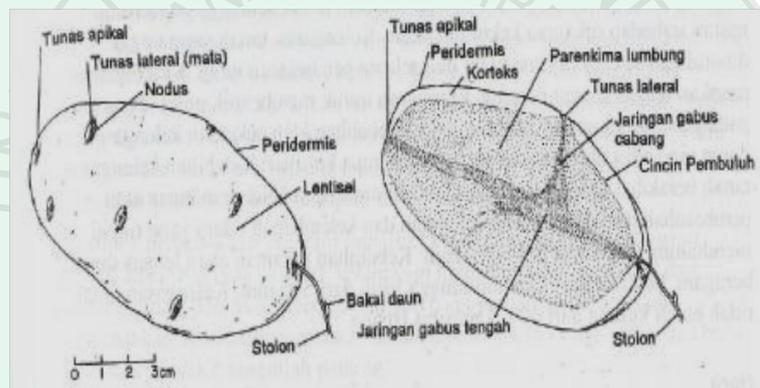


Gambar 2.2. Umbi Tanaman Kentang (Amaranthus, 2001).

Karbohidrat ditranslokasikan sebagai sukrosa ke dalam stolon, yang pembelahan dan pembesaran selnya menyebabkan pertumbuhan umbi, sukrosa yang ditransportasikan dikonversi dan disimpan dalam bentuk butiran pati (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).

Secara morfologi, umbi adalah batang pendek, tebal dan berdaging dengan daun yang berubah menjadi kerak atau belang, berdampingan dengan tunas

samping (aksilar), yang dikenal dengan mata. Tunas tersebut membentuk susunan spiral yang tertekan pada permukaan umbi, dengan jumlah yang makin banyak mendekati titik apikal. Mata berada pada belang ketiak daun dan tetap dominan selama perbesaran umbi. Sebenarnya, setiap mata adalah sekelompok tunas, dan setiap tunas mampu tumbuh menjadi batang (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998). Pembentukan umbi berkorelasi positif dengan luas daun serta berhubungan dengan umur daun (Nurhidayah dkk, 2005).



Gambar 2.3 Bagian-Bagian Anatomi Umbi Kentang (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).

Pertumbuhan tanaman kentang sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca. Tanaman kentang tumbuh baik pada lingkungan dengan suhu rendah, yaitu 15 sampai 20° C, cukup sinar matahari dan kelembaban udara 80 sampai 90 % (Sunarjono, 1975 dalam Nurhidayah dkk, 2005).

2.1.2. Klasifikasi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

Menurut Gembong (1994), kentang (*Solanum tuberosum* L.) diklasifikasikan sebagai berikut:

Divisio Spermatophyta

Subdivisio Angiospermae

Kelas Dicotyledoneae

Ordo Tubiflorae (Solanales, Personatae)

Familia Solanaceae

Genus Solanum

Spesies *Solanum tuberosum* L.

2.1.3 Kandungan Senyawa Kimia Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

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).

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 Deskripsi Nematoda *Globodera rostochiensis*

2.2.1 Karakteristik Nematoda *Globodera rostochiensis*

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

kuning umumnya bersifat menetap (*sedentary*). Spesies ini dapat ditemukan dalam jaringan akar dalam keadaan sudah berubah bentuk dari cacing menjadi membulat (seperti bentuk botol) (Ditlin, 2008).

Nematoda sista kuning termasuk salah satu hewan yang bersifat patogen dan dapat merusak tanaman perkebunan kentang. Hewan-hewan dengan ukuran yang sangat kecil ini dapat mengakibatkan kerusakan perkebunan yang dapat merugikan manusia. Hewan-hewan kecil seperti nematoda ini juga dijelaskan dalam ajaran agama Islam. Dalam Al-Qur'an surat An-Nur ayat 45 Allah SWT berfirman:

وَاللَّهُ خَلَقَ كُلَّ دَابَّةٍ مِّن مَّاءٍ ۖ فَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ بَطْنِهِ ۖ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ رِجْلَيْنِ وَمِنْهُمْ مَّن يَمْشِي عَلَىٰ أَرْبَعٍ ۗ خَلَقُ اللَّهُ مَا يَشَاءُ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٤٥﴾

Artinya: dan Allah telah menciptakan semua jenis hewan dari air, Maka sebagian dari hewan itu ada yang berjalan di atas perutnya dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Allah menciptakan apa yang dikehendaki-Nya, Sesungguhnya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu". (Q.S. An-Nur:45)

Berdasarkan ayat di atas dijelaskan bahwa Allah SWT menciptakan hewan dengan berbagai jenis, sebagian hewan itu ada yang berjalan di atas perutnya, dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Meskipun pada surat di atas nematoda tidak disebutkan secara langsung, nematoda tergolong dalam hewan yang berjalan di atas perutnya, karena hewan ini berbentuk seperti cacing atau *vermiform*. Nematoda sista kuning ini bersifat parasit terhadap tanaman.

Sebagian besar spesies *Globodera* sudah membentuk sista yang menempel pada akar tanaman dengan bagian anterior tubuhnya menyusup dalam korteks, sedangkan bagian posteriornya di luar jaringan akar (semi endoparasit). Bentuk sista membulat (globular atau spheroid) (Ditlin, 2008). Sista dari *Globodera 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).

Hasil identifikasi *Globodera rostochiensis* pada tanaman Kentang di Batu, Jawa Timur oleh Mulyadi dkk (2003), menunjukkan bahwa karakteristik dari nematoda *Globodera rostochiensis* adalah sebagai berikut:

a) Sista

Sista merupakan salah satu tahapan dari siklus hidup *Globodera rostochiensis*, yaitu nematoda betina yang telah mati yang berubah menjadi sista dengan ciri-ciri berbentuk membulat, kepala dan leher relatif kecil tampak menonjol, Sista berwarna coklat atau coklat kehitaman (Gambar 5 dan 6). Pada kutikula tampak adanya "gambaran" pola *reticulate ridges*.



Gambar 2.4 A. Sista Nematoda *G. rostochiensis*. B. Telur yang keluar dari sista *G. rostochiensis* (PADIL, 2006).

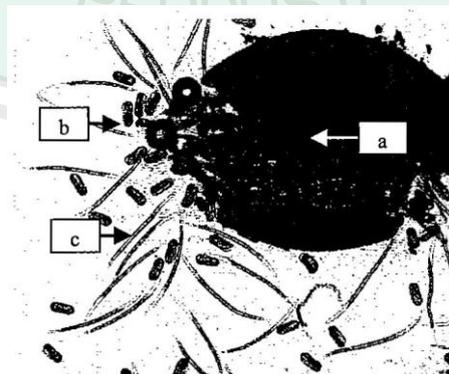
Antara vulva dengan anus mengandung lebih dari 12 *pararel ridges*. Panjang sista antara 470-1.008 μm dengan rata-rata 638,08 μm . Sedang lebar sista antara 357-744 μm dengan rata-rata 490,33 μm . Panjang kepala termasuk "leher" antara 80-160 μm dengan rata-rata 112,17 μm .

b) Telur Nematoda Sista Kuning

Telur berbentuk oval, massa telur berada di dalam tubuh betina yang telah berubah menjadi sista. Ukuran panjang telur antara 98-109 μm dengan rata-rata 105 μm dan lebar antara 50-59 μm , dengan rata-rata 54.6 μm .

c) Larva stadia dua

Ketika masih di dalam telur pada umumnya tubuh larva melipat menjadi empat lipatan. Larva berbentuk cacing (*vermiform*), bentuk ekor makin ke ujung makin mengecil (Gambar 3 dan 4). Kepala sedikit *offset* (bagian kepala dengan bagian tubuh di belakang kepala "dipisahkan" suatu lekukan pada kutikula). Stilet tipe stomatostilet dan berkembang dengan baik. Knob stilet (pangkal stilet) berbentuk membulat yang merupakan ciri dari spesies *Globodera rostochiensis*.



Gambar 2.5 Sista *Globodera rostochiensis* yang telah "pecah" (a), berisi massa telur (b), dan larva stadia dua (c) (Mulyadi *dkk*, 2003).

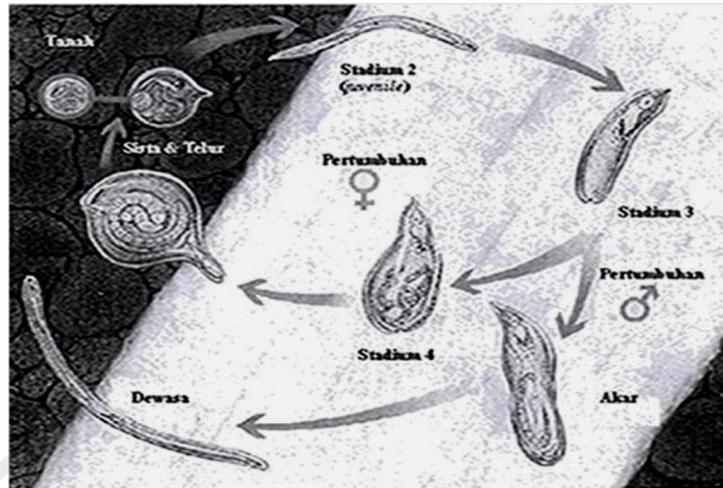
Larva stadia dua vermiform dengan panjang tubuh total 531 - 563 μm dan rata-rata 548,4 μm , lebar tubuh maksimum 22 - 26 μm dengan rata-rata 23,6 μm , mempunyai stilet tipe stomatostilet dengan knob stilet berbentuk membulat dan sebagian tubuh posterior tampak hialin.

d) Nematoda Betina

Tubuh berbentuk membulat (*globose*) yang merupakan ciri dari genus *Globodera*. Pada kutikula tampak adanya "gambaran" yang berujud pola *reticulate ridges*. Tubuh berwarna putih kemudian pada perkembangan selanjutnya berubah menjadi kuning keemasan sehingga disebut *golden potato cyst nematode*. Perubahan warna tubuh menjadi kuning keemasan tersebut disebabkan adanya pengaruh pigmen tubuh (Brodie *dkk*, 1993 dalam Mulyadi, 2003).

2.2.2 Siklus Hidup Nematoda *Globodera rostochiensis*

Nematoda *Globodera rostochiensis* dalam perkembangannya melalui tahapan stadium telur, larva dan dewasa. Siklus hidup dari telur sampai dewasa berlangsung selama 38-48 hari. Nematoda Sista Kuning betina bersifat *amphimictic*, berbentuk bulat (*globose*), *sessile* dan *motile* (bergerak). Sedangkan Nematoda Sista Kuning jantan berbentuk seperti cacing (*vermiform*). Daur hidup *G. rostochiensis* antara 5-7 minggu tergantung kondisi lingkungan. Produksi telur 200-500 butir (Ditlin, 2008). Telur *G. rostochiensis* menetas ketika pada kondisi optimal, meskipun beberapa juvenile akan selalu mampu bertahan (dorman) selama beberapa tahun, tanpa harus memperhatikan keadaan, tetapi menetas pada kondisi optimal dilakukan untuk memastikan viabilitas dari populasi (APHIS, 2008).



Gambar 2.6 Siklus Hidup Nematoda *Globodera rostochiensis* (Ferris, 2008)

Nematoda *Globodera rostochiensis* mampu bertahan hidup pada kondisi lingkungan kurang menguntungkan (tidak ada inang, suhu sangat rendah, suhu tinggi, dan kekeringan) dengan membentuk sista. Nematoda aktif kembali setelah kondisi lingkungan sesuai, terutama adanya eksudat akar tanaman inang. Sista dapat bertahan lebih dari 10 tahun. Larva stadium dua aktif pada suhu 10° C. Suhu optimum untuk menginfeksi 16° C. Kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan antara 15°-21° C. Kisaran pH yang dapat ditoleransi, sesuai dengan tanaman kentang (Ditlin, 2008).

2.2.3 Klasifikasi Nematoda *Globodera rostochiensis*

Ferris (2008), mengklasifikasikan Nematoda *G. rostochiensis* sebagai berikut:

Phylum Nematoda

Class Secernentea

Subclass Diplogasteria

Order Tylenchida

Superfamily Tylenchoidea

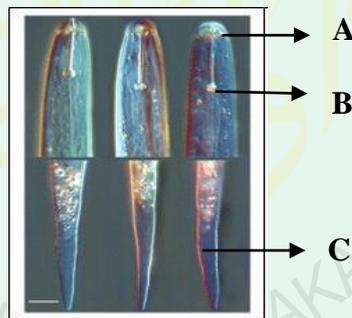
Family Heteroderidae

Subfamily Heteroderinae

Genus *Globodera*

Species *Globodera rostochiensis*

Genus *Globodera*, memiliki 2 jenis spesies yaitu *Globodera rostochiensis* dan *Globodera pallida*. Perbedaan utama kedua spesies *Globodera* tersebut terletak pada warna sista dewasa betina dan stiletnya. Betina dewasa *Globodera rostochiensis* berwarna putih kemudian menjadi kuning keemasan, sedangkan *Globodera pallida* dewasa betinanya berwarna putih tetapi pada beberapa populasi ada yang berubah menjadi krem. Stilet *Globodera rostochiensis* memiliki pangkal (knob) membulat dan menjorok ke belakang, sedangkan *Globodera pallida* meruncing ke depan (Ditlin, 2008).



**Gambar 2.7 Nematoda *G. rostochiensis*,
A. Kepala, B. Stilet dan C. Ekor (PADIL, 2006).**

2.2.4 Mekanisme Serangan Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Ketika suhu tanah telah cukup panas (diatas 10° C), dan sinyal kimiawi telah diterima secara tepat, juvenile stadia ke dua keluar dari telur, yang terlepas dari sista dan berpindah kearah akar tanaman inang. Telur menetas karena adanya rangsangan oleh eksudat akar tanaman (60-80%), dan hanya 5 % yang disebabkan oleh air (Ferris, 2008).

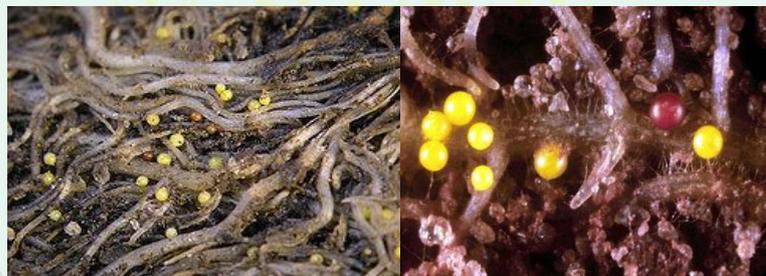
Ketika Juvenil *Globodera rostochiensis* stadia ke dua menemukan inang, maka akan masuk ke dalam akar melalui ujung pertumbuhan akar atau melalui akar lateral dan menggunakan mulut atau stylet-nya untuk menembus dinding sel. Memakan umbi akar sebagai precursor untuk membentuk syncytium atau transfer gen, dengan demikian dapat memperbesar ukuran lubang sel akar (sel akar membengkak) dan memecah dinding sel akar. Keberadaan Syncytium dapat memudahkan asupan nutrisi bagi nematoda (APHIS, 2008).

Molekul signal nematoda atau elisitor dikeluarkan dari sekresi kelenjar eshopagus nematoda dan diinjeksikan melalui stilet dalam jaringan inang. Sekresi dari kelenjar eshopagus nematoda pada nematoda endoparasit dari genus *Globodera* berhubungan dengan respon inang yang kompatibel yang kemudian merubah sel inang menjadi *feeding site* yang spesifik seperti *giant cell* dan *sinsitium* sebagai sumber nutrisinya (Williamson dan Richard, 1996).

Nematoda dapat mempertahankan adanya syncytium, kemudian nematoda akan berganti kulit menuju stadia tiga dan empat, berubah menjadi nematoda jantan atau betina dewasa. Pada beberapa kasus lainnya syncytium tidak dapat dipertahankan dan mengakibatkan kekurangan nutrisi, hal ini akan menghasilkan lebih banyak nematoda jantan. Nematoda jantan yang muncul tidak makan dan pada stadia ke empat akan berada dalam kutikula stadia ke tiga sampai selesai pergantian kulit (molting) menuju dewasa. Demikian juga, ketika ketersediaan nutrisi tinggi, maka lebih banyak menghasilkan nematoda betina, sehingga dapat menghasilkan telur karena nutrisi yang dibutuhkan berada pada level yang tinggi (APHIS, 2008).

2.2.5 Gejala Serangan Nematoda *Globodera rostochiensis*

Tanaman yang diserang nematoda *Globodera rostochiensis* akan kerdil dan menjadi layu, daun berwarna kuning atau warna terlihat pudar. Panjang akar tanaman yang diserang menjadi berkurang dengan percabangan yang tidak normal dan berwarna kecoklatan. Pada bunga, awalnya berwarna putih atau kuning atau pada bidangnya berwarna coklat, dan ukuran kepala sistanya nya (0.5 mm) dapat dilihat di luar akar. Kerusakan yang diakibatkan, mulai dari pertumbuhan tanaman yang kerdil sampai pada kegagalan panen. Penyakit pada tumbuhan pertama kali terjadi dalam skala kecil kemudian menjadi besar pada masing-masing tumbuhan baru, jika kentang secara kontinyu tumbuh pada tempat yang telah diserang (Knoxfield, 2006).



Gambar 2.8. Sista nematoda *G. rostochiensis* yang terdapat pada akar tanaman kentang (Knoxfield, 2006).

Keberadaan *Globodera rostochiensis* pada tanaman inang akan mengurangi ukuran akar tanaman dan mengubah total mineral yang telah diambil oleh tumbuhan. Sehingga, pertumbuhan tanaman menjadi berkurang dan akan mengakibatkan stres air, mengubah rasio mineral dan mengakibatkan *senescence* (penuaan) awal. Pengaruh serangannya mengakibatkan peningkatan jumlah nematoda dengan masing-masing 1 gram tanah dapat di temukan 10.000 individu nematoda (APHIS, 2008).

2.3. Deskripsi Bakteri Endofit

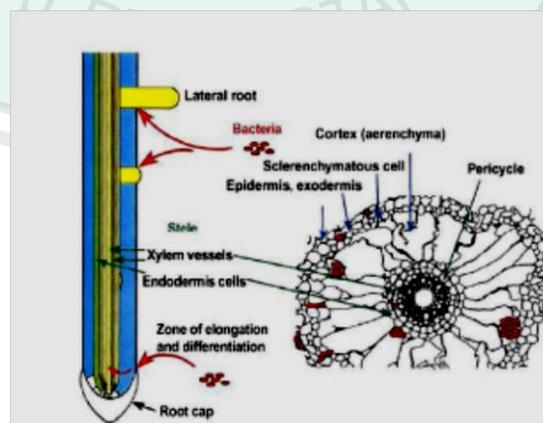
2.3.1. Potensi Bakteri Endofit

Bakteri endofit adalah mikroorganisme yang sebagian atau seluruh dari siklus hidupnya tinggal dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan gejala penyakit. Bakteri endofit berada pada jaringan yang sehat seperti berbagai macam jaringan, biji, akar, batang dan daun. Tanaman mendapatkan manfaat dengan kehadiran bakteri endofit ini, seperti memacu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan resistensi tanaman dari berbagai macam patogen dengan memproduksi antibiotik. Bakteri endofit juga memproduksi metabolit sekunder yang sangat penting bagi tumbuhan (Bandara dkk, 2006).

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). Luka pada tumbuhan yang diakibatkan oleh faktor biotik seperti nematoda juga menjadi faktor utama untuk masuknya bakteri endofit ke dalam tanaman (Athman, 2006).

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 ke dalam mikroba endofit (Tan et.al. 2001 *dalam* Radji, 2005). Menurut pandangan evolusi, bakteri endofit mula-mula berasal dari patogen tanaman yang virulensinya hilang dan berada dalam tanaman selama periode pertumbuhan tanaman tersebut atau merupakan patogen yang tidak mampu mengekspresikan gen spesifik penyebab penyakit (Hallmann, 1999).

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 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 vegetatif inang. Kolonisasi 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 nutrient, terutama karbon oleh bakteri. Kadangkala bakteri endofit mampu melakukan penetrasi ke dalam akar sampai pada *Stele*, dan juga terdapat pada *parenchyma* dan dalam jaringan *xylem* (Prakamhang, 2007 dalam Juwita, 2010).



Gambar 2.9. Tempat kolonisasi dan infeksi oleh endofit diazotrophic pada akar, gambar memperlihatkan mekanisme secara longitudinal (kiri) dan transversal (kanan) (Reinhold-Hurek and Hurek, 1998 dalam Prakamhang 2007).

2.3.2 Mekanisme Penghambatan Patogen oleh Bakteri Endofit

Bakteri endofit mampu meningkatkan ketahanan tanaman melalui: 1) secara langsung berfungsi antagonis atau mengeluarkan senyawa tertentu pada relung patogen, 2) menginduksi sistem resistensi, dan 3) meningkatkan toleransi tanaman terhadap tekanan lingkungan biotik (Hallmann, 1999). Oleh karena itu, agar bakteri endofit mampu meningkatkan resistensi tanaman, maka bakteri endofit juga harus *compatibel* dengan tanaman inang sehingga mampu mengkolonisasi jaringan tanaman (Long dkk, 2008).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bakteri endofit yang diisolasi dari mentimun dan kapas seperti *Aerococcus viridans*, *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *Pseudomonas chlororaphis*, *P. vasicularis*, *Serratia marcescens* dan *Spingomonas pancimobilis* dapat mengurangi populasi nematoda *Meloidogyne incognita* pada mentimun sampai 50% (Hallmann dkk., 1995 dalam Harni, 2006).

Menurut Van Vuurde dan Recuenco (2005) dalam Firmansah (2008), bakteri endofit dapat mengolonisasi apoplas pada ruang antar sel (interselular), terutama jaringan korteks, jaringan pembuluh, bahkan ke bagian antar sel (intraselular), sehingga dapat secara sistemik menyebar keseluruh jaringan tanaman. Bakteri endofit juga dapat menghasilkan zat antimikroba seperti antibiotik atau HCN yang berperan penting dalam mekanisme melawan patogen 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 (Harni, 2010).

Siderofor diproduksi secara ekstrasel, senyawa dengan berat molekul rendah dengan affinitas yang sangat kuat terhadap besi (III). Kemampuan siderofor mengikat besi (III) merupakan pesaing terhadap mikroorganisme lain, banyak bukti-bukti yang menyatakan bahwa siderofor berperan aktif dalam menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen (Hasanudin, 2003).

Li *et al.* (2002) dalam Harni (2010) melaporkan bahwa 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*. 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* (Siddiqui dan Shaukat, 2003). Disamping itu, bakteri endofit tertentu juga dapat menekan perkembangan penyakit tanaman dengan cara mengikat unsur besi Fe (III) dan karbon, serta memproduksi HCN, mengkolonisasi akar, merangsang pertumbuhan tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman (Keel *et al.*, 1992 dalam Harni, 2010).

2.4 Ketahanan Tanaman

Induksi resistensi sistemik merupakan salah satu cara pengendalian penyakit tanaman dengan menstimulasi aktivitas mekanisme resistensi melalui inokulasi mikroorganisme non patogenik atau patogen avirulen maupun strain

hipovirulen serta perlakuan substansi dari mikroorganisme dan tumbuhan pestisida nabati. Prainokulasi dengan agens penginduksi dapat mengaktifkan secara cepat berbagai mekanisme resistensi tanaman, diantaranya akumulasi fitoaleksin, dan peningkatan aktivitas beberapa jenis enzim penginduksi seperti β -1,4-glukosidase, chitinase dan β -1-3-glukanase (Tombe, 2009).

Mekanisme induksi resistensi (imunisasi) menyebabkan kondisi fisiologis yang mengatur sistem ketahanan menjadi aktif atau menstimulasi mekanisme resisten yang dimiliki oleh tanaman. Imunisasi tidak menghambat pertumbuhan tanaman, bahkan dapat meningkatkan produksi pada beberapa tanaman meskipun tanpa adanya patogen dan memberikan suatu cara untuk bertahan terhadap stres lingkungan (Tombe, 2009).

Secara umum, sistem pertahanan tanaman terhadap patogen dapat terjadi melalui satu atau kombinasi cara struktural dan reaksi biokimia. Ketahanan secara struktural dengan membentuk penghambat fisik yang menyebabkan patogen tidak dapat melakukan penetrasi dan berkembang. Adapun ketahanan secara biokimia dengan menghasilkan senyawa yang bersifat toksik atau menghambat pertumbuhan patogen (Hammerschmidt dan Dann, 2000 dalam Firmansyah, 2008).