

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kentang

2.1.1 Deskripsi Tanaman Kentang

Tanaman kentang merupakan tanaman semusim (*annual*) yang berbentuk semak (*herba*) (Sunarjono, 2007: 9) dengan susunan tubuh utama terdiri dari stolon, umbi, batang, daun, bunga, buah dan biji serta akar (Rukmana, 1997: 20).

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: 20).

Batang tanaman kentang berbentuk bulat atau persegi bersayap, berbuku-buku dan berongga. Helaian daun berbentuk lonjong atau bulat lonjong dengan ujung meruncing (Rukmana, 1997: 21).

Bunga kentang berkelamin dua (*hermaphroditus*) yang tersusun dalam rangkaian bunga yang tumbuh pada ujung batang dengan tiap bunga memiliki 7 kuntum samapi 15 kuntum bunga. Bunga kentang memiliki bakal buah yang berongga dua buah. Seminggu setelah penyerbukan, bakal buah membesar kemudian menjadi buah. Buah kentang berbentuk bulat, bergaris tengah $\pm 2,5$ cm, berwarna hijau tua sampai keungu-unguan dan tiap buah berisi 500 bakal biji. Biji

kentang berukuran kecil, bergaris tengah $\pm 0,5$ cm, berwarna krem dan memiliki masa istirahat (*dormansi*) sekitar 6 bulan (Rukmana, 1997: 22).

Perakaran tanaman kentang berstruktur halus, berwarna keputih-putihan, dapat menembus kedalaman tanah sapai 45 cm (Rukmana, 1997: 22).

Varietas Granola yang diintroduksi dari Jerman memiliki karakteristik antara lain sebagai berikut: daging umbi berwarna kuning, mata umbi dangkal dan sedikit serta bentuk umbi bulat (Rukmana, 1997: 29).

2.1.2 Klasifikasi Tanaman Kentang

Menurut Rukmana (1997: 19), klasifikasi kentang adalah:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Klas	: Dicotyledonae
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: <i>Solanum</i>
Spesies	: <i>Solanum tuberosum</i> Linn.

2.1.3 Kandungan Gizi Umbi Kentang dalam Kajian Sains dan Al-Qur'an

Kesehatan jasmani dan fisik merupakan keadaan yang sangat penting dalam mendukung seluruh kegiatan. Pelaksanaan ibadah dalam Islam seperti shalat, puasa, dan ibadah haji hanya dapat dikerjakan dengan sempurna apabila keadaan jasmani dalam keadaan sehat. Kesehatan jasmani erat kaitannya dengan

mengonsumsi makanan dan minuman yang halal dan baik, yaitu makanan dan minuman yang selain secara hukum dinyatakan boleh dimakan dan diminum, juga harus dalam keadaan baik (*thayib*), yang dalam penelitian ahli kesehatan terkait dengan makanan yang mengandung gizi dan kalori menurut penilaian ahli kesehatan (Shihab, 2002: 188).

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 : 17) 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 fotosintesa yang terjadi pada tanaman berhijau daun. Hasil dari fotosintesa 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 di Asia Tenggara (Minarno, 2008: 52). Kita dapat melihatnya dalam Firman Allah Surat Qaaf: 9 yang berkaitan dengan sumber zat gizi dari biji-bijian yang tertulis sebagai berikut:

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُّبْرَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جِبْتًا

وَحَبَّ الْحَصِيدِ ﴿٩﴾

Artinya :

”Dan Kami turunkan dari langit air yang banyak manfaatnya lalu Kami tumbuhkan dengan air itu pohon-pohon dan biji-bijian untuk di panen” (QS. Qaaf: 9).

Komposisi utama kandungan gizi umbi kentang terdiri dari air 80%, pati 18% dan protein 2% (Rukmana, 1997: 32). Kandungan gizi umbi kentang disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Gizi Umbi Kentang dalam 100 g Bahan

No.	Kandungan Gizi	Jumlah	
1	Kalori	83,00 kal *)	80,70 kal **)
2	Protein	2,00 g	2,40 g
3	Lemak	0,10 g	0,10 g
4	Karbohidrat	19,10 g	16,00 g
5	Serat	-	0,40 g
6	Abu	-	1,80 g
7	Kalsium	11,00 mg	26,00 mg
8	Fosfor	56,00 mg	49,00 mg
9	Kalium	-	449,00 mg
10	Zat Besi	0,70 mg	1,10 mg
11	Natrium	-	0,40 mg
12	Vitamin B1	0,11 mg	0,12 mg
13	Vitamin B2	-	0,06 mg
14	Vitamin	17,00 mg	31,00 mg
15	Niacin	-	2,20 mg
16	Air	64,00 mg	-
17	Bagian yang dapat dimakan	75,00 %	80,70 %

Sumber: Rukmana (1997: 32)

Makanan merupakan kebutuhan utama bagi manusia, karena itu makanan yang baik adalah makanan yang memenuhi persyaratan gizi dan kesehatan, khususnya bagi ummat Islam. Syarat lain yang utama adalah *halal* dan

thoyib, kata-kata tersebut tercantum dalam Al-Quran dan Hadist untuk mengatur makanan umat.

Makanan yang baik menurut standar kesehatan adalah yang mengandung cukup gizi, yaitu karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan mineral. Semuanya harus dikonsumsi secara tepat dan seimbang. Seperti telah diperintahkan Allah SWT dalam Surah Al-A'raf Ayat 31 yang berbunyi:

﴿يَذَرِيٓنَا ءَادَمَ خُدُوٓا زِيْنَتَكُمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوٓا
وَأَشْرَبُوٓا وَلَا تُسْرِفُوٓا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ۝۳۱﴾

Artinya:

“Hai anak Adam, pakailah pakaianmu yang indah di setiap (memasuki) masjid, makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan” (QS. Al-A'raf: 31).

Wala'a Tusrifuu, maksudnya adalah jangan berlebihan dalam makan dan minum. *Israaaf* adalah melampaui batas dari yang semestinya dalam segala sesuatu (Al-Jazairi, 2007: 50). Jadi, jika semua gizi yang dibutuhkan tubuh itu dipenuhi secara tepat, dalam arti tidak kekurangan.

Dari Abu Hurairah ra berkata : Rasulullah SAW bersabda: “Sesungguhnya Allah tidak menerima kecuali hal-hal yang baik, dan sesungguhnya Allah memerintahkan kepada orang-orang mu'min sebagaimana yang diperintahkan kepada para Rasul, Allah berfirman:

﴿يَتَأْتِيهَا الرُّسُلُ كُلُّوٓا مِنَ الطَّيِّبَاتِ وَأَعْمَلُوٓا صَالِحًا إِنِّي بِمَا تَعْمَلُونَ عَلِيمٌ ۝۳۱﴾

Artinya:

“Hai rasul-rasul, makanlah dari makanan yang baik-baik, dan kerjakanlah amal yang shaleh. Sesungguhnya Aku Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan” (QS. Al-mu’minun: 51).

يَتَأَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا كُلُوا مِن طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ وَاشْكُرُوا لِلّٰهِ إِن
كُنْتُمْ إِيَّاهِ تَعْبُدُونَ ﴿١٧٢﴾

Artinya:

“Hai orang-orang yang beriman, makanlah di antara rezki yang baik-baik yang Kami berikan kepadamu” (QS. Al-Baqarah: 172).

Kemudian beliau mencontohkan seorang laki-laki, dia telah menempuh perjalanan jauh, rambutnya kusut serta berdebu, ia menengadahkan kedua tangannya ke langit: Yaa Rabbi ! Yaa Rabbi ! Sedangkan ia memakan makanan yang haram dan pakaiannya yang ia pakai dari harta yang haram dan ia meminum dari minuman yang haram dan dibesarkan dari hal-hal yang haram, bagaimana mungkin akan diterima do'anya (HR Muslim) (Shalahuddin, 2008: 1).

Mengenai harus makan yang *thayyibat*, makanan yang baik-baik, telah ada penelitian terhadap makanan yang *thayyibat* itu, yang dilakukan oleh ilmuwan muslim At Asy'ats pada akhir abad IV Hijriah (\pm 390H.), yang ditulis dalam bukunya *Al Ghidza wal Mughtady*, bahwa jenis makanan itu ada yang membesarkan tubuh jasmani dan ada yang menumbuhkan kecerdasan, seperti halnya dalam ilmu gizi karbohidrat menumbuhkan fisik, sedangkan protein-protein akan menumbuhkan kecerdasan. Orang yang hanya makan makanan karbohidrat seperti nasi, roti, ubi dan sebagainya badan menjadi besar,

tetapi tanpa diimbangi dengan protein-protein, kecerdasan tidak akan berkembang (Waharjani, 2008: 1).

Dirangkaikannya perintah makan di sini dengan perintah bertakwa, menuntun dan menuntut agar manusia selalu memperhatikan sisi takwa yang intinya adalah berusaha menghindari dari segala yang mengakibatkan siksa dan terganggunya rasa aman. Takwa dari segi bahasa berarti "*keterhindaran*", yakni keterhindaran dari siksa Tuhan, baik di dunia maupun di akhirat. Siksa Tuhan di dunia adalah akibat pelanggaran terhadap sunatullah, sedang siksa-Nya di akhirat adalah akibat pelanggaran terhadap hukum-hukum syariat. Sunatullah yang berkaitan dengan makanan misalnya: siapa yang makan makanan kotor atau berkuman, maka dia akan menderita sakit. Inilah bentuk siksa Allah di dunia akibat melanggar ketentuan Ilahi (Waharjani, 2008: 1).

Mengonsumsi makanan yang "*halalan thayyiban*" sangat erat kaitannya dengan masalah iman dan takwa. Umbi kentang yang merupakan sumber karbohidrat yang mengandung vitamin dan mineral yang cukup tinggi juga harus memenuhi syarat "*halalan thayyiban*". Banyaknya kemaslahatan yang terdapat pada tanaman kentang bagi kepentingan manusia, maka penting sekali bagi manusia untuk menghasilkan tanaman kentang yang *thayib* (baik), yang baik bagi kesehatan jasmani manusia. Artinya tanaman kentang tersebut harus bebas dari segala jenis penyakit yang bisa mengurangi kemaslahatannya.

2.2 Nematoda *G. rostochiensis*

2.2.1 Deskripsi Nematoda *G. rostochiensis*

Secara bio ekologi, nematoda *G. rostochiensis* termasuk nematoda *endoparasit sedentari* (bersifat menetap) yang pada umumnya tetap tinggal pada inangnya, walaupun inangnya tersebut telah rusak, sehingga pada umumnya nematoda sedentari tinggal pada inangnya sampai mati (Triharso, 2004: 58). Spesies ini ditemukan di dalam jaringan akar dalam keadaan berubah bentuk dari cabang menjadi membulat (seperti bentuk botol) (Indriatmoko, 2004: 2).

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: 82).

Spesies *Globodera*, sebagian besar membentuk sista menempel dengan bagian anterior tubuhnya masuk ke dalam korteks, sedangkan bagian posteriornya di luar jaringan (*semi endoparasit*). Bentuk sistanya membulat, warnanya sebagian besar kuning emas, sebagian lagi putih dan kuning sampai coklat (Indriatmoko, 2004: 2).

2.2.2 Klasifikasi Nematoda *G. rostochiensis*

Menurut Ferris (2008: 1), klasifikasi nematoda *G. rostochiensis* adalah sebagai berikut:

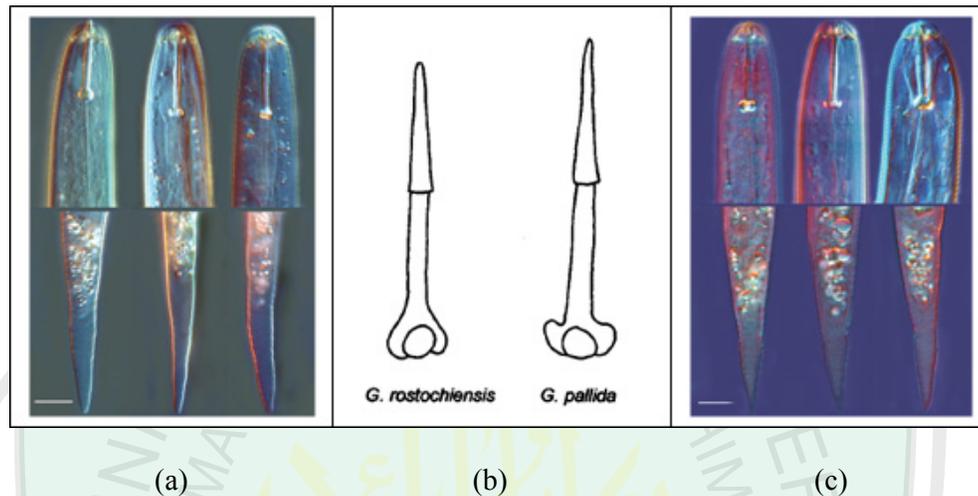
Kingdom	: Animalia
Filum	: Nematoda
Klas	: Secernentea
Subklas	: Diplogasteria
Order	: Tylenchida
Superfamili	: Tylenchoidea
Famili	: Heteroderidae
Subfamili	: Heteroderinae
Genus	: <i>Globodera</i>
Spesies	: <i>G. rostochiensis</i>

2.2.3 Ciri-Ciri Nematoda *G. rostochiensis*

2.2.3.1 Ciri-Ciri Nematoda *G. rostochiensis* Jantan

Larva memiliki morfologi yang khas (Gambar 2.1) yaitu kerangka kepala (*cephalic frame work*) berkembang dengan baik, bibir agak offset, ujung kepala membulat, stilet kuat (*robust*) dengan *konus* 45% dari total panjangnya, bonggol stilet (*stylet knob*) bulat, *metacarpus* bulat telur dengan katup (*valve*) besar. Bentuk ekor meruncing ke arah ujung yang berwarna hialin sekitar dua pertiga bagian dari panjang ekor. Jantan dewasa memiliki ekor yang memendek tanpa bursa (*caudal alae*). Pada saat rileks tubuhnya berbentuk kurva dengan daerah posterior memilin 90° terhadap sumbu tubuh. Testisnya tunggal, memiliki

sepasang spikula dan gubernakulum membulat (Hirschmann, 1982 dalam Hadisoeganda, 2006: 221).



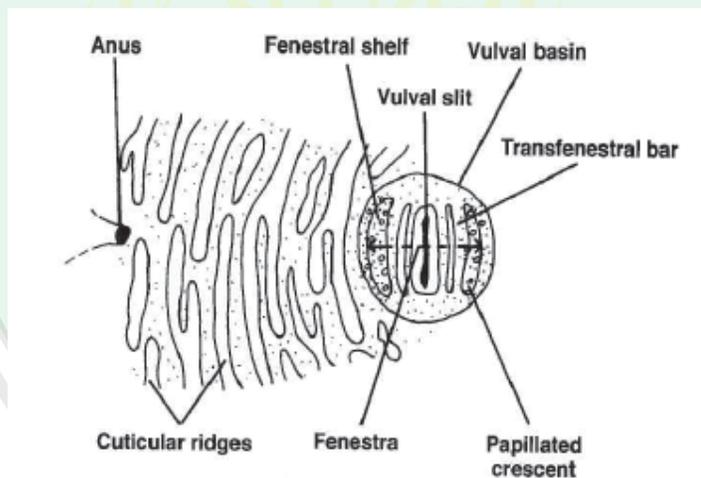
Gambar 2.1 (a) Diagram Skematik Bagian Kepala, Ekor dan Stylet dari *G. rostochiensis*, (b) Diagram Skematik Perbandingan Bentuk Stylet antara *G. rostochiensis* dan *G. pallida*, (c) Diagram Skematik Bagian Kepala, Ekor dan Stylet dari *G. pallida* (Hando, 1998: 1)

2.2.3.2 Ciri-Ciri Nematoda *G. rostochiensis* Betina

Tubuh berbentuk membulat (*globose*) yang merupakan ciri dari genus *Globodera* (Malcom dan Averre III, 2000 dalam Mulyadi, 2003: 50). Sista muda berwarna khusus (Gambar 2.2) yaitu kuning emas, setelah tua warna sista menjadi kuning tua dan coklat gelap (Hadisoeganda, 2006: 223). Perubahan warna tubuh tersebut disebabkan adanya pengaruh pigmen tubuh (Brodie dkk: 1993 dalam Mulyadi, 2003: 50). Pada kutikula tampak adanya “gambaran” yang berwujud pola *reticulate ridges* (Gambar 2.3). Sidik pantat memiliki kerut kulit lebih besar dan bersatu (*Large and coalesced*), daerah vulva (*vulval area*) fenetrasinya tunggal (*circum fenestrate*) (Hadisoeganda, 2006: 223).



Gambar 2.2 Sista Nematoda *G. rostochiensis*
(Berg dan Knoxfield, 2006: 1)



Gambar 2.3 Diagram Skematik Daerah Perineal dari Nematoda *G. rostochiensis*
(Hando, 1998: 1)

2.2.4 Siklus Hidup Nematoda *G. rostochiensis*

Menurut Ferris (2008: 1), 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 sinsitia yang membengkak. Isi sinsitia tersebut menjadi sumber nutrisi bagi nematoda. Nematoda jantan mengalami metamorfosis sejati karena berbentuk *vermifora* (cacing) di dalam tubuh larva stadium kelima yang 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 menjasi sista.

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: 1) dan dapat bertahan hidup lebih dari 15 tahun dalam tanah tanpa makanan dalam stadia istirahat (dorman) (Sunarjono, 2007: 82) di dalam sista (tubuh induk yang sudah mati) meskipun dalam kondisi lingkungan yang sub optimal (Winslow dan Willis, 1972 dalam Hadisoeganda, 2006: 23).

Dalam situasi dorman tersebut nematoda tahan terhadap bahan aktif nematisida, suhu ekstrem (-35°C) maupun kekeringan (Spears, 1968 dalam Hadisoeganda, 2006: 23), sehingga nematoda *G. 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 berstilet. 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 oleh eksudat akar inang (Gambar 2.4), khususnya eksudat akar kentang (PRD/*Potato Root Diffusate*) dan suhu tanah yang menghangat (di atas 10°C) (Clarks dan Hannessy, 1984 dalam Hadisoeganda, 2006: 23).

Telur *G. rostochiensis*Larva *G. rostochiensis*

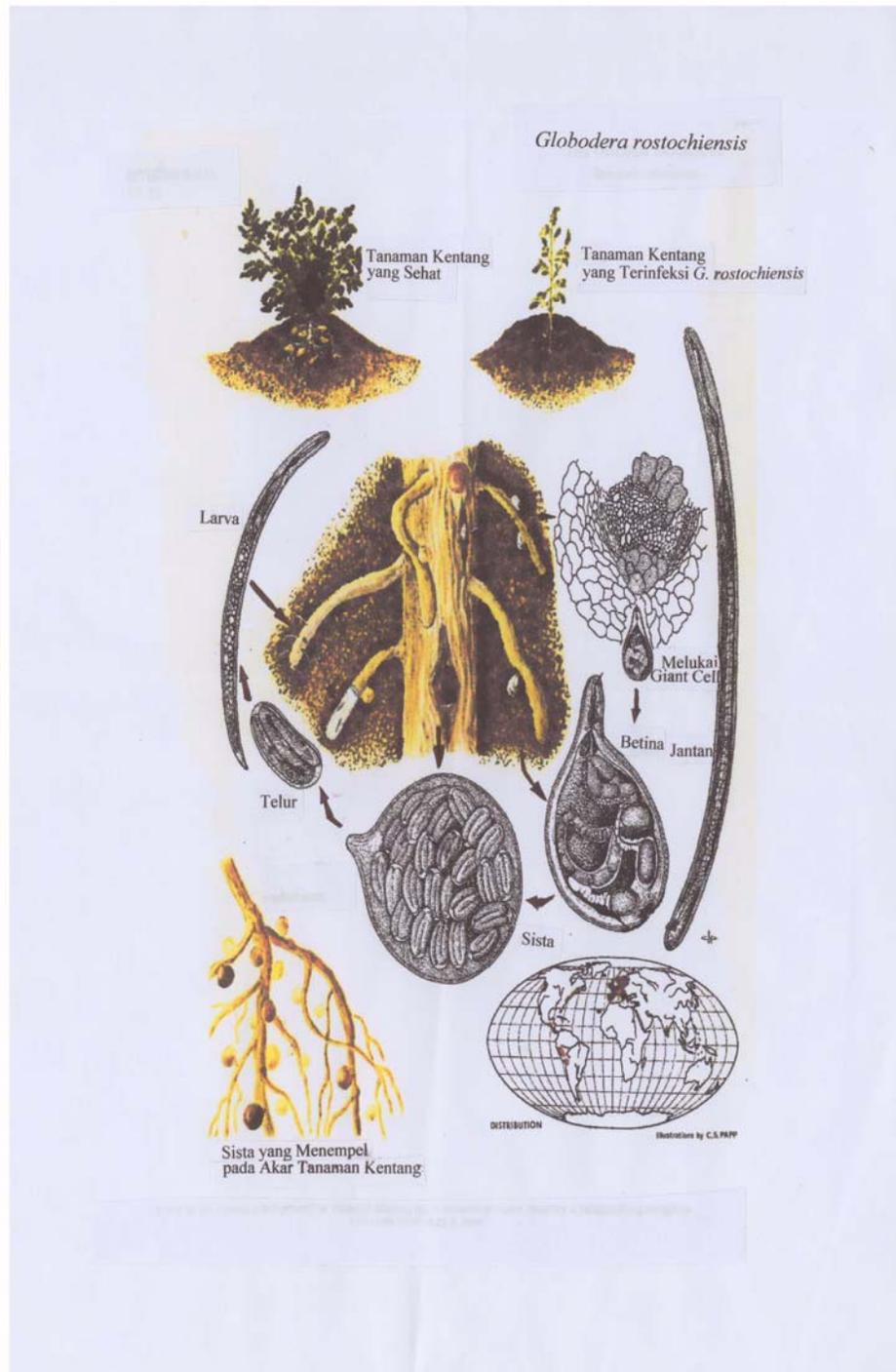
Gambar 2.4 Larva *G. rostochiensis* yang Meninggalkan Telur
(Berg dan Knoxfield, 2006: 1)

Menurut Mark dan Brodie (1995) dalam Hadisoeganda (2006: 33) menyebutkan bahwa kisaran temperatur yang optimum untuk proses penetasan telur nematoda *G. rostochiensis* adalah 18-24°C, sedangkan untuk perkembangan dan reproduksi nematoda *G. rostochiensis* antara 15-21°C. Meskipun begitu tidak

berarti bahwa di luar kisaran itu nematoda *G. rostochiensis* tidak akan 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.

Rangsangan eksudat akar inang tersebut mampu menyebabkan sekitar 60-80% telur menetas, sedangkan air hanya mampu menyebabkan sekitar 5% telur menetas (Hadisoeganda, 2006: 23).

Siklus hidup nematoda *G. rostochiensis* (Gambar 2.5) sangat dipengaruhi oleh temperatur tanah. Biasanya periode siklus hidup tersebut berkisar antara 38 hari sampai 48 hari (Mark dan Brodie, 1998 dalam Hadisoeganda, 2006: 23). 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: 23). Pertambahan populasi cukup cepat sekitar 12-35 kali lipat. Nematoda betina yang menempel pada akar atau umbi akan mengakibatkan kerusakan jaringan (Duriat, 2006: 1).



Gambar 2.5 Siklus Hidup Nematoda *G. rostochiensis*
(Ferris, 2008: 3)

2.2.5 Mekanisme Infeksi Nematoda *G. rostochiensis* pada Tanaman Kentang

Larva stadia dua akan keluar dari telur ketika suhu tanah telah cukup panas (di atas 10°C) dan sinyal kimiawi telah diterima secara tepat. Larva stadia dua akan terlepas dari sista dan berpindah ke arah akar tanaman inang (Ferris, 2008: 1).

Larva stadium kedua yang infeksiif menembus pucuk akar inang, masuk ke dalam akar melalui ujung pertumbuhan akar atau melalui akar lateral dan menggunakan mulut dan styletnya untuk menembus dinding sel. Menginfeksi sel korteks akar dan merangsang sel-sel tersebut menjadi sinsitia yang membengkak. Isi sinsitia tersebut menjadi sumber nutrisi bagi nematoda. Larva kemudian mengalami tiga kali pergantian kulit karena ukuran tubuhnya membengkak. Pada pergantian kulit keempat nematoda betina berbentuk bulat dan pada gilirannya nanti akan menjadi sista. Nematoda jantan mengalami metamorfosis sejati karena berbentuk *vermifora* (cacing) di dalam tubuh larva stadium kelima yang 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* (Hadisoeganda, 2006: 25).

Jantan dewasa tidak makan (bukan parasit tanaman) tetapi perannya dalam perbanyakan nematoda sangat besar karena sangat aktif mengawini betina (*amphimictic*). Rasio seks NSK sangat dipengaruhi oleh persediaan nutrisi. Apabila nutrisi cukup, banyak larva menjadi betina, tetapi apabila suplai nutrisi berkurang (infestasi terlalu tinggi) atau kondisi kurang menguntungkan sering

terjadi proses perubahan seks (*seks reversal*), larva yang akan jadi betina berubah menjadi jantan. Setelah terjadi perkawinan, betina akan menghasilkan sekitar 500 telur (Gambar 2.6) (Stone, 1973 dalam Hadisoeganda, 2006: 27). Nematoda betina tersebut akan mati dan memasuki periode dormansi menjadi sista (Hadisoeganda, 2006: 27).



Telur *G. rostochiensis*

Sista *G. rostochiensis*

Gambar 2.6 Pecahnya Sista Nematoda *G. rostochinsis* yang Mengeluarkan Telur (Berg dan Knoxfield, 2006: 1)

Proses dormansi (*diapause*) dimulai dengan terjadinya perubahan daya permeabilitas dinding sista dan telur, diikuti dengan penurunan metabolisme telur atau larva ke taraf yang sangat rendah. Pada periode tersebut sista menjadi relung (*niche*) ekologi tersendiri yang sangat resisten terhadap faktor ekologis yang sub optimal (tidak baik) (Hadisoeganda, 2006: 27).

Proses metabolisme telur dan larva (dalam telur) akan diaktifkan kembali oleh hadirnya senyawa aktif tertentu dalam eksudat akar inang dan suhu tanah yang menghangat (Hadisoeganda, 2006: 27).

2.2.6 Mekanisme Kerusakan pada Tanaman Kentang

Secara fisiologi tanaman yang terinfeksi oleh penyakit mengalami proses fisiologi yang abnormal. Fotosintesis dan distribusi dari hasil asimilasi mempengaruhi dan dipengaruhi oleh infeksi dari patogen atau infestasi hama. Misalnya adanya pengurangan aktifitas fotosintesis (Triharso, 2004: 30) akibat adanya kerusakan jaringan daun sehingga permukaan yang berfotosintesis pada tumbuhan akan berkurang (Gambar 2.7) (Mardinus, 2006: 119).



Gambar 2.7 (a) Pengurangan Permukaan Daun yang Berfotosintesis pada Tanaman Kentang Akibat *G. rostochiensis* (Berg dan Knoxfield, 2006: 1)

Secara keseluruhan, pengurangan pertumbuhan daun terjadi pada awal dan sebelum akhir dari masa pertumbuhan. Pengurangan pertumbuhan tersebut dapat dilihat dari jumlah NSK yang ada pada tanaman tersebut (Trudgill, 1986; Haverkort dan Trudgill, 1995 dalam Marks dan Brodie, 1998: 119). Hal ini akan mengakibatkan terjadinya reduksi dalam konsentrasi asimilat hingga kandungan karbohidrat sangat rendah (Triharso, 2004: 58).

Infeksi pada tanaman dapat mengganggu fisiologinya baik pertumbuhan maupun hasilnya (Mardinus, 2006: 121). Hal ini juga dijelaskan oleh Haverkort

dan Trudgill (1995) dalam Marks dan Brodie (1998: 120) yang menyimpulkan bahwa ”*Nematoda Sista Kuning dapat mengurangi hasil dari umbi kentang yang pengurangannya dapat dihitung dari pertumbuhan daun*”.

2.2.7 Efek Nematoda *G. rostochiensis* pada Tanaman Kentang

Dalam beberapa penelitian tentang efek dari NSK pada pertumbuhan akar, mengindikasikan bahwa NSK lebih utama mengakibatkan terjadinya pengurangan terhadap pertumbuhan daun daripada pertumbuhan akar, dengan perbandingan pengurangan terhadap pertumbuhan daun tiga kali lebih besar daripada pertumbuhan akar (Trudgill dan Cotes, 1983 dalam Marks dan Brodie, 1998: 122).

Dalam sebuah eksperimen (Haverkort dan Trudgill, 1995 dalam Marks dan Brodie, 1998: 122) memberikan hasil yang sama tentang efek NSK pada tanaman kentang bahwa NSK dapat mengakibatkan terjadinya pengurangan terhadap berat akar khususnya pada kedalaman 30 cm. Sehingga akibatnya, NSK mengurangi ukuran akar dan juga mampu mengurangi keefektifan dari akar-akar yang dihasilkan (Marks dan Brodie, 1998: 123).

Aktivitas nematoda, termasuk NSK sering menunjukkan pengurangan efisiensi air yang digunakan (Evans, 1982 dalam Marks dan Brodie, 1998: 119) dan pengurangan aktivitas fotosintesis (Franco, 1980; Schan dan Arntzen, 1981 dalam Marks dan Brodie, 1998: 119). Haverkort dan Trudgil (1995) dalam Marks dan Brodie (1998: 120) menyimpulkan bahwa ”*Nematoda Sista Kuning mampu mengurangi hasil dari umbi kentang*”.

Apabila dilakukan pengamatan yang teliti terhadap gejala-gejala khusus yang terjadi pada perakaran tanaman terserang, maka akan terlihat gejala-gejala antara lain:

1. Percabangan perakaran yang tidak normal, akar terlihat lebih gemuk dan membengkak.
2. Terlihat sista menempel pada permukaan akar (Gambar 2.8). Sista tersebut berbentuk bulat, berwarna kuning muda, kuning tua, kuning kecoklatan, coklat atau coklat tua mengkilat (*glossy dark brown*).
3. Sista tersebut dapat dilihat tanpa menggunakan mikroskop, menempel berderetan pada perakaran, sebagian yang berwarna coklat jatuh ke tanah apabila perakaran digoyang-goyang. Ukuran garis tengah sista bervariasi antara 400-800 mikron.
4. Umbi yang sempat terbentuk berukuran lebih kecil, jumlahnya sedikit. Pada serangan berat produksi umbi kentang akan lebih ringan (rendah) dibandingkan dengan bobot umbi bibit yang dipakai (Hadisoeganda, 2006: 9-11).



Sista *G. rostochiensis*

Gambar 2.8 Akar Kentang yang Terinfeksi Nematoda *G. rostochiensis* (Berg dan Knoxfield, 2006: 1)

2.3 Bakteri Endofit Sebagai Anti Nematoda dalam Kajian Sains dan Al-Qur'an

Bakteri endofit adalah satu diantara sekian banyak makhluk ciptaan Allah yang menunjukkan tentang keberadaan dan keEsaan Allah. Istilah endofit ditujukan untuk koloni-koloni yang ada pada bagian dalam dari tumbuhan, seperti bakteri atau mikroorganisme lain. Secara ekologi, koloni bakteri endofit menempati tempat yang sama seperti koloni patogen pada tumbuhan tetapi koloni bakteri endofit tidak menimbulkan kerusakan pada inangnya (Reiter dkk, 2002: 2261).

Dalam tafsir Ibnu Katsir dijelaskan bahwa Allah tidak menciptakan semuanya ini dengan sia-sia, tetapi penuh dengan kebenaran agar Engkau memberikan balasan kepada orang-orang yang beramal buruk terhadap apa-apa yang telah mereka kerjakan dan juga memberikan balasan kepada orang-orang yang beramal baik dengan balasan yang lebih baik (Surga). Kemudian mereka menyucikan Allah dari perbuatan sia-sia dan penciptaan yang bathil seraya berkata “*Mahasuci Engkau*”, yakni dari menciptakan sesuatu yang sia-sia (Abdullah, 2001: 211). Hal ini juga diterangkan dalam Firman Allah Surat Ali-’Imran: 191 yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ
السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَدِيلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ

النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya:

”(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kamu dari siksa neraka” (QS. Ali 'Imran: 191).

Allah yang menciptakan segala yang ada dan Allah juga yang menentukan kadar ciptaan-Nya. Dengan ketentuan kadar masing-masing inilah Allah membuat variasi atas ciptaan-Nya sehingga tercipta makhluk dengan keadaan, karakter dan fungsi masing-masing (Kusnadi, 2007: 76). Hal ini dijelaskan dalam Al-Qur'an dalam Surah Al-Qamar ayat 49 yang berbunyi:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

Artinya:

“*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran*” (QS. Al-Qamar:49).

Mikroba endofit adalah organisme hidup yang berukuran mikroskopis (bakteri dan jamur) yang hidup di dalam jaringan tanaman (xylem dan floem), daun, akar, buah, dan batang (Tanaka dkk, 1999 dalam Simarmata, 2007: 85). Mikroba ini hidup di dalam jaringan tanaman pada periode tertentu dengan membentuk koloni dalam jaringan tanaman tanpa membahayakan inangnya. 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 RX dkk, 2001 dalam Radji, 2005: 118).

Beberapa bakteri endofit dilaporkan mampu mendukung pertumbuhan dan menjaga kesehatan tanaman inangnya. Oleh karena itu, bakteri endofit penting sebagai agen biokontrol (Reiter dkk, 2002: 2261). 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 GA dkk, 2003 dalam Radji, 2005: 118).

Disamping menyebabkan ketahanan (Kloepper dan Ryu dalam Schulz, 2006: 53), sedikit yang mengetahui tentang mekanisme lain yang digunakan oleh antagonis bakteri endofit terhadap patogen seperti antibiotik, kompetisi dan lysis. Selanjutnya, bakteri endofit juga diketahui dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi hormon pertumbuhan, meningkatkan nutrisi dan fiksasi nitrogen (Whipps, 2001; Hurek dan Reinhold-Hurek, 2003 dalam Schulz, 2006: 53).

1) Antibiotik

Antibiotik menggambarkan kemampuan dari bakteri endofit untuk menghambat pertumbuhan patogen dengan memproduksi antibiotik atau toksin. Walaupun sebagian besar dari bakteri endofit menunjukkan perlawanannya terhadap patogen secara *in vitro* (Krechul dkk, 2002; Sturz dkk, 1999 dalam Schulz, 2006: 58), sangat sedikit yang mengetahui tentang pengaruh dari antibiotik sebagai kontrol patogen pada jaringan akar (Schulz, 2006: 58).

Bagaimanapun, hanya mikroba antagonis yang mampu memanfaatkan bermacam-macam hasil dari mekanisme untuk mendominasi interaksi dengan patogen. Patogen mempunyai bermacam-macam respon untuk melawan antagonis (Duffy dan Defago, 1997 dalam Schulz, 2006: 58).

2) Kompetisi

Kompetisi merupakan salah satu faktor yang penting sebagai kontrol patogen oleh bakteri endofit sejak adanya koloni organisme-organisme yang sama-sama memanfaatkan nutrisi yang sama. Data yang menunjukkan kompetisi sebagai salah satu mekanisme kontrol dari bakteri endofit adalah tetap dalam keadaan kekurangan nutrisi (Schulz, 2006: 59).

3) Lysis

Melisiskan dinding sel adalah mekanisme potensial yang dilakukan oleh bakteri endofit agar dapat mengontrol patogen. Mekanisme ini adalah sebagai biokontrol dari patogen oleh bakteri rhizosphere. Bakteri endofit diisolasi dari akar kentang yang menghasilkan enzim hidrolisis seperti selulase, kitinase dan glukonase (Krechel dkk, 2002 dalam Schulz, 2006: 59).

Bakteri endofit menginfeksi tanaman sehat pada jaringan tertentu dan mampu menghasilkan mikotoksin, enzim, antibiotika serta metabolit lain (Clay, 1988 dalam Putra, 2007: 1). Bakteri endofit dapat menghambat perkembangan nematoda melalui antibiotik dan enzim pendegradasi yang dihasilkan oleh bakteri tersebut (Hallmann dkk, 2001 dalam Mustika, 2006: 6). Bakteri endofit menghasilkan enzim kitinase yang mampu menghidrolisis kulit telur nematoda yang sebagian besar penyusunnya adalah kitin (Indarti, 2008: 1).

Semua enzim yang dapat mendegradasi kitin, disebut kitinase total atau kitinase non-spesifik. Enzim yang mendegradasi kitin secara acak dari dalam disebut *endokitinase*, sedangkan yang membebaskan N-asetilglukosamina dari kitin disebut N-asetil- β -Dglukosaminidase (selanjutnya disingkat NAGase) dan yang membebaskan unit dimer dari β -1,4-Nasetilglukosamina (kitobiosa) disebut 1,4- β - kitobiosidase (selanjutnya disingkat *kitobiosidase*) disebut *eksokitinase* (Tronsmo & Harman 1993 dalam Nugroho, 2003: 1).

2.3.1 Mekanisme Kerja Bakteri Endofit Sebagai Anti Nematoda

Nematoda mempunyai banyak musuh alami termasuk jamur, bakteri, dan nematoda predator (Sayre 1980; McKenry dan Roberts 1985 dalam Mustika, 2006: 11). Mekanisme infeksi bakteri diduga secara umum yang lebih berperan adalah enzim-enzim. Enzim kitinase yang dihasilkan oleh bakteri melalui struktur infeksi pada permukaan tubuh nematoda mampu melakukan penetrasi kutikula (Mustika, 2006: 11). Penetrasinya dimulai dengan pertumbuhan spora pada kutikula (Setiawati, 2004: 24).

Spora bakteri menempel pada tubuh nematoda kemudian berkecambah dan menembus kutikula nematoda (Mustika, 2006: 11). Kemudian enzim kitinase akan menghidrolisis kulit telur nematoda yang sebagian besar penyusunnya adalah kitin (Indarti, 2008: 1), selanjutnya perkembangbiakan nematoda menjadi terhambat dan akhirnya akan mati (Mustika, 2006: 11).