

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Nematoda Sista Kuning (*G. rostochiensis* (Wollenweber))

2.1.1 Deskripsi

Globodera rostochiensis (Wollenweber) dikenal dengan nama nematoda sista Kuning (NSK) (Hadisoeganda, 2006), merupakan nematoda parasit utama pada tanaman kentang (Evans and stone, 1977; Aisyah dkk, 2007). Menurut Van Riel dan Mulder (1998) dalam EPPO (2004) salah satu jenis nematoda sista kentang yang menyebabkan kerugian besar dalam tanaman kentang.

Juvenil nematoda infeksiif hanya bergerak maksimal sekitar 1 meter di dalam tanah. Umumnya, gerakan untuk daerah yang baru adalah dengan transportasi pasif. Rute utama dari penyebarannya adalah melalui benih kentang dan gerakan tanah (misalnya pada mesin pertanian) dari tanah yang terinfeksi ke wilayah lainnya (EPPO standards, 2004).

Pengertian nematoda ini menyerupai dengan “kutu” atau “*qummal*” yang merupakan hewan parasit yang merugikan bagi tanaman, seperti yang telah disebutkan di dalam Alquran. Allah Swt. berfirman dalam Q.S Al A’raf [7]: 133.

فَأَرْسَلْنَا عَلَيْهِمُ الطُّوفَانَ وَالْجَرَادَ وَالْقُمَّلَ وَالضَّفَادِعَ وَالْأَدَمَّ ءآيَاتٍ مُّفَصَّلَاتٍ فَاسْتَكْبَرُوا
وَكَانُوا قَوْمًا مُّجْرِمِينَ ﴿١٣٣﴾

Artinya: “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’raf [7]: 133)

Menurut Abdullah (2007) dalam tafsir Ibnu Katsir (الْقُمَّل) (kutu), diriwayatkan dari Ibnu Jarir, *al-qummal* adalah jama' dan mufradat (tunggalnya) adalah *qummalah*, yaitu binatang serupa dengan kutu yang memakan unta. Sedangkan menurut Al-Jazairi (2007) dalam Tafsir Alquran Al Aisar, menyatakan bahwa (الْقُمَّل) *Al-qummal* bisa artinya kutu yang kita kenal atau serangga dalam biji.

Kutu (*Lice*) merupakan salah satu dari beberapa serangga kecil yang biasanya mengisap cairan dari tanaman inang (Farlex clipart collection[©], 2012).

Berdasarkan pengertian dari beberapa sumber yang terkait bahwa *G. rostochiensis* (Wollenweber) dapat dianalogkan sebagai kutu yang merupakan hewan kecil yang hidupnya parasit pada tumbuhan.

Menurut Skarbilovich (1959) *G. rostochiensis* (Wollenweber) (*yellow cyst nematode*, *yellow potato cyst nematode* atau nematoda sista kuning) berasal dari subgenus *Globodera* yang diangkat menjadi istilah umum oleh Bahrens (1975) (CABI dan EPPO, 2007).

Perkembangbiakan serangga tertentu seperti kutu tidak mengalami metamorfosis sempurna, berarti dia mengalami metamorfosis tidak sempurna. Metamorfosis tidak sempurna mempunyai tiga bentuk: mulai dari telur, menjadi nimfa (larva), kemudian dewasa (Ditlin, 2002). Pada nematoda *G. rostochiensis* (Wollenweber) dapat dikategorikan dalam proses metamorfosis tidak sempurna.

2.1.2 Klasifikasi

Klasifikasi Nematoda *G. rostochiensis* (Wollenweber) (Hadisoeganda, 2006), sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Nematoda
Kelas	: Secernentea
Subkelas	: Diplogasteria
Ordo	: Tylenchida
Superfamili	: Tylenchoidea
Famili	: Heteroderidae
Subfamili	: Heteroderinae
Genus	: <i>Gobodera</i> (<i>potato cyst nematode/nematoda sista kentang/NSK</i>)
Spesies	: <i>G. rostochiensis</i> (Wollenweber) (<i>yellow cyst nematode /golden cyst nematode/nematoda sista kuning/NSK</i>)

2.1.3 Distribusi

Pusat kota asal-usul *G. rostochiensis* (Wollenweber) terletak di Pegunungan Andes, di Amerika Selatan, mereka mengenalkan kentang ke Eropa. Dari sana, mereka menyebarkan pula benih kentang ke daerah lain. Distribusinya sekarang mencakup zona sedang ke permukaan laut dan di daerah tropis pada ketinggian yang lebih tinggi (CABI dan EPPO, 2007).

Penyebaran *G. rostochiensis* (Wollenweber) meliputi wilayah Benua Asia, Afrika, Amerika (Utara, Selatan, Tengah, Karibia), kepulauan Oceania (New Zeland, Australia, Kepulauan Norfolk) (CABI dan EPPO, 2007). Ternyata pola sebar NSK mengikuti pola sebar tanaman kentang dan hampir seluruh sentra pertanaman kentang di dunia telah dicemari oleh kehadiran NSK (Hadisoeganda, 2004; Romadhona, 2006).

Di benua Asia (sebelum 21 Maret 2003), NSK telah dilaporkan ditemukan di sentra kentang dengan sebaran terbatas yaitu Cyprus, India, Jepang, Srilanka, Tajikistan dan meskipun tidak terlalu rinci informasinya, NSK telah ditemukan pula di Armenia, Lebanon, Oman, Pakistan, Filipina dan Turki (Hadisoeganda, 2004; Romadhona, 2006). Terdapat dua spesies NSK yang menyerang kentang yaitu *G. rostochiensis* (Wollenweber) (*Golden Potato Cyst Nematoda*) dan *G. pallida* (Stone.) (*White Potato Cyst Nematoda*) (Mulyadi dkk, 2003).

Menurut Hadisoeganda (2006) NSK pertama kali terdeteksi di wilayah Indonesia pada bulan maret 2003 di Dusun Sumber Brantas, Desa Tulung Rejo, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu, Propinsi Jawa Timur berdasarkan identifikasi morfologi sista.

Menurut Hadisoeganda (2006) larva NSK *G. rostochiensis* (Wollenweber). ditemukan di Provinsi Sumatera Utara (Kabupaten Karo, Simalungun, Dairi, dan Tapanuli Utara), Jawa Barat (Kabupaten Bandung, Garut, dan Majalengka), Jawa Tengah (Kabupaten Temanggung, Wonosobo, dan Banjarnegara), Jawa Timur (Kabupaten Pasuruan, Probolinggo, Malang Kota Batu, dan Magetan).

Di luar negeri nematoda sista (*cyst nematoda*) merupakan hama (*pest*) utama pada kentang dibandingkan hama atau penyakit lain, karena: 1) kerugian yang ditimbulkan cukup besar (antara 50-80%); 2) reproduksinya relatif cepat antara 200-500 butir telur tiap nematoda betina; dan 3) pada kondisi lingkungan yang tidak sesuai khususnya pada saat tidak ada tanaman inang (Mulyadi dkk, 2003).

Nematoda betina berubah menjadi sista, dinding tubuh betina menebal dan telur-telur didalam tubuh nematoda mampu bertahan hidup relatif lama, yaitu dapat sampai 30 tahun (Mulyadi dkk, 2003). Telur yang berada didalam sista NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)) tetap baik berada didalam tanah hingga 20 tahun dengan tanpa tanaman inang (Jones, 1970; Pridannikov, 2007)

2.1.4 Karakteristik

Morfologi telur *G. rostochiensis* (Wollenweber) 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 . Sedang lebar antara 50-59 μm , dengan rata-rata 54,6 μm (Mulyadi *et.al.*, 2003).



Gambar 2.1 Sista NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)): (a) Sista warna kuning yang menempel pada akar adalah sista *G. rostochiensis* (Wollenweber) betina (Hammeraas, 2011) (b) Sebuah sista pecah dengan telur yang banyak pada NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)) (Zunke, 2005).

Nematoda ini berukuran sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Pada akar halus akau akar samping, nematoda ini membentuk sista yang dapat dilihat dengan mata (gambar 2.1.a) (Sunarjono, 2007).

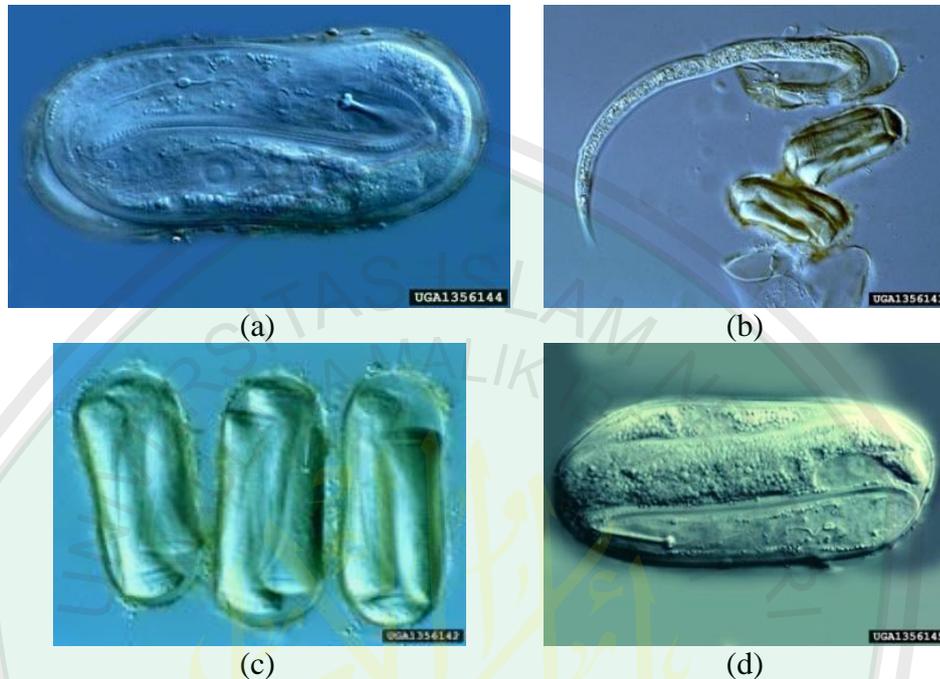
Hasil penelitian Clarke dkk. (1967) tentang komposisi kimia dari cangkang telur NSK *G. rostochiensis* (Wollenweber), bahwa kandungan utama dari cangkang telur adalah protein sebanyak 59%, kandungan lainnya adalah 9% kitin, 7% lipid, 6% karbohidrat, 3% abu dan polifenol (3% dari berat cangkang telur) yang terdeteksi oleh asam hydrosalisilat.

Jumlah protein yang relatif besar dalam cangkang telur *G. rostochiensis* (Wollenweber) itu tidak terduga, seperti kitin yang dikira menjadi komponen utama (Chitwood, 1951; Perry, 1983). Dari 18 asam amino yang terdeteksi, prolin adalah kandungan yang paling melimpah, kemudian asam aspartat, glisin dan serin dibuat 64% dari berat total asam amino (Perry, 1983).

Komposisi asam amino ini menunjukkan bahwa cangkang telur mengandung kolagen yang seperti protein, dan protein ini memiliki kualitas serat yang ulet, hal ini berhubungan dengan ketahanan cangkang telur *G. rostochiensis* (Perry, 1983).

Ultrastruktur dan histokimia kulit telur *G. rostochiensis* (Wollenweber) dari lapisan *vitelline* luar, lapisan *chitinous* dan lapisan dalam berupa lipid. Lapisan *vitelline* bukanlah unit seperti membran dan memiliki helai partikel materi yang melekat pada permukaan luar. Lapisan *chitinous* merupakan serat yang terdiri dari kitin mikrofibril inti, dikelilingi oleh mantel protein. Lapisan lipid berisi membran lipoprotein. Ini bervariasi dalam nomor, pola umumnya diamati

menjadi dua atau tiga membran yang dikaitkan secara longgar dengan permukaan dalam kulit telur (Perry dkk., 1982).



Gambar 2.2 Telur NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)): (a) Hasil isolasi telur nematoda dari sista (Zunke, 2011) (b) Telur Nematoda dari sista yang dikeringkan, 5 menit setelah penempatan di dalam air (c) Telur Nematoda dari sista yang dikeringkan, 20 menit setelah penempatan di dalam air (d) Hasil isolasi telur dari sista, menunjukkan kelenjar dorsal esofagus masih kekurangan butiran sekretori sebelum menetas (Zunke, 2005).

2.1.5 Ekologi dan Tanaman Inang

2.1.5.1 Ekologi

Secara bioekologi, nematoda *G. rostochiensis* (Wollenweber) termasuk nematoda *endoparasit sedentary* (bersifat menetap) yang pada umumnya tetap tinggal pada inangnysa, walaupun inangnysa tersebut telah rusak, sehingga pada umumnya nematoda *sedentary* tinggal pada inangnysa sampai mati (Triharso, 2004).

2.1.5.2 Tanaman Inang

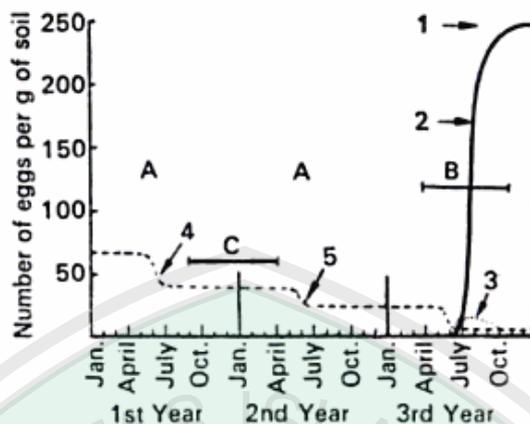
Tanaman kentang dapat rusak parah karena serangan *G. rostochiensis* (Wollenweber) karena memiliki tanaman inang yang khusus yaitu pada tanaman kentang dan beberapa spesies dari kelas *Solanaceae* lainnya (Schenk dkk., 1999).

Kisaran tanaman inang dari NSK terbatas. Spesies nematoda menjadikan tanaman kentang sebagai inangnya yang paling utama. *Solanum* spp. dan hibridanya adalah contoh lain yang juga bisa sebagai tanaman inangnya (CABI dan EPPO, 2007). Misalnya kentang (*S. tuberosum* L.), tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dan beberapa gulma. Sekitar 90 spesies dari genus *Solanum* yang dikenal sebagai tanaman inang. Tiga tanaman inang dari NSK adalah kentang, tomat dan terung (Mai, 1977).

Gulma yang dianggap sebagai tanaman inang: *S. dulcamara* L., *S. miniatum* Bernh., beberapa strain dari *S. nigrum* L., dan beberapa *Hyoscyamus niger* L (Decker, 1972). Menurut *H. niger* L adalah anggota family *Solanaceae* tumbuh di kawasan berpasir, tempat pembuangan sampah di Eropa (Bert dkk., 2012).

Penetasan juvenil dikendalikan oleh agen yang diekskresikan oleh akar beberapa spesies tanaman *Solanaceae*. Sudah lebih dari 70 tahun banyak upaya yang dikeluarkan oleh para peneliti untuk mengisolasi senyawa ini dan untuk menentukan struktur mereka (Schenk dkk., 1999).

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Schenk dkk. (1999), melaporkan bahwa faktor penetasan di akar kentang dan tomat adalah senyawa *Solanoeclepin A*, Merupakan senyawa yang memiliki beberapa kemiripan dengan



Gambar 2.4 Perubahan populasi dari pembentukan sista NSK selama budidaya terhadap ketahanan hasil panen dan tanaman inang: 1) peningkatan sepuluh kali lipat; 2) telur baru; 3) tahap akar; 4) 40% penurunan; 5) 35% penurunan; A) tanaman resisten; B) budidaya kentang C) telur dan kista

Menurut Marks dan Brodie (1998) dalam Hadisoeganda (2006) kisaran temperatur yang optimum untuk proses penetasan telur *G. rostochiensis* (Wollenweber) adalah 18-24°C, sedangkan untuk perkembangan dan reproduksi antara 15-21°C. Meskipun begitu tidak berarti bahwa di luar kisaran temperatur tersebut di atas, NSK tidak akan mampu berkembang dengan optimal, mengingat bahwa NSK terbukti dapat dikembangbiakkan di dalam rumah kaca di Bandung yang kisaran suhunya lebih dari 20-27°C.

Pada penelitian tersebut terbukti bahwa dikawasan yang lebih kondusif untuk hidup dan berkembangnya NSK adalah dikawasan dengan elevasi diatas 1.100 m dpl. Meskipun begitu, mengingat bahwa kemampuan daya adaptasi NSK khususnya terhadap temperatur, durasi penyinaran matahari dan cara budidaya tanaman inang kuat, maka penyebaran dan masalah yang akan ditimbulkan oleh NSK terhadap budidaya kentang dikawasan lain (medium dan rendah) perlu

diwaspadai. (Nataatmadja, 2004 komunikasi pribadi dalam *dalam* Hadisoeganda, 2006).

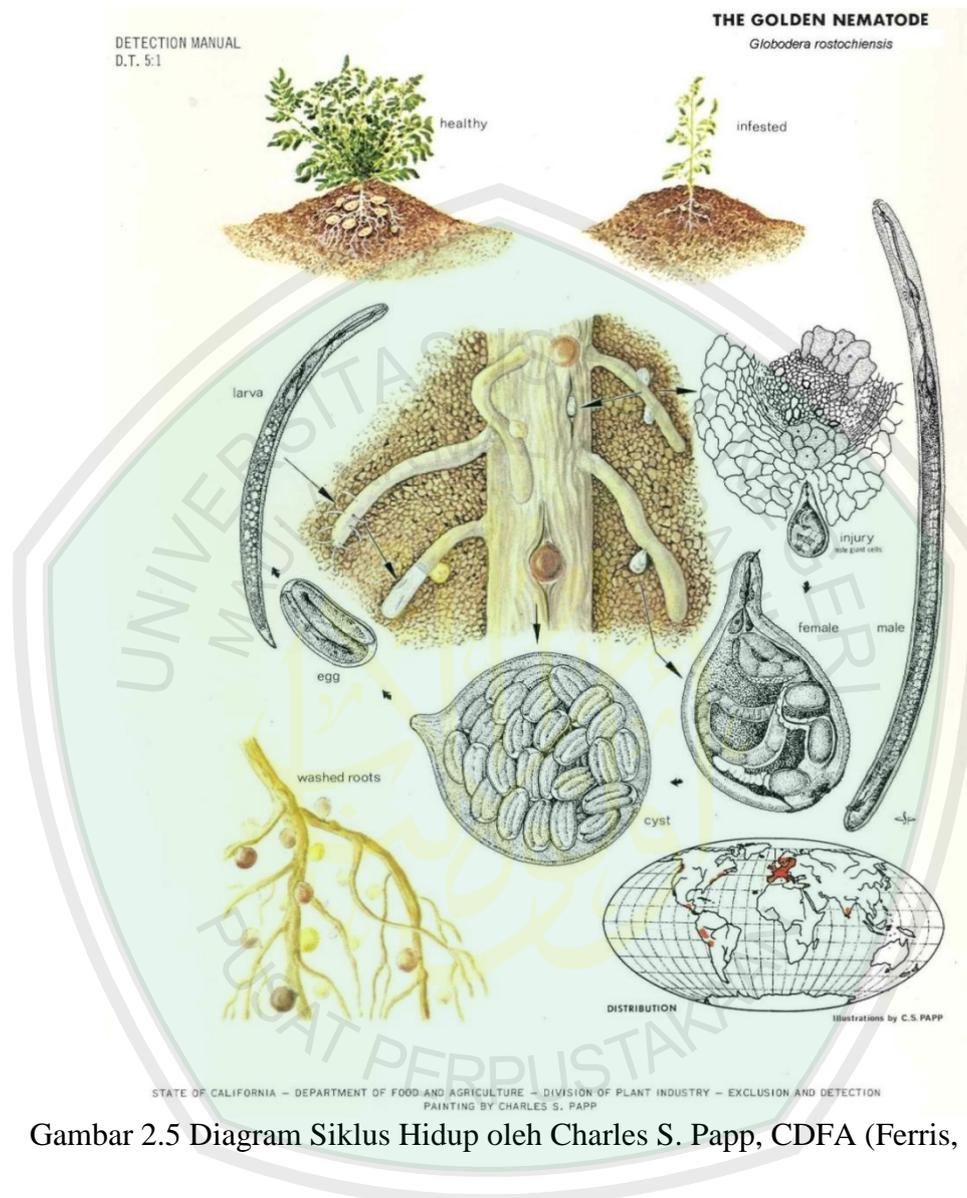
Aktivitas larva berlangsung pada suhu mulai 10°C dan terhenti pada suhu 40°C tanpa tanaman inang (Jones, 1970; Pridannikov, 2007). Eksudat akar dari tanaman inang dapat merangsang 60-80 % larva untuk menetas. Ketika tidak ada tanaman kentang, umbi kentang yang ditaruh di atas tanah (kentang kerap kali ditinggalkan diatas tanah pada saat panen bahkan sampai keluar tunas) dapat mempertahankan sejumlah nematoda (Spears, 1967)

2.1.7 Siklus Hidup

Sebuah periode 38-48 hari (tergantung pada suhu tanah) diperlukan untuk siklus hidup lengkap (Gambar 2.5) dari sista nematoda kentang (Chitwood dan Buhner, 1945; Ferris, 2011).

Nematoda *G. rostochiensis* (Wollenweber) berkembang dalam umbi akar dan stolon (Decker, 1972). Siklus hidupnya dimulai ketika Larva stadium dua 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, kemudian menginfeksi sel korteks akar dan merangsang sel-sel tersebut menjadi sinsitum yang membengkak (Hadisoeganda, 2006).

Isi sinsitum tersebut menjadi sumber nutrisi bagi nematoda (Hadisoeganda, 2006). Kemudian akan terbentuk sel raksasa (didalam stolon atau di akar) yang berisi udara. Kondisi ini pertanda bahwa larva telah jauh menembus ke dalam jaringan pembuluh vaskular (Decker, 1972).



Gambar 2.5 Diagram Siklus Hidup oleh Charles S. Papp, CDFA (Ferris, 2011)

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 perbanyakannya nematoda sangat besar karena sangat aktif mengawini betina (*Amphimictic*). Penentuan jenis kelamin NSK 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 (Departemen Perlindungan Tanaman, 2008).

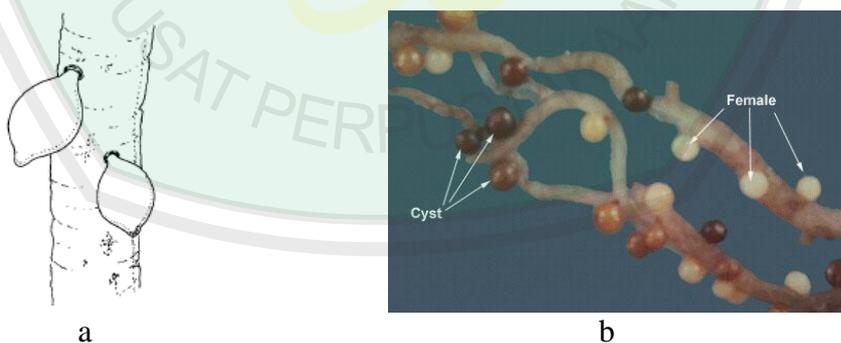
Sista dibentuk dari kutikula yang menghitam (*tanning*) dari nematoda betina (Departemen Perlindungan Tanaman, 2008) dan dapat bertahan hidup lebih dari 15 tahun dalam tanah tanpa makanan dalam stadium istirahat (dorman) (Sunarjono, 2007).

Menurut Dropkin (1992) dalam Sunarto dkk. (2005) *G. rostochiensis* (Wollenweber) adalah nematoda sista yang bersifat endoparasit, dan mampu bertahan lama di dalam tanah tanpa tanaman inang. *G. rostochiensis* (Wollenweber) sulit dikendalikan karena memiliki kemampuan membentuk sista yang mampu dorman selama 20 tahun tanpa tanaman inang.

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 suboptimal (tidak baik) (Hadisoeganda, 2006).

Sebagian besar spesies Globodera sudah membentuk sista menempel dengan bagian anterior tubuhnya menyusup dalam korteks (lihat gambar 2.6.a), sedangkan bagian posteriornya di luar jaringan akar (semi endoparasit). Bentuk sista membulat (globular atau spheroid), warnanya sebagian besar kuning emas, sebagian lagi putih dan kuning tua sampai coklat (Mulyadi, 2003).

Larva kemudian mengalami tiga kali pergantian kulit karena ukuran tubuhnya membengkak. Pada pergantian kulit keempat nematoda betina berbentuk bulat dan pada saatnya nanti akan menjadi sista (lihat Gambar 2.6.b) (Hadisoeganda, 2006).



Gambar 2.6 Bagian anterior sista yang menyusup pada korteks: a) Sista Nematoda Betina di Akar b) Betina dewasa dan sista *G. rostochiensis* (Wollenweber): nematoda betina sedang berkembang dari fase putih menuju kuning emas sebelum menjadi sista yang gelap (Greco dan Crozzoli, 2012).

Warna nematoda betina pada tahap yang tepat dapat digunakan sebagai indikasi: betina yang berubah dari putih menjadi kuning, kemudian menjadi sista coklat, adalah *G. rostochiensis* (Wollenweber), sementara satu yang berubah dari putih langsung ke coklat *G. pallida* (EPPO, 2004).

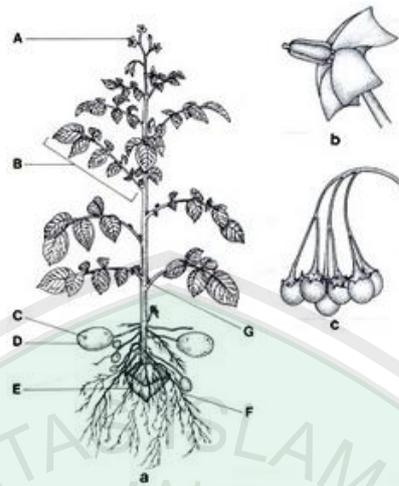
Menurut penelitian yang dilakukan di Belanda oleh Oostenbrink, menyatakan bahwa sista berwarna putih terlihat kurang dari 6 minggu pada kentang yang ditanam pada bulan April. Tahan warna kuning jelas pada sista selama 7 minggu dan sista nampak berwarna coklat tidak lebih dari 9 minggu (Decker, 1972)

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

2.2 Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

2.2.1 Morfologi

Tanaman kentang merupakan suatu terna berbatang basah, dengan umbi batang pada stolonnya (Gembong, 1994) dan 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, 2005) .



Gambar 2.7 (a) Diagram ilustrasi tanaman kentang: (a) Seluruh bagian tanaman Kentang (*S. tuberosum*): (A) Bunga (B) Daun majemuk (C) Mata umbi (D) Umbi (E) sepotong umbi digunakan untuk menanam (F) akar (G) Batang. (b) Bunga. (c) Buah-buahan (buah) (APS, 2012).

Daun berseling menyirip ganjil terputus-putus. Anak daun bulat telur memanjang, berganti besar dan kecil, pada ujung terdapat anak daun yang paling besar. Warna bunga 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).



(a)



(b)

Gambar 2.8 Bagian tanaman kentang:(a) Daun (b) Bunga Tanaman Kentang (Wagner dkk, 2010).

Bunga kentang berkelamin dua (*hemaproditus*) yang tersusun dalam rangkaian bunga yang tumbuh pada ujung batang dengan tiap bunga memiliki kuntum sampai 15 kuntum bunga. Bunga kentang memiliki bakal buah yang berongga sebanyak dua buah. Seminggu setelah penyerbukan, bakal buah membesar kemudian menjadi buah (Rukmana, 1997).

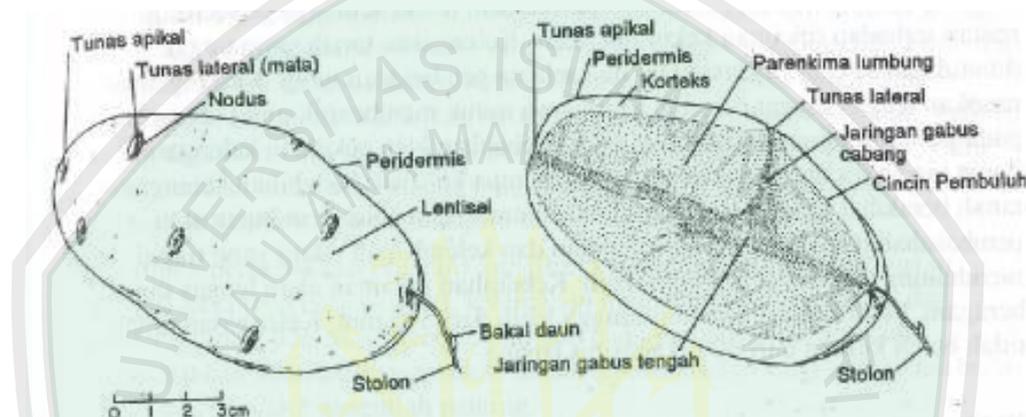


Gambar 2.9 Bunga dan biji: (a) Buah (Wagner dkk, 2010). (b) Biji Kentang (Sinkyrik, 2012).

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).

Batang diatas tanah berdiri tegak, awalnya halus dan akhirnya menjadi persegi serta bercabang jika pertumbuhannya sudah berlanjut. Bentuk pertumbuhan tanaman berkisar dari kompak hingga menyebar. Batang dibawah permukaan tanah (rhizoma), umumnya disebut stolon, menimbun dan menyimpan produk fotosintesis dalam umbi yang membengkak pada bagian ujung (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 terakan pada permukaan umbi, dengan jumlah yang makin banyak mendekati titik apika (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).



Gambar 2.10 Anatomi Umbi Kentang (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998).

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).

Umbi kentang terbentuk dari cabang samping diantara akar-akar. Proses pembentukan akar ditandai dengan terhentinya pertumbuhan memanjang dari rhizome atau stolon yang diikuti pembesaran sehingga rhizome membengkak. Umbi berfungsi untuk menyimpan bahan makanan seperti karbohidrat, lemak, protein, vitamin, air dan mineral (Samadi, 2002).

Ukuran umbi bervariasi besar dan kecil tergantung jenisnya. Bentuk umbi ada yang bulat, oval agak bulat (lonjong), dan bulat memanjang. Umbi kentang dapat berwarna kuning, putih, dan merah (Samadi, 2002).

Umbi kentang memiliki tunas sebagai bahan perkembangbiakan yang akan menghasilkan tanaman baru. Selain mengandung zat gizi, umbi kentang mengandung zat solanin yang beracun dan berbahaya bagi yang mengkonsumsinya. Racun solanin akan berkurang atau hilang apabila umbi telah tua. Tetapi racun solanin tidak akan hilang apabila umbi tersebut keluar dari tanah dan terpancar sinar matahari. Umbi kentang yang masih mengandung solanin akan berwarna hijau meskipun sudah tua (Samadi, 2002).

Produksi kentang di Indonesia saat ini didominasi oleh varietas Granola yang mencapai 90% dari seluruh areal tanam, sedangkan kentang olahan hanya menempati 10% saja (Chujoi, et al, 1999; Prahardini dan Pratomo, 2004).

Kentang varietas Granola merupakan jenis varietas unggul karena produktifitasnya dapat mencapai 30-35 ton/ha. Keunggulan lain dari varietas Granola adalah tahan terhadap penyakit kentang, bila varietas lain kerusakan akibat penyakit bisa 30% maka Granola hanya 10% (Setiadi dan Nurulhuda, 2000).

Hasil penelitian Balai Penelitian Tanaman Sayuran Lembang menunjukkan bahwa kadar gula umbi kentang Granola berkisar antara 0,043%-0,174%, oleh karena itu kentang varietas Granola selain cocok digunakan sebagai bahan konsumsi rumah tangga, juga dapat diterima sebagai bahan baku industri pengolahan (Rukmana, 2003).

2.2.2 Klasifikasi

Klasifikasi tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) (Gembong, 1994):

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledoneae

Ordo : Tubiflorae (Solanales, Personatae)

Famili : Solanaceae

Genus : *Solanum*

Spesies : *Solanum tuberosum* L.

2.2.3 Kandungan Gizi

Kentang merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang bergizi. Menurut Siswoputranto (1985) zat gizi yang terdapat dalam umbi kentang antara lain karbohidrat, mineral (besi, fosfor, magnesium, natrium, kalsium, dan kalium), protein, serta vitamin terutama vitamin C dan B1.

Kentang juga memiliki kadar air cukup tinggi yaitu sekitar 78%. Nilai energi sebuah umbi kentang yang berukuran sedang ini adalah 100 kalori yang sama nilainya dengan sebuah apel, pisang ukuran sedang atau jeruk berukuran besar (Siswoputranto, 1985).

Kandungan zat gizi kentang dalam 100 g berat dapat dimakan disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan gizi kentang tiap 100 g berat dapat dimakan (BDD).

Kandungan Gizi	Jumlah
Energi (kal)	83,00
Protein (g)	2,00
Lemak (g)	0,10
Karbohidrat (g)	19,10
Kalsium (mg)	11,00
Fosfor (mg)	56,00
Serat (mg)	30,00
Besi (mg)	0,70
Vitamin B1 (mg)	0,09
Vitamin B2 (mg)	1,40
Vitamin C (mg)	16,00
Niacin (mg)	0,03

Sumber: Wirakusumah (2001); Hidayah (2009).

2.2.4 Produksi

2.2.4.1 Produksi Kentang (*S. Tuberosum L.*) Dunia

Data statistik FAOSTAT (2012) ada 5 negara yang masuk dalam kategori produksi kentang 2 negara yang mengalami kenaikan produksi kentang terbesar di dunia selama kurun waktu 30 tahun (1970-2010), Negara China dan India.

Produksi kentang tahun 2009-2010 di India mengalami kenaikan yang cukup tinggi 6,35% sebesar 36.577.300 ton tahun 2010, namun jumlah produksi kentang dunia terbesar pertama masih dikuasai oleh China dengan tingkat kenaikan 2,07% sebesar 74.799.084 ton tahun 2010 (FAOSTAT, 2012).

Sementara 3 negara lain yang masuk dalam kategori tersebut adalah Rusia (-32,09%), Ukraina (-4,88%) dan USA (-7,91%) (Scott dan Noel, 2012).

2.2.4.2 Produksi Kentang (*S. Tuberosum L.*) di Indonesia

Jumlah produksi dan luas panen tanaman kentang di Indonesia mengalami laju kenaikan dan penurunan yang tidak stabil. Pada tahun 2000 Indonesia masuk

peringkat ke-41 (977.349 ton) dari 158 negara di dunia, tahun 2010 mengalami penurunan peringkat ke-43 (1.060.580 ton) (Geohive, 2012).

Tabel 2.2 Luas Panen, Produksi dan Rata-Rata Produksi/Hektar

Tahun	Luas Panen (ha)	Produksi (Ton)	Rata-rata produksi/hektar (ton)
1985	30.305	249.986	8,24
1990	38.983	418.154	10,72
2000	62.871	966.608	15,37
2005/2006	65.420	1.072.040	16,38
2007	63.928	1.010.284	15,80
2009	71.238	1.176.304	16.51
2010	66.531	1.060.580	15.94

Sumber: BPS 1985-2010.

2.2.5 Penyebab dan Gejala Serangan NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber))

Allah Swt. menciptakan berbagai macam jenis makhluk hidup yang dilengkapi dengan berbagai macam kebutuhannya untuk bertahan hidup dan berkembangbiak di muka bumi.

Spears (1968) menyimpulkan bahwa sebagian besar nematoda parasit tumbuhan hidup di dalam tanah dan mendapat sumber bahan makanan dari perakaran tanaman. Nematoda sista kentang merupakan endoparasit menetap, betina berkembang menjadi sista (dapat bertahan hidup dalam tanah > 20 tahun). Sebagian besar spesies *Globodera* sudah membentuk sista menempel dengan bagian anterior.

Keberadaan nematoda sista kentang yang memiliki habitat di tanah, terutama tanah-tanah yang subur di Indonesia. Namun, tidak semua tanah yang subur menjadi surganya berbagai tanaman untuk tumbuh dengan baik hingga menghasilkan panen dengan jumlah dan hasil yang baik pula. Hal ini seperti yang telah difirmankan Allah Swt. dalam Q.S Al-A'raf [7]: 58.

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۗ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكْدًا ۚ كَذَلِكَ نُصَرِّفُ
 الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

Artinya: “dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (Q.S Al-A’raf [7]: 58).

Menurut tafsir Al Qurthubi kata (خَبُثٌ) pada ayat ini maksudnya adalah tanah, dan sifat (الطَّيِّبُ) menandakan bahwa tanah tersebut baik dan subur. Sedangkan sifat (خَبُثٌ) menandakan bahwa tanah tersebut dipenuhi dengan bebatuan atau kerikil, hingga membuatnya tidak subur (Al Qurthubi, 2008).

Beberapa tempat yang subur dari hasil pembukaan lahan pegunungan yang memiliki hutan hujan tropis, bisa menjadi ancaman bagi hasil panen bila didalam tanah mengandung nematoda parasit tumbuhan yang hidup dengan populasi yang tak terkendali. Kondisi ini tanah yang demikian dapat dikatakan tidak baik walaupun memiliki kandungan nutrisi tanah yang tinggi. Sebab tumbuhan yang hidup pada kondisi tanah seperti itu tidak akan tumbuh dengan baik, begitu pula dengan hasil panennya. Seperti yang terjadi pada lahan pertanian kentang di Sumber Brantas-Batu yang terserang NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)) yang merugikan hasil panen petani kentang.

Orang-orang yang bersyukur seperti yang telah disebutkan dalam ayat ini secara khusus karena hanya merekalah yang benar-benar dapat mengambil manfaat dari tanda-tanda yang diberikan oleh Tuhannya (Al Qurthubi, 2008). Salah satunya seperti pada kasus ini, yaitu penyakit tanaman kentang yang disebabkan oleh NSK *G. rostochiensis* (Wollenweber) yang menyerang akar tanaman kentang.

Gejala diawali dengan pertumbuhan tanaman yang kerdil secara spot-spot. Apabila infeksi NSK berkembang, maka di lapangan akan banyak spot tanaman yang kerdil (Spears, 1967).

Agrios (1997) melaporkan bahwa nematoda yang mengkonsumsi sel akar mampu menurunkan kemampuan tumbuhan menyerap air dan hara dari tanah sehingga menyebabkan gejala seperti:

- a) Kekurangan air dan hara
- b) Berkurangnya konsentrasi zat pengatur tumbuh tanaman seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang banyak terdapat di ujung akar.
- c) Berkurangnya zat pengatur tumbuh dapat terjadi karena nematoda mengeluarkan enzim selulase dan pektinase yang mampu mendegradasi sel sehingga ujung akar luka dan pecah, hal ini menyebabkan auksin tidak aktif. Tidak aktifnya auksin menyebabkan pertumbuhan akar terhambat.



Gambar 2.11 Perbandingan ukuran tanaman kentang yang terinfeksi (kanan) dibandingkan dengan tanaman kentang yang sehat (kiri) (Hogger, 2012)

Pada keadaan serangan berat, keadaan akar menjadi rusak dan tidak berfungsi secara normal dalam menyerap air dan hara, pertumbuhan tanaman terganggu, klorosis dan cenderung layu pada kelembaban yang relatif kering

(Widjaja, 1989; Hidayya, 2009). Allah Swt. menjelaskan didalam Alquran (Q.S Yunus [10]: 24).

إِنَّمَا مَثَلُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا كَمَاءٍ أَنْزَلْنَاهُ مِنَ السَّمَاءِ فَاخْتَلَطَ بِهِ نَبَاتُ الْأَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ
النَّاسُ وَالْأَنْعَامُ حَتَّى إِذَا أَخَذَتِ الْأَرْضُ زُخْرُفَهَا وَازَّيَّنَتْ وَظَنَّ أَهْلُهَا أَنَّهُمْ قَادِرُونَ عَلَيْهَا
أَتَتْهَا أَمْرُنَا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا كَأَن لَّمْ تَغْرَبْ بِالْأَمْسِ كَذَلِكَ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٠﴾

Artinya: “*Sesungguhnya perumpamaan kehidupan duniawi itu, adalah seperti air (hujan) yang Kami turunkan dan langit, lalu tumbuhlah dengan subur karena air itu tanam-tanaman bumi, di antaranya ada yang dimakan manusia dan binatang ternak. hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan memakai (pula) perhiasannya, dan pemilik-pemilikinya mengira bahwa mereka pasti menguasainya, tiba-tiba datanglah kepadanya azab Kami di waktu malam atau siang, lalu Kami jadikan (tanam-tanamannya) laksana tanam-tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin. Demikianlah Kami menjelaskan tanda-tanda kekuasaan (Kami) kepada orang-orang berpikir*” (Q.S Yunus [10]: 24).

Menurut Abu Ja'far dalam tafsir Ath-Thabari bahwa dalam ayat ini Allah Swt. menggambarkan kehidupan dunia yang membanggakan itu pada akhirnya bertemu dengan kematian (tidak kekal). Seperti tanaman yang tumbuh subur dengan berbagai macam warna yang indah dan semua makhluk dapat menikmatinya.

Konteks ayat diatas yang menjelaskan tentang adzab Allah Swt. berupa kerusakan tanaman di siang dan malam hari yang serupa dengan kerusakan tanaman kentang akibat serangan NSK (*G. rostochiensis* (Wollenweber)), ini tercermin pada firman Allah, *“أتَتْهَا أَمْرُنَا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا”* “tiba-tiba datanglah kepadanya azab Kami di waktu malam atau siang,” Firman Allah *“فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا”* “lalu

Kami jadikan (tanam-tanamannya) yang sudah disabit,” terpotong dan tercabut dari akarnya. كَأَن لَّمْ تَغْنَ بِالْأَمْسِ “seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin.”. maka seperti itulah Allah menerangkan ayat-ayat Kami kepada yang mau berpikir, supaya dia bisa merenungkannya. Ini khusus untuk mereka yang mau berpikir, karena merekalah yang bisa meneliti dan mencari solusinya.

2.2.6 Mekanisme Ketahanan terhadap Serangan NSK *G. rostochiensis* (Wollenweber)

Infeksi nematoda mengakibatkan tanaman mengalami kerusakan atau luka pada jaringannya terutama selama proses migrasi dan perluasan *feeding site*. Tanaman pada umumnya mengenali dan bereaksi terhadap adanya parasit atau patogen yang masuk dengan cara mengaktifkan respon ketahannya (Fitriyanti dkk, 2009).

Tanaman yang mengalami gangguan atau stress baik akibat kerusakan mekanis atau infeksi jamur, bakteri, virus termasuk nematoda, dapat menstimulasi metabolisme senyawa fenolat. Senyawa fenolat yang dibentuk sebagai respon tanaman yang mengalami luka pada umumnya ditunjukkan oleh peningkatan sintesis turunan-turunan asam sinamat, yaitu asam klorogenat dan asam kafeat (Fitriyanti dkk, 2009).

Secara umum asam klorogenat asam kafeat berfungsi menahan serangan mikroorganisme yang merupakan prekursor lapisan pelindung yang disintesis didekat kerusakan dan prekursor dalam biosintesis lignin. Lignin adalah salah satu komponen dinding sel yang penting untuk memberikan ketahanan pada tanaman. Asam klorogenat dibutuhkan tanaman dalam proses lignifikasi (Fitriyanti dkk, 2009).

Menurut hasil penelitian Fitriyanti dkk, (2009) tentang mekanisme ketahanan kentang terhadap nematoda sista kuning (*G. rostochiensis* (Wollenweber)), bahwa lignifikasi yang lebih intensif pada jaringan akar menyebabkan nematoda yang berada didalam jaringan tidak mampu berkembang dan menyelesaikan hidupnya dengan baik. Hal ini disebabkan nematoda tidak mampu mendegradasi dinding-dinding sel inang yang mengalami lignifikasi atau mungkin karena aktifitas daya racun senyawa prekursor lignin (asam klorogenat) (Fitriyanti dkk, 2009).

Asam klorogenat pada varietas Hertha terdeteksi pada umur 4, 5 dan 6 minggu setelah diinokulasi dengan *G. rostochiensis* (Wollenweber), sedangkan pada varietas Granola asam klorogenat terdeteksi pada umur 1 minggu setelah inokulasi, tapi tidak terdeteksi lagi pada minggu-minggu berikutnya dan baru terdeteksi lagi pada minggu ke-6. Asam klorogenat yang muncul berturut-turut selama 3 minggu menyebabkan varietas Hertha memiliki ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas Granola (Fitriyanti dkk, 2009).

Asam kafeat tidak terdeteksi pada varietas Hertha dan Granola, baik yang diinokulasi maupun yang tidak diinokulasi dengan *G. rostochiensis* (Wollenweber). Hal ini menunjukkan bahwa asam kafeat secara alami tidak terdapat pada kedua varietas kentang yang diuji, sehingga kemungkinann besar infeksi nematoda tidak merespon terbentuknya asam kafeat (Fitriyanti dkk, 2009).

Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh proses migrasi interseluler nematoda sista didalam jaringan akar kentang dalam menemukan *Initial Feeding Cell* atau sel-sel yang cocok untuk dimulainya pembentukan sinsitium. Adanya

kerusakan dimulai dari bagian korteks akar, endodermis dan meluas ke xilem yang merupakan bagian silinder vaskuler pada penampang melintang irisan jaringan akar kentang (Fitriyanti dkk, 2009).

2.3 Bakteri Endofit

2.3.1 Deskripsi

Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa merugikan tanaman tersebut atau memperoleh beberapa keuntungan lain dalam tanaman inangnya (Kado, 1992; Long dkk, 2003). Populasi bakteri endofit melimpah dan beragam. Bakteri endofit masuk ke dalam jaringan tanaman terutama melalui zona akar, bagian tanaman, seperti bunga, batang, dan kotiledon (Bacon dan Hinton 2006). Terdapat hampir 300.000 spesies tanaman yang ada di bumi ini, masing-masing tanaman merupakan inang dari satu atau lebih mikroba endofit (Zinniel dkk, 2003).

Bakteri endofit telah ditemukan di hampir setiap tanaman yang dipelajari, dimana mereka menjajah jaringan internal tanaman mereka dan dapat membentuk berbagai hubungan yang berbeda termasuk simbiosis, mutualistik, komensalistik dan tropobiotik. Umumnya endofit tampak mendiami rizosfer atau filosfer; Namun, beberapa dapat ditularkan melalui benih. Bakteri endofit dapat membantu pertumbuhan tanaman dan hasil dan dapat bertindak sebagai agen biokontrol (Ryan dkk. 2007)

Bakteri endofit ditemukan berasosiasi dengan sejumlah spesies tanaman, sebagian besar genus adalah bakteri tanah seperti *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Azospirillum* (Chanway, 1996; Zinniel dkk, 2003). Meskipun interaksi antara

bakteri endofit dan tanaman inang tidak sepenuhnya dipahami, namun banyak strain yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan resistensi terhadap patogen parasit (Hallmann, 1997 dalam Zinniel dkk, 2003). Produk alami yang dapat dimanfaatkan untuk potensi digunakan di bidang kedokteran, pertanian, atau industri (Ryan, 2007).

Mikroba endofit dapat hidup didalam jaringan tanaman pada fase tertentu dalam siklus hidupnya, dan mampu hidup dalam bentuk koloni dalam jaringan tanaman tanpa membahayakan inangnya. Secara alami bakteri endofit hanya terdapat dalam organ tanaman yang sehat dan umumnya bakteri endofit merupakan kelompok dari genus bakteri tanah, seperti *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus* dan *Azospirillum* (Thagavi dkk, 2005).

Menurut penelitian Long dkk (2003) dari hasil isolasi bakteri endofit dari akar tanaman kentang (*Solanum* sp.) didapatkan 73 isolat diuji lanjut dari karakteristik fenotipnya menjadi 15 kelompok subdevisi. Didominasi oleh bakteri gram negatif sebesar 59% dari jumlah seluruh isolat. Beberapa isolat diklasifikasikan dari uji pendahuluan, diantaranya diklasifikasikan kedalam anggota genus *Bacillus* dan *Pseudomonas fluorescent*. Dari 73 isolat diketahui 40 isolat diantaranya memiliki aktifitas antagonis melawan berbagai bakteri patogen tanaman.

2.3.2 Peranan terhadap Tanaman

Bakteri endofit dapat bersifat obligat atau pun fakultatif dalam mengkolonisasi inangnya. Meskipun bakteri ini memiliki kisaran inang yang luas, namun ada beberapa bakteri endofit yang hanya dapat berasosiasi dengan inang

dari famili tertentu. Simbiosis antara tanaman dengan bakteri endofit bersifat netral, mutualisme, atau komensalisme (Bacon dan Hinton 2006).

Bakteri endofit yang hidup di dalam jaringan tanaman yang tidak merugikan bagi tanaman tersebut dapat digunakan sebagai kandidat yang baik untuk pengendalian secara biologi bagi beberapa hama dan penyakit. Dan dapat berperan sebagai agen pengendali hayati jika bakteri telah berasosiasi dengan tanaman sebelum patogen menyerang tanaman tersebut (Bacon dan Hinton 2006).

Syamarlina dan Hanafi (2006) menyatakan bahwa bakteri endofit memiliki potensi menghasilkan senyawa bioaktif yang sama dengan inangnya bergantung dari potensi yang dimiliki oleh tanaman tersebut. Sehingga dapat merangsang sistem pertahanan inang (Kobayashi dan Palumbo, 2000; Hartini, 2004).

Dalam hal ini, Alquran secara tegas menyebutkan bahwa apa yang ada di langit dan di bumi telah ditundukkan untuk manusia. Allah Swt. berfirman dalam Q.S Al Jatsiyah [45]: 13.

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُۥٓ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَآٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ



Artinya: *“Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berpikir.”* (Q.S Al Jatsiyah [45]: 13).

Pandangan Alquran menegaskan bahwa mempelajari dan mengamati fenomena makhluk hidup sangat dianjurkan. Hal itu ditunjukkan dengan ayat-ayat yang menyebut tentang fenomena tersebut disertai perintah untuk memperhatikan dan memikirkan. Makhluk hidup adalah bagian dari kekuasaan-Nya, maka sudah

seharusnya manusia berpikir agar dapat memahami, merasakan kebesaran, dan kehadiran Tuhan disetiap fenomena makhluk hidup, mengakui ke-Esaan dan segala kekuasaan-Nya yang tiada bandingannya, serta mensyukuri atas segala nikmat dan anugerah yang melimpah (Rossidy, 2008).

Sebagai manifestasi rasa syukur manusia (sebagai *Khalifah*) atas nikmat-Nya adalah dengan mengkaji fenomena tersebut agar dapat memahami, memanfaatkan dan melestarikan sesuai dengan tuntunan *Ilahi*, demi kemakmuran dan kesejahteraan di muka bumi (Rossidy, 2008).

Menurut Bacon dan Hinton (2006) cara kerja dari bakteri endofit adalah sebagai agen pengendali hayati diantaranya: memproduksi bahan campuran antimikroba, kompetisi ruang dan nutrisi; kompetisi mikronutrisi seperti zat besi dan produksi siderofor; serta dapat menyebabkan tanaman inang menjadi resisten. Fungsi dari bakteri ini merupakan suatu bukti bagi orang-orang yang berpikir bahwa Allah pun berkuasa untuk menundukkan ciptaan-Nya.

Beberapa bakteri endofit juga menghasilkan senyawa antibiotik seperti *phenazines*, *pyrolnitrin*, *pyococyanin*, dan *phloroglucianol* dan enzim ekstraselluler serta asam pseudomonat. Keanekaragaman spesies bakteri endofit merefleksikan banyaknya cara kerja yang mungkin terjadi untuk melawan patogen, yang memungkinkan patogen memproduksi senyawa antibiotik untuk melawan bakteri endofit tersebut (Bacon dan Hinton 2006).

Manfaat bakteri endofit diantaranya adalah sebagai agen biokontrol tanaman. Bakteri endofit sebagai agen biokontrol dapat dibagi menjadi dua kelompok (Hallmann, 2001 dalam Shiddiqui dan Shaukat, 2003):

- (1) Strain yang berada dalam jaringan internal yang luas mengurangi invasi nematoda dalam jaringan tanaman sebagai relung (*niche*), antibiosis, atau keduanya;
- (2) Strain yang terutama menjajah didalam akar korteks merangsang mekanisme mekanisme pertahanan/perlawanan umum tanaman.

Menurut Ardiansyah (2007) mekanisme penghambatan mikroorganisme oleh senyawa antimikroba dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: (1) gangguan pada senyawa penyusun dinding sel, (2) peningkatan permeabilitas membran sel yang dapat menyebabkan kehilangan komponen penyusun sel, (3) menginaktivasi enzim, dan (4) destruksi atau kerusakan fungsi material genetik.

Li dkk, (2002) juga melaporkan bahwa metabolit dari kultur filtrat bakteri endofit *Bulkholderia ambifaria* isolat dari akar tanaman jagung, dapat menghambat penetasan telur dan mobilitas dari juvenil II *M. incognita*. Filtrat ini mengandung aktifitas enzim kitinase dan protease..

2.3.3 Konsep Pertumbuhan Bakteri

Setiap spesies mikroorganisme akan tumbuh dengan baik di dalam lingkungan selama kondisi menguntungkan bagi pertumbuhan dan untuk mempertahankan diri. Begitu terjadi perubahan fisik atau kimiawi, seperti misal nutrisi habis atau terjadinya perubahan radikal dalam hal suhu, pH, keragaman yang luas dalam merespon oksigen bebas, fotoautotrofik (fotosintetik), pengaruh tekanan osmotik dan tekanan hidrostatik yang membuat kondisi bagi pertumbuhan spesies lain lebih menguntungkan, maka organisme yang telah teradaptasi dengan baik yang dapat bertahan hidup di dalam kondisi yang baru itu.

Dengan demikian faktor-faktor lingkungan memiliki pengaruh selektif, artinya, memilih populasi mikroba (Pelczar, 1986).

Pertumbuhan jasad hidup dapat ditinjau dari dua segi, yaitu pertumbuhan secara individu dan pertumbuhan secara kelompok dalam satu populasi. Pertumbuhan individu diartikan sebagai adanya penambahan volume sel serta bagian-bagian lainnya dan diartikan pula sebagai penambahan kuantitas isi dan kandungan di dalam selnya (Suriawiria, 2005).

Cara khas reproduksi bakteri ialah pembelahan biner melintang, satu sel membelah diri menghasilkan dua sel. Jadi bila kita mulai dengan satu bakteri tunggal, maka produksi bertambah secara geometrik:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 2^2 \rightarrow 2^3 \rightarrow 2^4 \rightarrow 2^5 \dots 2^n$$

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 32$$

Selang waktu yang dibutuhkan bagi sel untuk membelah diri atau populasi menjadi dua kali lipat dikenal sebagai waktu generasi. Tidak semua spesies bakteri memiliki waktu generasi yang sama (Pelczar, 1986).

Konsep pertumbuhan bakteri sebagai salah satu dari sekian banyak ciptaan Allah Swt tercantum dalam Alquran QS. Al Qamar [54]: 49-50.

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾ وَمَا أَمْرُنَا إِلَّا وَاحِدَةٌ كَلَمْحٍ بِالْبَصَرِ ﴿٥٠﴾

Artinya: “*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran (49) dan perintah Kami hanyalah satu Perkataan seperti kejapan mata (50)*”(QS. Al Qamar [54]: 49-50).

Menurut tafsir Al-Mishbah, kata *qadar* pada ayat tersebut berbicara tentang segala sesuatu yang berada dalam kuasa Allah, lebih tepat memahaminya dalam arti *ketentuan* dan *system yang ditetapkan terhadap segala sesuatu*. Tidak

hanya terbatas pada salah satu aspeknya saja. Ayat diatas menjelaskan salah satu ketentuan Allah menyangkut takdir dan pengaturan-Nya terhadap makhluk (Shihab, 2002).

Sayyid Quthub dalam tafsirnya Tafsir Al-Qurthubi tentang ayat tersebut memberikan sekian banyak contoh yang menyangkut pengaturan Allah itu serta keseimbangan yang dilakukannya antar makhluk. Sebagai contoh adalah kuman, dalam biologi dikatakan sebagi mikroba termasuk didalamnya adalah bakteri (Shihab, 2002)

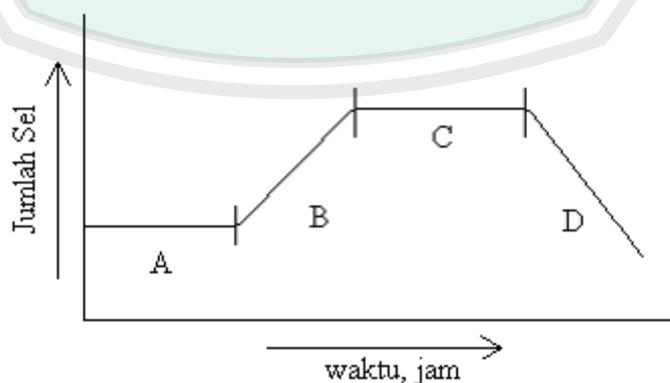
Makhluk ini adalah makhluk hidup yang terbanyak dan yang paling cepat berkembangbiak serta paling kuat membunuh. Namun dia adalah makhluk yang paling rendah kemampuannya dalam bertahan hidup dan paling singkat usianya. Jutaan yang mati karena udara dingin atau panas, atau cahaya dan lain-lain serta hanya sebagian kecil yang dapat mengalahkan manusia dan binatang. Seandainya kuman-kuman itu memiliki kemampuan bertahan yang lebih besar dari yang dimilikinya atau usianya lebih panjang, maka pastilah ia menghancurkan kehidupan dan makhluk hidup lainnya (Shihab, 2002).

Selanjutnya, dalam rangka *pengaturan* dan *kadar* yang ditetapkan Allah atas segala sesuatu itu, kita melihat bahwa setiap makhluk hidup diberi senjata untuk membentengi dirinya dalam melawan serangan musuh-musuhnya atau menghindari bahaya dari kepunahannya. tidak satupun yang Allah ciptakan sia-sia atau tanpa tujuan yang benar dan kesemuanya diberi potensi yang sesuai dan dengan kadar yang cukup untuk melaksanakan fungsinya, semuanya saling berkait dan menunjang dalam satu keseimbangan (Shihab, 2002).

Pada mikroba pertumbuhan dapat berubah langsung menjadi pertumbuhan populasi. Hal ini dikarenakan kecepatan pertumbuhan yang tinggi. Sehingga batas antara pertumbuhan sel sebagai individu serta satu kesatuan populasi yang kemudian terjadi sulit diamati dan dibedakan (Suriawiria, 2005).

Bila digunakan jumlah teoritis, bakteri memiliki berbagai interval waktu dan kemudian memetakan data tersebut dengan dua cara, yaitu logaritma jumlah bakteri terhadap waktu dan jumlah bakteri terhadap waktu, maka akan diperoleh satu kurva pertumbuhan bakteri.

Pertumbuhan mikroorganisme misalnya bakteri meliputi suatu siklus hidup dengan beberapa fase kehidupan yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stationer, dan fase kematian. Fase lag atau fase penyesuaian adalah tahap kehidupan bakteri untuk menyesuaikan diri terhadap lingkungan hidupnya. Fase ini dipengaruhi oleh medium dan lingkungan pertumbuhan (adaptasi tidak terjadi jika medium dan lingkungan baru sama dengan medium dan lingkungan awal) dan jumlah inokulum (jumlah awal sel yang semakin tinggi akan mempercepat adaptasi) (Gamal *et. al.*, 2010).



Gambar 2.12 Kurva pertumbuhan bakteri yang khas: (A) Fase Lamban (B) Fase Log (Logaritma) (C) fase Statis (D) Fase Kematian atau Penurunan (Palczar, 2005)

Fase eksponensial adalah tahap aktif sel membelah diri dengan cepat dan konstan. Kecepatan pertumbuhan dalam fase ini dipengaruhi pH, kandungan nutrisi, suhu, dan kelembaban udara. Fase ini membutuhkan energi yang lebih banyak dibanding fase lainnya karena aktifnya metabolisme sel (Gamal dkk, 2010).

Fase stasioner adalah tahap sel berada dalam jumlah yang tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil karena sel tetap membelah meskipun zat nutrisi sudah habis sehingga komposisi sel pun berbeda dengan fase eksponensial. Sel-sel pada fase ini lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan kimia (Gamal dkk, 2010).

Fase kematian adalah tahap sebagian populasi mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu nutrisi dalam medium dan energi cadangan di dalam sel sudah habis. Kecepatan kematian bergantung kondisi nutrisi, lingkungan, dan jenis mikroba. Empat fase ini dapat divisualisasikan dalam bentuk kurva yang disebut kurva tumbuh (Gamal dkk, 2010).

2.4 Filtrat

2.4.1 Pengertian Filtrat

Filtrat merupakan cairan yang lolos dari medium tersebut (penyaring) (Tranggono dan Sutardi, 1990). Penyaringan dilakukan untuk memisahkan antara biomassa dan filtratnya (Elfita dkk, 2010).

Alat saring yang digunakan harus memiliki pori-pori yang berukuran kecil agar endapan yang berukuran kecil dapat tersaring, namun alat saring tersebut

juga harus bisa dilewati oleh filtrat sebagai medium penyaring, dapat digunakan kain saring, anyaman kawat, dan anyaman plastik (Tranggono dan Sutardi, 1990).

2.4.2 Teknik Filtrasi

Filtrasi atau penyaringan adalah salah satu cara untuk memisahkan antar partikel padat dengan partikel cair termasuk gas. Pada penyaringan campuran yang terdiri atas partikel padat yang terdispersi dalam fase cair atau gas, dilewatkan dengan melalui medium berpori. Partikel padat yang tidak lolos pada pori-pori medium akan tertahan sedangkan cairan akan lolos melalui pori-pori medium tersebut (Tranggono dan Sutardi, 1990).

Metode filtrasi dibagi dalam 3 macam (Alkiswiyah, 2011):

1. Gravity Filtration

Pada umumnya teknik ini digunakan untuk memisahkan endapan pada larutan dengan suhu tinggi. Pemisahan ini sangat cocok untuk campuran heterogen dimana jumlah cairannya lebih besar dibandingkan partikel zat padatnya. Teknik ini menggunakan kertas saring sebagai alat saring untuk menjaga suhu pada filtrat agar tidak menguap dan menyebabkan uap tersebut ikut bercampur pada endapan.

2. Vacum Filtration

Vacuum filtration atau disebut juga filtrasi dengan pengurangan tekanan pada salahsatu sisi filter digunakan untuk menyaring larutan yang jumlah partikel padatnya lebih besar dibandingkan dengan cairannya, misalnya pengambilan Kristal hasil proses kristalisasi.

Filtrasi ini menggunakan corong Buchner atau corong Hirsch. Teknik ini tidak membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dilakukan tidak seperti teknik *gravity filtration*, karena pelarut atau larutan dan udara mendapatkan tekanan yang lebih agar cepat masuk melalui filter.

3. Ultra filtrasi

Ultra filtrasi merupakan metode filtrasi dengan memanfaatkan tekanan hidrostatik untuk memisahkan campuran dengan menggunakan membran semi permeabel. Padatan yang tersuspensi dan cairan yang memiliki berat molekul yang besar tidak akan tersaring, sedangkan air dan cairan yang memiliki berat molekul yang kecil akan tersaring. Proses penyaringan ini biasanya digunakan dalam industri dan penelitian untuk memisahkan makromolekular (103 - 106 Da), contohnya larutan protein.