

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Kentang

Kentang ditanam di lebih banyak negara daripada tanaman yang lain, kecuali tanaman jagung, dan merupakan satu- satunya tanaman umbi yang diproduksi dalam jumlah besar di negara- negara maju. Kentang menempati tempat keempat terpenting di antara tanaman pangan utama dan peringkat pertama di dalam daftar energi yang dapat dimakan (Setiadi, 2003).

Banyak kendala penyebab rendahnya tingkat produktivitas kentang, salah satunya adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Salah satu OPT yang telah terbukti penting untuk ditangani adalah nematoda parasit tanaman (Hadisoeganda, 1990 dalam Hadisoeganda, 2006).

3.1.1 Klasifikasi Tanaman Kentang

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Kelas : Dicotyledoneae

Ordo : Tubiflorae

Famili : Solanaceae

Genus : Solanum

Spesies : *Solanum tuberosum* (Setiadi, 2003)

3.1.2 Deskripsi Tanaman Kentang

Kentang merupakan tanaman setahun, bentuk sesungguhnya menyemak dan bersifat menjalar. Batangnya berbentuk segi empat, panjangnya bisa mencapai 50- 120 cm, dan tidak berkayu (tidak keras apabila dipijat). Batang dan daun berwarna kemerah-merahan atau keunguan. Bunganya berwarna kuning keputihan atau ungu, tumbuh di ketiak daun teratas, dan berjenis kelamin dua. Benang sarinya berwarna kekuning-kuningan dan melingkari tangkai putik.

Tentang morfologi tumbuhan ini telah dijelaskan dalam al-Qur'an, dalam surat Al-An'am : 99

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا مَخْرُجًا مِنْهُ
حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ
مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۗ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ



Artinya : dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan Maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman (Al-An'am : 99).

Ayat di atas menyebutkan tentang berbagai macam tumbuhan dan bagian-bagiannya, dimana perbedaan morfologi tumbuhan satu dengan

tumbuhan yang lain jelas terlihat, baik dari tangkainya maupun buahnya. Demikian juga tanaman kentang ini tentu saja memiliki morfologi tersendiri yang berbeda dengan tanaman lain. Buah tanaman kentang berbentuk buni, buah yang kulit/ dindingnya berdaging, dan mempunyai dua ruang. Di dalam buah berisi banyak calon biji dan jumlahnya bisa mencapai 500 biji. Akan tetapi, dari jumlah tersebut yang berhasil menjadi biji hanya sekitar 100 biji saja, bahkan ada yang hanya puluhan biji saja, jumlah ini tergantung dari varietas kentangnya.

Akar menjalar dan berukuran sangat kecil bahkan sangat halus. Akar ini berwarna keputih-putihan. Kedalaman daya tembusnya bisa mencapai 45 cm. Namun, biasanya akar ini banyak yang mengumpul di kedalaman 20 cm. Selain mempunyai organ-organ tersebut, kentang juga mempunyai organ umbi. Umbi tersebut berasal dari cabang samping yang masuk ke dalam tanah. Cabang ini merupakan tempat menyimpan karbohidrat sehingga membengkak dan bisa dimakan. Umbi bisa mengeluarkan tunas dan nantinya akan membentuk cabang-cabang baru (Setiadi, 2003).

3.1.3 Kandungan gizi Kentang

Perintah makan makanan yang halal dan bergizi telah diisyaratkan dalam Al-Quran, dengan begitu pantaslah apabila tanaman kentang ini dibudidayakan dan dirawat. Berikut ayat yang menerangkan tentang perintah memakan makanan halal dan bergizi, yaitu surat Al-Maidah; 88.

وَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا ۗ وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي أَنْتُمْ بِهِء مُؤْمِنُونَ ﴿٨٨﴾

Artinya : *Dan makanlah makanan yang halal lagi baik dari apa yang Allah telah rezekikan kepadamu, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepada-Nya (al-maidah; 88).*

Kentang dapat dikatakan halal dan bergizi karena kentang sebagai salah satu sumber karbohidrat dan berpotensi besar untuk menunjang program diversifitas pangan. Kentang tidak mengandung kolesterol dan lemak, akan tetapi mengandung karbohidrat, sodium, serat diet, protein, vitamin A, vitamin C tinggi (sebesar $\pm 50\%$), kalsium, zat besi, dan vitamin B6 yang cukup tinggi dibanding beras. Kandungan gizi dari tiap 100 gr kentang kentang bersih dapat dimakan, adalah sebagai berikut: protein 2 gr, lemak 0,1 gr; karbohidrat 19,1 gr, vitamin A sedikit sekali atau diabaikan, vitamin B1 0,085 gr; vitamin B2 0,04 gr; vitamin C 17- 25 mg, fosfor 60 mg; besi 0,8 mg; kalsium 10 mg, air 77,8 gr; kalori 80- 83 kal, dan bagian yang dapat dimakan 85% (Warnita, 2007 : 94).

3.1.4 Kondisi lingkungan tanaman kentang

Tanaman kentang tergolong jenis tanaman yang tidak bisa tumbuh di sembarang tempat. Berikut beberapa faktor lingkungan syarat tumbuh tanaman kentang :

1. Iklim

Tentang iklim dan tentang pergantian siang malam, menjadi sebuah tanda bagi kelangsungan hidup makhluk hidup. Disebutkan dalam Al-Quran surat Al-Mukminun: 80

وَهُوَ الَّذِي تَحْيِي ۚ وَيُمِيتُ ۖ وَهُوَ الَّذِي أَحْتَلِفُ أَلْيَلٍ وَالنَّهَارِ أَفَلَا تَعْقِلُونَ ﴿٨٠﴾

Artinya : *Dan Dialah yang menghidupkan dan mematikan, dan Dialah yang (mengatur) pertukaran malam dan siang. Maka Apakah kamu tidak memahaminya? (almukminun: 80).*

Ayat tersebut menjelaskan kekuasaan Allah bahwa siang dan malam itu bisa menjadi tanda kehidupan bagi makhluk hidup, seperti halnya tanaman kentang yang tumbuh di daerah yang berhawa dingin atau sejuk. Suhu udara yang ideal untuk kentang berkisar antara 15- 18°C pada malam hari dan 24- 30°C pada siang hari. Kentang dapat tumbuh subur di daerah pegunungan dengan ketinggian 500- 3000 m dpl sedangkan ketinggian yang ideal bagi tumbuhnya tanaman kentang adalah berkisar antara 1000- 1300 m dpl dengan Curah hujan 1500 mm per tahun (Setiadi, 2003).

2. Keadaan tanah

Tanah yang paling baik bagi pertumbuhan kentang adalah tanah yang gembur atau sedikit mengandung pasir agar mudah diresapi air dan mengandung humus tinggi. Jenis tanah andosol (Tan 1965 dalam Hadisoeganda, 2006), sifatnya sangat berpori dan horizon Aberstruktur remah atau granular (Hadisoeganda, 2006). Kelembaban tanah yang cocok untuk umbi kentang adalah 70%. Kelembaban tanah yang lebih dari 70% menyebabkan kentang mudah terserang penyakit busuk batang/ leher akar (Setiadi, 2003).

3. Kandungan hara esensial dalam tanah

Unsur hara merupakan salah satu factor yang menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman kentang yang optimal (Parman,

2007). Tanaman tidak dapat tumbuh dengan sempurna bahkan bisa mengakibatkan kematian apabila kekurangan unsur hara esensial dalam tanah. Unsur hara esensial sangat penting karena digunakan tumbuhan untuk melengkapi siklus hidupnya, saat tanaman mengalami defisiensi dapat diperbaiki dengan unsur tersebut. Selain itu, unsur hara harus terlibat langsung dalam penyediaan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman (Hanafiah, 2005).

2.2 Kebutuhan Tanaman akan Unsur Hara

Setiap tanaman memerlukan paling sedikit 16 unsur agar pertumbuhannya normal. Dari ke-16 unsur tersebut, 3 unsur (karbon, hydrogen, dan oksigen) diperoleh dari udara, sedangkan 13 unsur lagi disediakan oleh tanah. Ke-13 unsur tersebut adalah sebagai berikut : nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur atau belerang (S), klor (Cl), ferum atau besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), boron (B), dan Molibdenum (Mo). Dari ke-13 unsur tersebut hanya 6 yang yang diambil oleh tanaman dalam jumlah banyak.

Allah menerangkan dalam ayat-Nya tentang kebutuhan tanaman akan unsur hara tersebut, yaitu pada surat Yasin : 33

وَأَيُّهُمْ هُمُ الْأَرْضُ الْمَيِّتَةُ أَحْيَيْنَاهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴿٣٣﴾

Artinya : *Dan suatu tanda (kekuasaan Allah yang besar) bagi mereka adalah bumi yang mati. Kami hidupkan bumi itu dan Kami keluarkan dari padanya biji-bijian, Maka daripadanya mereka makan (yasin; 33)*

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah menghidupkan tanah yang mati. Setelah dikaji, Allah menghidupkan tanah yang mati yaitu dengan diberikannya unsur hara ke dalamnya. Dengan adanya unsur hara tanah memiliki kondisi fisik, kimia dan biologis yang optimal untuk produksi tanaman dan memiliki kemampuan untuk menjaga kesehatan tanaman serta kualitas ekosistem yang mencakup air dan tanah (Hindersah, 2004).

Tanah adalah salah satu faktor penentu di dalam menghasilkan tanaman. Unsur hara yang terkandung di dalam tanah adalah sebagai bagian dari makanan tanaman dan punya dampak untuk kelangsungan hidupnya. Di samping itu, tanah juga mempunyai dampak yang tidak langsung bagi kehidupan manusia dan binatang (Allam, 2005). Tanah menjadi sebagai bagian dari makanan tanaman karena tanaman akan hidup dengan adanya unsur hara yang ada di dalam tanah.

Unsur yang dibutuhkan dalam jumlah banyak disebut unsur makro. Keenam unsur tersebut adalah N, P, K, C, S, Ca, dan Mg. dari ke-6 unsur tersebut yang mutlak harus ada ialah N, P, dan K sedangkan ketiga unsur yang lain boleh ada boleh tidak meski dibutuhkan dalam jumlah banyak (Marsono, 2007). Nitrogen merupakan salah satu unsur penting untuk semua organisme. Keberadaannya dalam struktur komponen asam-asam amino (enzim dan protein), nukleotida, porpirin, alkaloid, dan beberapa lipid (Nielsen, 2006 dalam Suharno, 2007). Dalam berbagai ekosistem unsur ini sangat penting karena membatasi pertumbuhan (Hikosaka, 2005 dalam

Suharno, 2007). Nitrogen diabsorpsi sebagai NO_3^- , dan diasimilasikan menjadi asam amino dan didesain untuk membentuk protein.

Unsur P termasuk unsur hara utama setelah N dan merupakan factor pembatas dalam pertumbuhan. Unsur P sangat berperan dalam transfer energy, yaitu bagian dari ATP, ADP, penyusunan protein, koenzim, asam nukleat, dan senyawa- senyawa metabolic lain. Unsur hara P total di dalam tanah jumlahnya sedikit dan sebagian ($\pm 70\%$) terdapat dalam keadaan tidak tersedia bagi tanaman. Fosfat dalam tanah baru dapat digunakan oleh tumbuhan apabila dilarutkan oleh mikroorganisme tanah.

Kalium merupakan pengaktif dari sejumlah besar enzim yang penting fotosintesis dan respirasi. Kalium mengaktifkan enzim yang diperlukan untuk membentuk pati dan protein. Unsur ini berlimpah jumlahnya sehingga menjadi penentu utama potensial osmotik sel (Salisbury, 1995). Unsur-unsur tersebut mutlak dibutuhkan tanaman untuk kelangsungan hidupnya, bila ketersediannya dalam tanah sangat kurang, tanaman akan menunjukkan gejala defisiensi yang spesifik; dan Fungsi fisiologis unsur tersebut tidak dapat digantikan oleh unsur lain (Setijono, 1996).

2.3 Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Nama nematoda sista berasal dari tubuh betina yang menggelembung dengan kutikula tebal dan keras apabila nematoda mati dan tetap berada di dalam sebagai sista yang mengandung embrio (Dropkin, 1991). Nematoda hidup di daerah subtropik dan tropik yang berhawa sejuk (Michel, 1995).

Nematoda Sista Kentang (*Globodera rostochiensis*) atau *potato cyst nematode* adalah hama kentang terpenting yang perlu ditangani. Di Indonesia *G. rostochiensis* merupakan patogen baru pada tanaman kentang yang pertama kali ditemukan pada bulan Maret tahun 2003 di Jawa Timur dengan jumlah sista 1-211 sista/100 g tanah. Dari hasil survey di daerah tersebut, *G. rostochiensis* dapat menurunkan hasil antara 32 %-71 % (Natasasmita, 2006).

2.3.1 Klasifikasi Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Kingdom	: Animalia
Filum	: Nematoda
Kelas	: Secernetea
Subkelas	: Diplogasteria
Ordo	: Tylenchida
Family	: Heteroderidae
Genus	: Globodera
Spesies	: <i>G. Rotochiensis</i> (Ferris, 2008).

2.3.2 Morfologi Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Al-Qur'an banyak memberikan isyarat tentang morfologi hewan. Semua itu hanya mampu dipahami secara lebih gamblang bagi orang yang mau memikirkan. Salah satu ayat yang mengisyaratkan morfologi hewan adalah dalam surat Al-An'am : 38

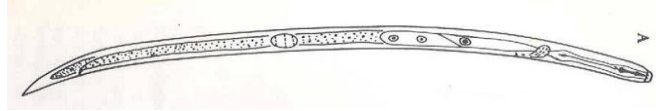
وَمَا مِنْ دَابَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا طَيْرٍ يَطِيرُ بِجَنَاحَيْهِ إِلَّا أُمَمٌ أَمْثَالُكُمْ ۚ مَا فَرَّطْنَا فِي الْكِتَابِ مِنْ شَيْءٍ

ثُمَّ إِلَىٰ رَبِّهِمْ يُحْشَرُونَ ﴿٢٨﴾

Artinya: Dan tiadalah binatang-binatang yang ada di bumi dan burung-burung yang terbang dengan kedua sayapnya, melainkan umat (juga) seperti kamu. Tiadalah Kami alpakan sesuatupun dalam Al-Kitab, kemudian kepada Tuhanlah mereka dihimpunkan

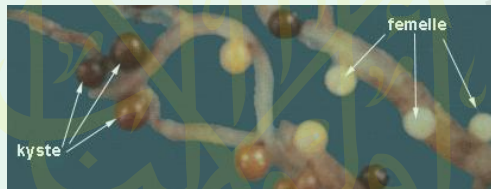
Ayat tersebut menyebutkan binatang yang ada di bumi dan burung yang terbang di udara dengan kedua sayap. Ini sebuah gambaran fenomena morfologi yang menunjukkan adanya perbedaan antar hewan dengan dasar struktur luar tubuhnya. Bagi burung disebutkan memiliki sayap, sebuah organ yang tidak dimiliki oleh hewan lain (Rossidy, 2008). Begitu juga nematoda sista kuning (*G. rostochiensis*) yang tentu saja memiliki morfologi yang berbeda dengan makhluk lainnya.

Larva *G. rostochiensis* memiliki morfologi yang khas 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, bagian ekor yang berbentuk hialin sekitar dua pertiga bagian dari panjang ekor (Gambar 2.1). Jantan dewasa memiliki ekor yang memendek tanpa bursa (*caudal alae*). Testisnya tunggal, memiliki sepasang spikula, dan gubernakulum membulat (Hirschmann 1982 dalam Hadisoeganda, 2006).



Gambar 2.1 Larva *Globodera rostochiensis* (Ferris, 2008).

Sista *G. Rostochiensis* (NSE) berbentuk bulat, sista muda berwarna khusus yaitu kuning emas, setelah menua warna berubah menjadi kuning tua, coklat muda, dan coklat gelap (Gambar 2.2). Sidik pantat memiliki kerut kulit lebih besar dan bersatu (*large and coalesced*), daerah vulva (*vulval area*) fenestrasinya tunggal (*circum fenestrated*), bonggol stilet (*stylet knob*), membulat condong ke belakang (*sloped posteriorly*) (Hadisoeganda, 2006).



Gambar 2.2 Sista *G. Rostochiensis* (Ferris, 2008).

2.3.3 Biologi Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Kehidupan *G. rostochiensis* ini merupakan salah satu gambaran dari ciptaan Allah. Semua makhluk hidup tercipta dengan memiliki biologi atau kehidupan tersendiri yang membedakannya dengan makhluk lainnya. Keragaman biologi makhluk hidup digambarkan dalam Al-Qur'an dalam surat An-nur : 45

وَمِنْهُمْ رَجُلَيْنِ عَلَى يَمْسِيٍّ مِّنْ وَمَنْهُمْ بَطْنِيهِ عَلَى يَمْسِيٍّ مِّنْ فَمِنْهُمْ مَّاءٍ مِّنْ دَابَّةٍ كُلِّ خَلْقٍ وَاللَّهُ قَدِيرٌ شَيْءٍ كُلِّ عَلَى اللَّهِ إِنَّ يَشَاءُ مَا اللَّهُ يُخَلِّقُ أَرْبَعٍ عَلَى يَمْسِيٍّ مِّنْ

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 (An-nur : 45).*

Ayat tersebut menyebutkan keadaan biologi dari beberapa ciptaan Allah yaitu dengan terciptanya hewan yang berjalan di atas perutnya dan sebagian berjalan dengan dua kaki sedang sebagian (yang lain) berjalan dengan empat kaki. Sedangkan nematoda sista kuning (*Globodera rostochiensis*) tercipta dengan berjalan menggunakan perutnya, dan makan dengan menggunakan styletnya. Pengamatan tentang biologi ini sangat penting dan berguna bagi manusia. Karena dengan diketahuinya biologi nematoda sista kuning (*Globodera rostochiensis*), maka dapat diketahui cara mengatasi serangan *G. rostochiensis* tersebut.

Nematoda sista adalah nematoda endoparasitik yang khas yang mampu beradaptasi untuk dapat tetap hidup lama hingga 15 tahun di dalam tanah tanpa tanaman inangnya. Larva nematoda mengalami pergantian kulit yang pertama di dalam telur, sebelum telur menetas. Apabila nematoda betina mati, telur- telur yang sudah mengandung embrio tetap berada di dalam tubuh hingga mendapat rangsangan dari eksudat akar. Larva nematoda menjadi aktif pada suhu 10°C dan invansi maksimum ke dalam akar terjadi pada suhu 16°C (Dropkin, 1991).

Telur yang telah mendapat rangsangan oleh eksudat akar akan masuk ke dalam akar dalam bentuk larva, larva bergerak di dalam jaringan akar

sampai beberapa hari, hingga menemukan suatu lokasi dekat jaringan angkut. Pada lokasi tersebut nematoda membentuk suatu formasi yang merupakan tempat nematoda makan. Larva stadium kedua membengkak dan menjadi stadium dewasa setelah mengalami tiga kali pergantian kulit. Ketika nematoda betina berkembang dalam jaringan, maka jaringan di sekeliling nematoda betina rusak dan sebagian tubuh nematoda betina muncul pada permukaan akar, sedangkan bagian kepala dan lehernya yang masih tetap berada di dalam jaringan akar pada posisi makan.

Nematoda jantan menyelesaikan perkembangannya di dalam waktu yang tepat untuk melakukan perkawinan dengan betina dewasa yang baru terbentuk yang berada pada permukaan akar (Dropkin, 1991). Nematoda sista kentang pada umumnya dapat menyelesaikan satu generasinya selama musim tanam (Michel, 1995).

2.3.4 Patologi Nematoda Sista Kuning (*Globodera rostochiensis*)

Larva yang invektif meninggalkan jejak jaringan yang rusak, bergerak dan menembus jaringan korteks akar menuju ke tempat makanan yang berada di dekat atau di dalam stele. Di tempat tersebut sel-selnya membengkak dan dinding selnya sebagian melebur dan terjadinya *sinsitium* yang merupakan gabungan antar sel-sel. Sel-sel tersebut menunjukkan adanya tanda-tanda metabolisme yang aktif; tampak adanya inti sel yang membesar, sitoplasmanya tumbuh dan jumlah organelnya meningkat.

Nematoda makan hanya pada satu posisi, dengan jalan menghisap isi sel pada salah satu ujung sinitium (Dropkin, 1991).

Tanaman yang terserang nematoda tidak terdapat gejala spesifik yang mempunyai nilai diagnostik pada bagian tanaman di atas permukaan tanah yang berasosiasi dengan infeksi nematoda sista kentang. Walaupun demikian kerusakan akar menyebabkan stress dan berkurangnya penyerapan air dan hara sehingga tanaman jadi kerdil, berwarna kekuningan dan perubahan warna lain, serta daun- daun layu apabila kering (Michel, 1995).

Masak awal dan tumbuhnya akar samping yang banyak yang erat hubungannya dengan hubungannya nematoda. Nematoda betina yang berwarna putih dan sering dapat diamati pada permukaan akar tanaman kentang yang sedang berbunga. Nematoda betina dari *G. Rostochiensis* akan menjadi stadium yang berwarna kuning. Nematoda betina dapat diamati pada permukaan umbi kentang. Apabila nematoda betina mati akan menjadi sista, kutikulanya berwarna coklat atau berwarna seperti kulit dan berisi banyak telur sebanyak kurang lebih 500 butir (Michel, 1995).



Gambar 2.3 Tanaman kentang yang terkena serangan *Globodera rostochiensis* (Ferris, 2008).

2.4 Pupuk hayati

Istilah pupuk hayati digunakan sebagai nama kolektif untuk semua kelompok fungsional mikroba tanah yang dapat berfungsi sebagai penyedia hara dalam tanah, sehingga dapat tersedia bagi tanaman. Pupuk hayati dapat didefinisikan sebagai inokulan berbahan aktif organisme hidup yang berfungsi untuk menambat hara tertentu atau memfasilitasi tersedianya hara dalam tanah bagi tanaman. Memfasilitasi tersedianya hara ini dapat berlangsung melalui peningkatan akses tanaman terhadap hara (Simanungkalit, dkk, 2006). pemupukan secara hayati, yaitu dengan menginokulasi mikroba pemacu pertumbuhan (bakteri penambat nitrogen) pada benih/bibit atau tanah maupun keduanya pada tanaman (Purwaningsih, 2004).

Pengaruh inokulasi akan terlihat nyata apabila digunakan pada lahan yang mengandung unsur hara atau ketersediaan air rendah, sehingga inokulasi dapat mempercepat pemulihan lahan, mampu bersaing dan beradaptasi terhadap lingkungannya, serta cocok dengan tanaman inangnya (Yutono, 1985 dalam Purwaningsih, 2004).

Salah satu potensi mikroba yang belum banyak dimanfaatkan adalah *mikroba endofit*. Mikroba endofit adalah organisme hidup yang berukuran mikroskopis (bakteri dan jamur) yang hidup di dalam jaringan tanaman (*xylem* dan *phloem*), daun, akar, buah, dan batang (Tanaka *et al.*, 1999 dalam Rumella, 2007). Mikroba endofit hidup bersimbiosis saling menguntungkan, dalam hal ini mikroba endofitik mendapatkan nutrisi dari hasil metabolisme

tanaman dan memproteksi tanaman melawan herbivora, serangga, atau jaringan yang patogen sedangkan tanaman mendapatkan derivat nutrisi dan senyawa aktif yang diperlukan selama hidupnya (Tanaka *et al.*, 1999 dalam Rumella, 2007).

Keunggulan bakteri ini sebagai agens pengendali hayati yaitu mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan hormon pertumbuhan dan mengendalikan penyakit tumbuhan serta dapat menginduksi ketahanan tanaman (Harni, 2006). Bakteri endofit dapat menghambat perkembangan nematoda melalui antibiotik dan enzim pendegradasi yang dihasilkan oleh bakteri tersebut (Hallmann *et al.* 2001 dalam Mustika, 2005).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wardhani (2009) menunjukkan bahwa bakteri endofit yang berhasil diisolasi dari akar tanaman kentang, diantaranya yaitu : *Bacillus mycooides*, *Pseudomonas pseudomallei*, dan *Klebsiella ozaenae* dapat menghambat pertumbuhan larva *Globodera rostochiensis*. Masing- masing bakteri endofit memiliki nilai persentase kematian larva yaitu 87,70%; 78,44%; 58,66%.

Hasil dari penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Juwita (2010) menunjukkan Semua jenis isolat bakteri endofit yang diisolasi dari akar tanaman kentang (isolat bakteri tunggal *P. pseudomallei* , *B. mycooides*, dan *K. ozaenae*), maupun isolat kombinasi (*P. pseudomallei* dengan *K. ozaenae*; *P. pseudomallei* dengan *B. mycooides*; *B. mycooides* dengan *K. ozaenae*; dan kombinasi *P. pseudomallei*, *B. mycooides* dengan *K. ozaenae*) mampu

meningkatkan pertumbuhan tanaman kentang baik tinggi tanaman, berat basah dan berat kering tanaman, panjang akar dan berat kering akar.

2.5 Mekanisme kerja bakteri endofit

Mekanisme kerja bakteri endofit yaitu melalui penekanan diantaranya mengkolonisasi jaringan internal inang dan menempati relung ekologi seperti yang dibutuhkan oleh patogen, mengkolonisasi jaringan korteks dan menghasilkan metabolit yang dapat menekan perkembangan patogen serta menginduksi ketahanan tanaman. Kemampuan bakteri mengkolonisasi jaringan merupakan faktor penting dalam menekan perkembangan patogen. Proses kolonisasi akar oleh bakteri endofit sama dengan proses patogenesis bakteri patogen mengkolonisasi inang, yaitu kontak dengan permukaan akar, pengenalan, penetrasi, multiplikasi, dan kolonisasi (Hallmann 2001 dalam harni, 2007).

Mekanisme peningkatan pertumbuhan tanaman oleh bakteri endofit dapat terjadi dengan beberapa proses di antaranya melarutkan senyawa fosfat, fiksasi nitrogen (Thakuria *et al.* 2004), merangsang pertumbuhan akar lateral, dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin, dan sitokinin (Salamone *et al.* 2001). Secara tidak langsung, bakteri terlebih dahulu menekan pertumbuhan mikroorganisme pengganggu, yaitu *deleterious microorganisms* (DMO) melalui mekanisme kompetisi, predasi, dan antibiotik yang dihasilkannya (Klopper *et al.* 1991).

Kemampuan bakteri dalam melarutkan senyawa fosfat, fiksasi nitrogen (Thakuria *et al.* 2004) menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin, dan sitokinin (Salamone *et al.* 2001) merupakan hasil proses fisiologi dalam tubuh bakteri endofit dari hasil metabolisme sari-sari makanan yang dimakan olehnya. Salah satu fenomena hasil proses fisiologi yang sangat bermanfaat bagi manusia digambarkan dalam Al-Qur'an dalam surat An-Nahl : 69

ثُمَّ كُلِي مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سُبُلَ رَبِّكِ ذُلُلًا ۗ تَخْرُجُ مِنْ بَطُونِهَا شَرَابٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ فِيهِ شِفَاءٌ لِلنَّاسِ ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿٦٩﴾

Artinya : *Kemudian makanlah dari tiap-tiap (macam) buah-buahan dan tempuhlah jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu). Dari perut lebah itu ke luar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang memikirkan.*

Ayat tersebut menyatakan bahwa adanya madu dalam tubuh lebah yang bisa menjadi pelajaran. Mengambil pelajaran adanya lebah ini berarti juga mengkaji tentang peristiwa yang melatar belakangi kemampuan bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kentang dengan hasil fisiologi yang dihasilkannya yaitu melarutkan senyawa fosfat, fiksasi nitrogen, menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin, dan sitokinin.

Kemampuan bakteri endofit selain meningkatkan pertumbuhan tanaman kentang, bakteri endofit juga mampu menekan populasi nematoda

cukup tinggi. Terjadinya penekanan populasi nematoda yang tinggi oleh isolat-isolat bakteri endofit tersebut, diduga disebabkan oleh metabolit sekunder, enzim kitinase, dan protease yang dihasilkannya. Enzim ini dapat digunakan langsung oleh bakteri untuk mendegradasi dinding sel patogen.

Enzim kitinase merupakan enzim penting yang dihasilkan bakteri endofit untuk mengendalikan nematoda karena enzim ini dapat mendegradasi lapisan tengah telur nematoda seperti *M. javanica*, *R. reniformis*, *Tylenchulus semipenetrans*, dan *Pratylenchus minyus* (Tian *et al.* 2000 dalam Harni, 2007) dan lapisan luar telur *Heterodera schachtii* dan *H. glycines* (Perry & Trett 1986 dalam Harni, 2007).

Hasil dari penelitian Harni, *et al.* (2007) akar yang diberi perlakuan dengan bakteri endofit lebih berat dibandingkan dengan akar yang diinokulasi dengan nematoda. Rendahnya berat akar yang diinokulasi nematoda, disebabkan oleh kerusakan akibat penusukan stilet dan sekresi enzim yang dikeluarkan nematoda sewaktu nematoda makan. Begitu juga hasil dari penelitian Juwita (2010) Semua jenis isolat bakteri endofit yang diisolasi dari akar tanaman kentang (isolat bakteri tunggal *P. pseudomallei*, *B. mycooides*, dan *K. ozaenae*), maupun isolat kombinasi (*P. pseudomallei* dengan *K. ozaenae*; *P. pseudomallei* dengan *B. mycooides*; *B. mycooides* dengan *K. ozaenae*; dan kombinasi *P. pseudomallei*, *B. mycooides* dengan *K. ozaenae*) yang diaplikasikan memiliki kemampuan dalam menghambat serangan nematoda sista kuning (*Globodera rostochsiensis*).

Adanya bakteri endofit dalam tanaman kentang, tanaman kentang dapat tumbuh dengan optimal karena bakteri endofit dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tumbuhan yang ditempatinya dengan kemampuannya menambat nitrogen dan melarutkan fosfat, dan mampu menekan populasi nematoda yang cukup tinggi. Bakteri endofit pun dapat memenuhi kebutuhan hidupnya di dalam tubuh tumbuhan dengan menyerap sari-sari makanan di dalamnya. Maha Benar Allah yang berfirman tentang kebutuhan makhlukNya akan tumbuhan dalam surat Al- Sajdah : 27

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا نَسُوقُ الْمَاءَ إِلَى الْأَرْضِ الْجُرُزِ فَنُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا تَأْكُلُ مِنْهُ أَنْعَامُهُمْ وَأَنْفُسُهُمْ
 أَفَلَا يُبْصِرُونَ ﴿٢٧﴾

Artinya :*Dan apakah mereka tidak memperhatikan, bahwasanya kami menghalau (awan yang mengandung) air ke bumi yang tandus, lalu kami tumbuhkan dengan air hujan itu tanaman yang daripadanya makan hewan ternak mereka dan mereka sendiri. Maka apakah mereka tidak memperhatikan?*

Ayat ini menerangkan bagaimana Allah menumbuhkan tumbuhan dengan diturunkannya hujan. Tanaman inilah yang menjadi sumber makanan bagi manusia, hewan-hewan, begitu juga bakteri endofit yang mendapatkan makanannya dari dalam tubuh tumbuhan.

Bakteri endofit adalah mikroorganisme yang sebagian atau seluruh dari siklus hidupnya tinggal dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan gejala penyakit. Tanaman mendapatkan manfaat dengan kehadiran bakteri endofit ini seperti memacu pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan resistensi tanaman pada dari berbagai macam patogen dengan memproduksi

antibiotik. Endofit juga memproduksi metabolit sekunder yang sangat penting bagi tumbuhan (Bandara dkk, 2006).

2.6 Pembuatan Pupuk hayati

Menurut Weller dan Cook, 1983 dalam Purwantisari (2009) bahwa untuk menstabilkan efektifitas suatu agensia hayati, agensia hayati tersebut harus diformulasikan. Formulasi ini bertujuan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan suatu agen hayati dan juga mendukung sintasan hidup (*survival*) walaupun berumur 18 bulan (Ratih, 2007). Formulasi inilah yang digunakan sebagai pupuk hayati.

Pada umumnya bakteri membutuhkan nutrisi yang maksimum untuk pertumbuhan, dimana karbon merupakan nutrisi terbesar yang diperlukan bakteri yaitu sebesar 50% dari total nutrisi yang dibutuhkan. Nutrisi utama bagi pertumbuhan mikroba adalah sumber karbon, nitrogen, mineral, terutama fosfat. Berbagai sumber makanan yang bersifat organik atau anorganik baik yang merupakan senyawa sederhana maupun senyawa kompleks tersedia di alam. Pemilihan sumber makanan untuk memproduksi enzim sangat tergantung dari jenis mikroorganisme (Widhiastuti, 2002).

Salah satu bahan yang telah teruji untuk formulasi bakteri adalah larutan 1% molase dalam 20 ml limbah tahu. Molase dan limbah tahu mengandung karbon, nitrogen, dan mangan. Gibs (1993) dalam Ratih (2007) menyatakan bahwa kultur tumbuh yang optimum untuk bakteri mengandung garam- garam mineral. Untuk pertumbuhan, bakteri menggunakan garam

mineral di antaranya yang mengandung ion besi dan mangan. Mineral besi dan mangan merupakan kofaktor enzim yang digunakan untuk metabolisme glutamate, ammonia, dan pembentukan enzim glutamine sintase yang memicu pembentukan senyawa metabolit yang bermanfaat untuk antagonisme. Jika tersedia ammonia dan glutamin tetapi tidak tersedia kofaktor besi dan mangan, maka pembentukan enzim glutamine sintetase tertekan senyawa metabolit tidak terbentuk (Ratih, 2007). Dijelaskan dalam alquran tentang kebutuhan makhluk hidup akan nutrisi, yaitu dalam surat Al-Fushilat : 49

لِنُحْيِيَ بِهِ بَلْدَةً مَّيْتًا وَنُسْقِيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَمًا وَأُنَاسِيَّ كَثِيرًا ﴿٤٩﴾

Artinya: *Agar Kami menghidupkan dengan air itu negeri (tanah) yang mati, dan agar Kami memberi minum dengan air itu sebagian besar dari makhluk Kami, binatang-binatang ternak dan manusia yang banyak.*

Ayat ini menjelaskan tentang pentingnya nutrisi yang terkandung dalam air bagi kehidupan, bahkan dikatakan *semua jenis hewan dari air* hidup berasal dari air, dan tentunya makhluk hidup tidak mungkin hidup tanpa air. Dari dan dalam berbagai macam air makhluk hidup dapat hidup dan berkembangbiak. Seperti bakteri endofit ini yang dapat dikembangkan dalam larutan atau air campuran yang mengandung banyak nutrisi untuk pertumbuhannya. Di dalam pertumbuhannya bakteri menggunakan garam mineral di antaranya yang mengandung ion besi dan mangan. Mineral besi dan mangan merupakan kofaktor enzim yang digunakan untuk metabolisme.

Dan semua kebutuhannya ini dapat terpenuhi dengan adanya larutan air limbah tahu dan molase.

Tebu merupakan hasil samping industri gula yang mengandung senyawa nitrogen, dan kandungan gula yang cukup tinggi terutama kandungan sukrosa sekitar 34% dan kandungan total karbon sekitar 37% (Sulastri (2007) dalam Desniar (2004)). Pada umumnya molase pada pH 5,5-6,5 mengandung 30-40% berat sukrosa dan 15-20% berat gula pereduksi, kandungan tersebut yang akan menjadi sumber karbon bagi bakteri (Budihartono, 2009).

Table 2.1 Rincian Kandungan Molase dan Limbah Tahu (Ratih, 2007)

Kandungan bahan	Molase	Ampas tahu
Nitrogen	0,45 (g/l)	2,27 (g/l)
Sukrosa	37,60 (g/l)	-
Glukosa	9,00 (g/l)	-
Fruktosa	9,00 (g/l)	1,60 (g/l)
Mangan	0,55 ppm	0,46 ppm

Pupuk hayati dapat dibuat dengan menggunakan beberapa mikroba yang berbeda, baik berbeda genus/ spesiesnya maupun berbeda dalam hal peranannya sebagai pupuk hayati. Sebagai contoh, pupuk hayati dapat dibuat dengan mencampurkan bakteri penambat nitrogen dengan bakteri pelarut fosfat. Selain itu pupuk hayati dapat juga dibuat dengan menggunakan satu macam mikroba dari satu spesies akan tetapi dari strain yang berbeda. Hal yang paling penting dalam formulasi pupuk hayati yang mengandung lebih dari satu mikroba adalah bahwa mikroba yang digunakan tidak boleh

mempunyai sifat antagonistik satu sama lain, artinya mikroba- mikroba tersebut tidak saling menekan (Yuwono, 2006).

Secara umum produksi inokulan yang akan digunakan sebagai pupuk hayati meliputi beberapa tahapan, yaitu : isolasi mikrobia, perbanyak mikrobia dalam medium yang sesuai, pencampuran dengan bahan pembawa, dan pengemasan (Yuwono, 2006).

