

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

2.1.1 Deskripsi dan Morfologi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Allah SWT telah menyatakan adanya keanekaragaman tumbuhan yang telah diciptakannya. Hal ini dapat dilihat pada Al-qur'an surat At-Thoha ayat 53:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ مَهْدًا وَسَلَكَ لَكُمْ فِيهَا سُبُلًا وَأَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ أَزْوَاجًا مِّن نَّبَاتٍ شَتَّى ﴿٥٣﴾

Artinya : “Yang Telah menjadikan bagimu bumi sebagai hamparan dan yang Telah menjadikan bagimu di bumi itu jalan-jalan, dan menurunkan dari langit air hujan. Maka kami tumbuhkan dengan air hujan itu berjenis-jenis dari tumbuh-tumbuhan yang bermacam-macam” (Q.S. At-Thoha :53).

Pada ayat lain Allah SWT berfirman :

وَإِذْ قُلْتُمْ يٰمُوسَىٰ لَنْ نَّصْبِرَ عَلَىٰ طَعَامٍ وَاحِدٍ فَادْعُ لَنَا رَبَّكَ يُخْرِجْ لَنَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ مِنْ بَقْلِهَا وَقِثَّائِهَا وَفُومِهَا وَعَدَسِهَا وَبَصَلِهَا ... ﴿٦١﴾

Artinya : “Dan (ingatlah), ketika kamu berkata: "Hai Musa, Kami tidak bisa sabar (tahan) dengan satu macam makanan saja. sebab itu mohonkanlah untuk Kami kepada Tuhanmu, agar Dia mengeluarkan bagi Kami dari apa yang ditumbuhkan bumi, Yaitu sayur-mayurnya, ketimunnya, bawang putihnya, kacang adasnya, dan bawang merahnya" (Q.S. Al-Baqarah : 61).

Ayat di atas menjelaskan tentang keanekaragaman tumbuhan ciptaan Allah SWT, berbagai macam tumbuhan yang disebutkan adalah sayur-mayur, ketimun, bawang putih, kacang adas, dan bawang merah. Salah satu jenis tanaman sayur-

sayuran ciptaan Allah SWT adalah tanaman kentang. Tanaman kentang merupakan tanaman semusim (*annual*) yang berbentuk semak (*herba*) (Sunarjono, 2007) dengan susunan tubuh utama terdiri dari stolon, umbi, batang, daun, bunga, buah dan biji serta akar (Rukmana, 2007).

Stolon merupakan tunas lateral yang tumbuh dari ketiak daun di bawah permukaan tanah. Stolon ini tumbuh memanjang dan melengkung di bagian bawah ujungnya, kemudian membesar (membengkak) membentuk umbi sebagai tempat menyimpan cadangan makanan. Batang berbentuk bulat atau bersegi bersayap, berbuku-buku dan berongga. Pertumbuhan batang tegak atau menyebar/menjalar. Warna batang hijau, hijau kemerah-merahan atau hijau keungu-unguan. Helaian daun berbentuk lonjong atau bulat lonjong, dengan ujung meruncing, memiliki anak daun primer dan sekunder, tersusun dalam tangkai daun secara berhadap-hadapan (daun majemuk) yang menyirip ganjil (Rukmana, 2007).

Varietas Granola Holland yang diintroduksi dari Jerman memiliki karakteristik antara lain sebagai berikut: daging umbi berwarna kuning, mata umbi dangkal dan sedikit serta bentuk umbi bulat (Rukmana, 2007).

2.1.2 Taksonomi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Kentang mempunyai nama yang sangat beragam, diantaranya *potato* (Inggris), *patata* (Spanyol), dan *pomme de terre* (Prancis). Di Indonesia kentang dikenal dengan beberapa nama daerah, diantaranya *kumeli* (Jawa Barat), *kuweli* (Jawa Tengah) dan *keteki jawa* (Sumba). Menurut Rukmana (2007), dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, kentang diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisi	: Spermatophyta (tumbuhan berbiji)
Subdivisi	: Angiospermae (biji tertutup)
Kelas	: Dicotyledonae (biji berkeping dua)
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: Solanum
Spesies	: <i>Solanum tuberosum</i> Linn.
Kultivar	: Granola Holland Jerman

2.1.3 Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Pertumbuhan tanaman kentang dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi dari faktor genetik dan lingkungan. Apabila faktor genetik baik dan ditunjang oleh faktor lingkungan yang optimal maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman menjadi optimal pula. Pertumbuhan tanaman merupakan pencerminan dari bertambahnya protoplasma di dalam sel tanaman, sehingga ukuran dan jumlah dari sel tersebut menjadi bertambah. Pertumbuhan sel-sel tersebut mencakup peristiwa pembentukan karbohidrat (fotosintesis), penghisapan air dan unsur hara (absorpsi dan translokasi, perombakan protein dan lemak dalam proses metabolisme) (Harjadi, 1988).

Menurut Beukema dan Van Deer Zaag, 1979 dalam Lestari, 2000, ada tiga fase pertumbuhan tanaman kentang yaitu :

- Fase pertunasan (*pre emergence-emergence*)
- Fase pertumbuhan brangkasan (*haulm-growth*)

- Fase pertumbuhan umbi (*tuber growth*)

2.1.3.1 Fase Pertunasan (*pre emergence-emergence*)

Setelah melampaui masa istirahat maka umbi akan bertunas dan pertunasan ini bisa terjadi dimana saja dengan syarat suhu dan kelembaban memungkinkan, jumlah suhu komulatif 27°C-32°C. Pada umur 12-13 hari tunas akan muncul di permukaan tanah yang diikuti dengan tumbuhnya stolon. Pada umur \pm 25 hari setelah bertunas, stolon dapat mencapai jumlah terbanyak dan setelah stadium primordial bunga, batang, umbi akan memanjang dengan cepat. Pertambahan panjang batang mencapai 3 cm per hari (Soelarso, 1997).

Masa pertunasan mempunyai hubungan yang erat dengan pola pertumbuhan tanaman tunas batang yang berat menunjukkan tanaman muncul dipermukaan tanah lebih cepat, pembentukan umbinya lebih awal serta periode pertumbuhan (umur) lebih pendek. Sebaliknya nisbah berat akar yang tinggi mempunyai hubungan yang erat dengan sifat-sifat pertumbuhan yang lama misalnya munculnya tanaman diatas permukaan tanah lebih lama, pengunduran masa inisiasi umbi dan umur tanaman lebih panjang (Swiezynski *et al.*, 1978 dalam Lestari, 2000).

2.1.3.2 Fase Pertumbuhan Brangkasan (Vegetatif)

Fase ini terbentuk sejak tercapainya berat kering maksimum untuk batang dan daun. Dengan terbukanya daun maka mulailah aktifitas fotosintesis sehingga terjadi akumulasi bahan kering tanpa menggunakan umbi bibit sebagai sumber (Beukema dan Van Deer Zaag, 1979 dalam Lestari, 2000).

Pertumbuhan vegetatif tanaman kentang dikenal dua tipe, yaitu tipe pertumbuhan daur pendek dan tipe pertumbuhan daur panjang. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya daur pendek selain varietas ialah umur fisiologi bibit tua, adanya suhu rendah dan hari pendek, intensitas cahaya rendah, populasi rendah, pemberian pupuk dengan kandungan N tinggi, kelembaban tanah tinggi. Tipe daur pendek mempunyai ciri pertumbuhan brangkasan sedang, inisiasi umbi lebih awal terjadi dan cepat tumbuh. Biasanya menghasilkan produksi umbi relatif tinggi pada umur yang pendek. Sebaliknya tipe pertumbuhan daur panjang mempunyai brangkasan yang lebar, inisiasi umbi lambat, serta waktu pengisian yang lama. Dalam umur yang sama pendek biasanya tanaman berdaur tumbuh pendek mempunyai produksi lebih tinggi dari pada tanaman berdaur tumbuh panjang (Beaukimia dan Van Der Zaag dalam Lestari, 2000).

Suhu yang cocok selama periode pertumbuhan dari bertunas sampai stadium primordia bunga adalah 12°C - 16°C . Sedangkan setelah stadium primordia bunga suhu yang cocok adalah 19°C - 21°C (Soelarso, 1997).

Produksi kentang meningkat pada pertengahan fase vegetatif dimana fotoperiodik mempengaruhi pertumbuhannya. Pengaruh fotoperiodik pada pertumbuhan dan pembentukan umbi sangat dibutuhkan oleh tanaman kentang. Terdapat dua fotoperiodik yaitu fotoperiodik kurang dari 12 jam yang merupakan fotoperiodik hari pendek dan fotoperiodik lebih dari 12 jam yang merupakan fotoperiodik hari panjang. Fotoperiodik hari pendek lebih produktif dari fotoperiodik hari panjang karena mampu menggunakan CO_2 secara optimal pada proses fotosintesis (Wheeler, 1997 dalam Compant, 2005).

2.1.3.3 Fase Pertumbuhan Umbi (Generatif)

Fase pertumbuhan umbi dimulai beberapa hari sampai beberapa minggu setelah daun terbuka. Setelah umbi membentuk inisiasi maka terjadilah fase pengisian umbi (*bulking*). Pada fase ini menurut Beukema dan Van Deer Zaag, (1979) dalam Lestari, (2000) terjadi persaingan yang berat antara umbi dan brangkasan yang sama-sama berperan sebagai penerima (*sink*). Persaingan ini berhenti setelah pertumbuhan brangkasan mencapai maksimum dan hanya umbi yang berfungsi sebagai penerima, sedangkan brangkasan berubah menjadi sumber. Pada umur 75-88 hari setelah bertunas daun-daun umumnya menguning dan sekitar sepuluh hari kemudian akan mati. Pembesaran umbi akan berlangsung sampai daun mati.

Pembentukan umbi memerlukan suhu rendah antara 15,6°C-17,8°C. Kombinasi suhu rendah dengan penyinaran matahari yang relatif pendek dapat berpengaruh baik terhadap pembentukan dan perkembangan umbi kentang (Rukmana, 2007).

Menurut Cahyono (1996), pembentukan umbi kentang merupakan penggemukan batang atau stolon yang berlangsung secara esensif (berlebihan). Mekanisme pembentukan umbi mulai terdeteksi jika sel-sel pada ruas yang paling muda pada batang geotropik yang di dalam tanah (stolon) membesar secara radial. Pembesaran radial ini akan membentuk bakal umbi.

Tanaman kentang dapat dipanen pada umur 90-120 hari tergantung dari varietasnya, untuk varietas granola yang berumur genjah antara 80-90 hari sudah dapat dilakukan pemanenan. Secara fisik tanaman telah cukup umur untuk

dipanen apabila daun dan batangnya telah menguning, kulit umbi tidak mudah lecet bila ditekan (Soelarso, 1997).

2.1.4 Syarat Tumbuh Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

2.1.4.1 Keadaan Iklim

Tanaman kentang mempunyai daya adaptasi luas terhadap lingkungan tumbuh, baik di daerah subtropis maupun di daerah tropis. Di Indonesia yang beriklim panas (tropis), kentang dapat tumbuh dan berproduksi baik di dataran menengah sampai dataran tinggi, yakni pada ketinggian 300 m dpl-2.000 m dpl. Daerah yang paling optimal untuk pertumbuhan kentang adalah pada ketinggian \pm 1.300 m dpl. Meskipun demikian, beberapa varietas kentang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap stress lingkungan (Rukmana, 2007).

Keadaan iklim yang ideal untuk tanaman kentang adalah suhu rendah (dingin) dengan rata-rata harian 15°C - 20°C , kelembapan udara 80%-90%, cukup mendapat sinar matahari (moderat) dan curah hujan 200 mm/bulan-300 mm/bulan atau rata-rata 1.000 mm selama pertumbuhan. Untuk pembentukan umbi, diperlukan suhu rendah $15,6^{\circ}\text{C}$ - $17,8^{\circ}\text{C}$. Kombinasi suhu rendah dengan penyinaran matahari yang relatif pendek dapat berpengaruh baik terhadap pembentukan dan perkembangan umbi kentang (Rukmana, 2007).

Angin juga berpengaruh terhadap tanaman kentang. Angin yang terlalu kencang kurang baik terhadap tumbuhan berumbi. Hal itu diharenakan apabila angin terlalu kencang dapat merusak tanaman, mempercepat penularan penyakit dan vektor penyebar bibit penyakit mudah terbawa ke mana-mana. Oleh sebab itu

daerah yang kurang menguntungkan karena anginnya, diharapkan untuk siap-siap apabila hendak menanam kentang (Setiadi dan Nurulhuda, 1993).

2.1.4.2 Keadaan Tanah

Tanaman kentang membutuhkan tanah yang subur, gembur, banyak mengandung bahan organik, bersolum dalam, aerasi dan drainasenya baik dengan reaksi tanah (pH) 5,0-6,5. Jenis tanah yang paling baik adalah andosol, namun baik pula tanah lempung yang mengandung pasir, seperti latosol, aluvial dan grumosol, asalkan diikuti dengan pemberian pupuk organik dan pengapuran tanah yang memadai (Rukmana, 2007).

Tanah yang baik untuk bercocok tanaman kentang adalah yang berstruktur remah, gembur, banyak mengandung bahan organik, berdrainase baik dan memiliki lapisan olah yang dalam. Sifat fisik tanah yang baik akan menjamin ketersediaan oksigen di dalam tanah. Tanah yang memiliki sifat ini adalah tanah andosol yang terbentuk di pegunungan-pegunungan (Ujah, 2001).

Tanah yang paling baik untuk kentang adalah tanah yang gembur atau sedikit mengandung pasir agar mudah diserapi air dan mengandung humus yang tinggi. Tanah dengan kondisi yang seperti itu, dapat menjaga kelembapan tanah ketika musim hujan. Kelembapan tanah yang cocok untuk umbi kentang adalah 70%. Kelembapan tanah yang lebih dari 70% dapat menyebabkan kentang mudah diserang oleh penyakit busuk batang/leher akar (Setiadi dan Nurulhuda, 1993).

2.2 Bakteri Endofit

2.1 Pengertian Bakteri Endofit

Allah SWT telah menciptakan berbagai macam jenis makhluk hidup, sedangkan pencarian dan pemanfaatannya tergantung dari manusia. Isyarat adanya makhluk hidup yang lebih kecil telah difirmankan oleh Allah SWT dalam QS. Al-Baqarah : 26;

﴿ إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي ۚ أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا ۚ فَأَمَّا الَّذِينَ ءَامَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ ۗ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا ۙ يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ﴿٢٦﴾

Artinya : “*Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, Maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka, tetapi mereka yang kafir mengatakan: "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?." dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik” (QS. Al-Baqarah:26)*

Ibnu Katsir menafsirkan bahwa kata **فَمَا فَوْقَهَا** (yang lebih rendah dari itu), menunjukkan bahwa Allah SWT kuasa untuk menciptakan apa saja, yaitu penciptaan apapun dengan obyek apa saja, baik yang besar maupun yang lebih kecil. Allah SWT tidak pernah menganggap remeh sesuatu pun yang Dia ciptakan meskipun hal itu kecil. Orang-orang yang beriman meyakini bahwa dalam perumpamaan penciptaan yang dilakukan oleh Allah memiliki manfaat bagi kehidupan manusia (Al-Mubarak, 2006).

Mikroba endofit adalah organisme hidup yang berukuran mikroskopis (bakteri dan jamur) yang hidup di dalam jaringan tanaman (xylem dan phloem), daun, akar, buah, dan batang (Simarmata, 2007). Mikroba endofit hidup di dalam jaringan tanaman pada fase tertentu dalam siklus hidupnya, dan mampu hidup dengan membentuk koloni dalam jaringan tanaman tanpa membahayakan inangnya (Yingwhu shi, 2009; Radji, 2005; Syarmalina dan Hanafi, 2006). Secara alami bakteri endofit hanya terdapat pada organ tanaman yang sehat (Benhamou *et al*, 1996). Kebanyakan bakteri endofit merupakan kelompok dari genus bakteri tanah, seperti *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Bacillus*, dan *Azospirillum* (Thagavi, 2005).

Hampir 300.000 spesies tanaman yang ada di bumi ini, masing-masing tanaman merupakan inang dari satu atau lebih mikroba endofit (Strobel and Daisy, 2003). Mikroba endofit umumnya dapat menghasilkan senyawa sejenis yang terkandung pada tanaman inang dengan bantuan aktivitas suatu enzim (Syarmalina dan Hanafi, 2006).

Beberapa kajian terhadap mikroba endofit terbukti mempunyai potensi yang cukup tinggi, baik sebagai bahan baku obat seperti: antibiotik, antikanker, antioksidan, antiinflamasi, imunosupresi, serta antidiabetes maupun penghasil senyawa bioaktif lain yang bermanfaat dalam bidang pertanian, farmasi maupun industri (Rahmawati, 2009). Hungl dan Annapurna (2004) menambahkan bahwa mikroba endofit juga dapat memicu pertumbuhan tanaman, memfiksasi nitrogen bebas, dan menginduksi penghambatan mikroba patogen pada tanaman.

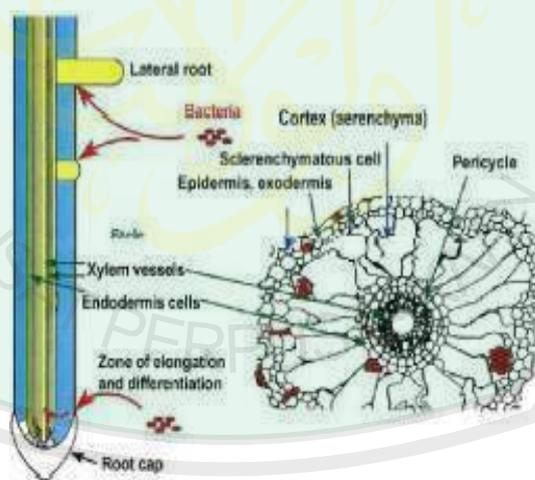
Satu jaringan tanaman kemungkinan ditemukan beberapa jenis mikroba endofit. Secara umum fungsi mikroba digolongkan menjadi empat, yaitu (1) meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman dalam tanah, (2) sebagai perombak bahan organik dalam tanah dan mineralisasi unsur organik, (3) bakteri rizosfer-endofitik untuk memacu pertumbuhan tanaman dengan membentuk enzim dan melindungi akar dari mikroba patogenik, (4) sebagai agensia hayati pengendali hama dan penyakit tanaman (Saraswati dan Sumarno, 2006).

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).

Di dalam tanaman terdapat bakteri endofit baik yang bersifat patogen maupun nonpatogen, keduanya hidup berdampingan dalam umbi kentang. Bakteri endofit nonpatogen secara normal di tunjukan sebagaimana bakteri *Pseudomonas fluorescens*, sedangkan sifat patogennya ditunjukkan pada mekanisme pertahanan umbi kentang yang dihambat oleh Cycloheximide (Sturz *et al.*, 1999).

Mekanisme kerja bakteri endofit yaitu melalui penekanan di antaranya mengkolonisasi jaringan internal inang dan menempati relung ekologi seperti yang dibutuhkan oleh patogen, mengkolonisasi jaringan korteks akar dan menghasilkan metabolit yang dapat menekan perkembangan patogen serta menginduksi ketahanan tanaman (Hallmann 2001 dalam Harni, 2007) yang terjadi secara inter dan intraseluler dalam waktu 2-3 minggu, menyebabkan bagian

aerenchyma (korteks) menjadi berair dan ini merupakan tempat terbesar bagi terbentuknya mikrokoloni. Sebagian besar kolonisasi secara interseluler menyebabkan pengambilan nutrient, terutama karbon oleh bakteri. Terkadang bakteri endofit mampu melakukan penetrasi ke dalam akar sampai pada *Stele*, dan juga terdapat pada parenchyma dan dalam jaringan xylem (Prakamhang 2007). 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). Seperti yang sudah ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Tempat kolonisasi dan infeksi oleh endofit diazotrophic pada akar, gambar memperlihatkan mekanisme secara longitudinal (kiri) dan transversal (kanan) (Reinhold-Hurek and Hurek, 1998 dalam Prakamhang 2007).

2.2 Peranan Bakteri Endofit dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Allah SWT telah menciptakan makhluk hidup bukan tanpa ada manfaat dan kegunaannya. Dalam surat Ash-Shaad 27 Allah SWT berfirman;

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۖ فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ

كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

Artinya : “Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu Karena mereka akan masuk neraka” (Q.S. Ash-Shaad: 27)

Bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, bakteri ini dapat menyediakan nutrisi bagi tanaman, seperti nitrogen, fosfat dan mineral lainnya serta menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin dan sitokinin. Mekanisme peningkatan pertumbuhan tanaman oleh bakteri endofit dapat terjadi dengan beberapa proses diantaranya melarutkan senyawa fosfat, fiksasi nitrogen, merangsang pertumbuhan akar lateral dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin dan sitokinin. Secara tidak langsung, bakteri terlebih dahulu menekan pertumbuhan mikroorganisme pengganggu melalui mekanisme kompetisi, predasi dan antibiotik yang dihasilkannya (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).

2.3 Pupuk Hayati

2.3.1 Pengertian 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, 2007). 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).

Kaitannya kerusakan lingkungan yang bersangkutan dengan sumber penghidupan yaitu bertani, yang terjadi pada saat sekarang ini yaitu berkurangnya kesuburan tanah yang disebabkan karena pengolahan secara berlebihan seperti pemberian pupuk kimia terus menerus sehingga merusak keseimbangan unsur-unsur yang ada di dalam tanah tersebut. Kita sebagai manusia telah diberikan tanah yang subur sudah sepatutnya kita menjaganya, salah satunya yaitu dengan

memberikan pupuk hayati yang aman bagi tanah dan lingkungan sekitarnya sehingga keseimbangan yang telah rusak dapat kembali seperti semula.

Dalam Hadist riwayat Bukhori yang berbunyi :

Barang siapa mempunyai tanah (pertanian) hendaklah mengolahnya.(Hr Bukhori)

Dari hadist tersebut kita dituntut untuk mengolah tanah milik kita agar tanah tersebut tetap subur, pengolahan tanahpun juga harus dilakukan dengan sebaik-baiknya contohnya dengan memberikan pupuk hayati dari bakteri endofit karena dapat menyediakan dan meningkatkan unsur hara tanah ataupun pada tanaman.

2.3.2 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). Jenis inilah yang digunakan sebagai pupuk hayati.

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 glutamat, amonia, dan

pembentukan enzim glutamine sintase yang memicu pembentukan senyawa metabolit yang bermanfaat untuk antagonisme. Jika tersedia amonia dan glutamin tetapi tidak tersedia kofaktor besi dan mangan, maka pembentukan enzim glutamine sintetase tertekan senyawa metabolit tidak terbentuk (Ratih, 2007).

Table 2.1 Rincian Kandungan Molase dan Limbah Tahu

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 antagonistic 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, perbanyakan mikrobia dalam medium yang sesuai, pencampuran dengan bahan pembawa, dan pengemasan (Yuwono, 2006). Produksi bakteri-biomassa yang mencakup kegiatan peremajaan isolat, pembuatan starter, perbanyakan biomassa dalam fermentor (Purwantisari, 2009).

Semua ciptakan Allah SWT yang ada di bumi ini selalu dalam seimbang dan diatur serapi-rapinya. Hal tersebut tersirat di dalam al-Qur'an Surat al-Furqaan ayat 3-4 yang berbunyi:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوُّتٍ ۗ فَارْجِعِ
الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾ ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ خَاسِئًا
وَهُوَ حَسِيرٌ ﴿٤﴾

Artinya : 3. Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak seimbang?

4. Kemudian pandanglah sekali lagi niscaya penglihatanmu akan kembali kepadamu dengan tidak menemukan sesuatu cacat dan penglihatanmu itupun dalam Keadaan payah (Q.S. Al-Mulk : 3-4).

Allah SWT menciptakan segala sesuatu di dunia ini sesuai dengan seimbang. Dimana bakteri endofit diciptakan oleh-Nya untuk mengembalikan ketersediaan unsur hara bagi tanaman inangnya dan bakteri endofit sendiri mendapatkan nutrisi dari tumbuhan tersebut, hal ini merupakan kekuasaan Allah SWT yang sudah mengatur segalanya yang ada di bumi dengan rapi.

2.4 Fosfor (P)

2.4.1 Senyawa P di dalam Tanah

Kandungan P dalam tanah cukup bervariasi, tergantung pada macam bahan induk, derajat pelapukan bahan induk dan besarnya P yang hilang lewat pencucian. Kandungan P dalam batuan induk sekitar 0,01% dalam batuan pasir hingga 0,2% atau lebih dalam batuan kapur kaya apatit (Stevenson dan Cole,

1999). Rata-rata persentase P dalam lapisan olah adalah setengah kandungan N dan seperduabelas kandungan K. Unsur P dalam tanah berkisar antara 500 mg P/kg hingga 800 mg P/kg tanah. Kandungan P total di lapisan olah lebih besar dibandingkan di lapisan tanah di bawah lapisan olah. Keadaan ini menunjukkan bahwa kandungan P dalam horizon A lebih tinggi dibandingkan horizon B. Perbedaan kandungan P tersebut disebabkan adanya daur ulang P tanaman (Setijono, 1996).

Peningkatan unsur P tanah dalam rhizosfer dapat disebabkan oleh: (1) rangsangan bakteri pelarut fosfat (2) pengeluaran P organik dalam jumlah besar dan (3) produksi asam organik saat penghancuran fosfat dapat larut secara terus-menerus oleh kelasi Ca, Fe dan Al (Stevenson dan Cole, 1999). Bentuk P di dalam tanah ditentukan oleh pH larutan. Dalam kondisi larutan relatif encer menyebabkan terjadinya disosiasi asam fosfat, seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Disosiasi (ionisasi) asam fosfat (Stevenson dan Cole, 1999)

Kisaran $5,0 < \text{pH} < 8,0$ konsentrasi H_3PO_4 dapat diabaikan, sehingga tanaman tidak akan menyerap P dalam bentuk anion PO_4^{3-} , H_2PO_4^- , dan HPO_4^{2-} . Pada pH tanah di sekitar 7,0 kedua bentuk anion P inilah yang dapat diserap tanaman, sedangkan $\text{pH} < 6,0$ bentuk H_2PO_4^- yang tersedia bagi tanaman (Setijono, 1996).

2.4.1.1 P-Organik

Seperti halnya dengan N organik dan S organik, maka P organik sangat erat hubungannya dengan bahan organik tanah. Ketersediaan P akan meningkat

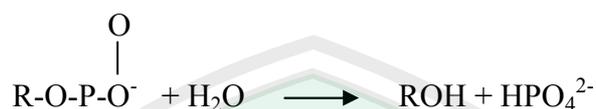
dengan meningkatnya kandungan bahan organik tanah. P organik tanah akan berkurang menurut kedalaman tanah seperti N organik dan S organik. P organik berkorelasi positif dengan C organik, N organik dan S organik (Setijono, 1996).

P organik di dalam tanah terdapat sekitar 50% dari P total tanah dan bervariasi sekitar 15-18% pada kebanyakan tanah. Bentuk-bentuk fosfat ini berasal dari sisa tanaman, hewan dan mikroba. Bentuk P ditemukan sebagai senyawa ester dari asam ortofosfat yaitu: (1) inositol fosfat dibentuk secara enzimatik, mempunyai 1 sampai 6 atom P setiap unitnya dan senyawa ini dapat ditemukan dalam tanah atau organisme hidup, (2) fosfolipid, (3) asam nukleat sebagai DNA dan RNA menyusun 1-10% P-organik total, (4) nukleotida dan (5) gula fosfat. Sel-sel mikroba sangat kaya dengan asam nukleat, jika organisme tersebut mati maka asam nukleatnya akan dimineralisasi (Alexander, 1978).

Inositol fosfat, fosfolipid dan asam nukleat sangat dominan di dalam tanah. Diperkirakan proporsi senyawa ini di dalam total P organik adalah inositol fosfat 10-30%, fosfolipid 1-5% dan asam nukleat 0,2-2,5% (Havlin *et al*, 1999).

Stevenson dan Cole (1999) menyatakan ketersediaan P organik bagi tanaman sangat tergantung pada aktivitas mikroba untuk memineralisasikannya. Hasil mineralisasi ini bersenyawa dengan bagian-bagian anorganik untuk membentuk senyawa yang relatif sukar larut. Enzim fosfatase berperan utama dalam melepaskan P dari ikatan P organik. Enzim ini banyak dihasilkan oleh mikroba tanah, terutama yang bersifat heterotrof. Aktifitas fosfatase dalam tanah meningkat dengan meningkatnya C organik tetapi juga dipengaruhi oleh pH, kelembaban, temperatur dan faktor lainnya. Di dalam tanah enzim fosfatase

memiliki tipe yang berbeda; yaitu fosfatase asam mempunyai aktivitas optimum yang ditunjukkan pada pH rata-rata 4-6 dan fosfatase alkalin dengan pH optimum 9-11, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3 Persamaan umum untuk reaksi katalis oleh fosfatase (Stevenson dan Cole, 1999)

Dalam kebanyakan tanah total P-organik sangat berkorelasi dengan C organik. Semakin tinggi C organik dan semakin rendah P organik semakin meningkat immobilisasi menjadi P organik oleh mikroba dengan jumlah yang bervariasi antara 25-100% (Havlin *et al*, 1999).

2.4.1.2 P-Anorganik

Bentuk P anorganik dapat dibedakan menjadi (1) P aktif yang meliputi Ca-P, AL-P, Fe-P (2) P tidak aktif, yang meliputi Occluded P, redukan P dan mineral P primer (Sanches, 1992). Fosfor anorganik di dalam tanah pada umumnya berasal dari mineral fluor apatit. Dalam proses hancuran iklim dihasilkan berbagai mineral P sekunder seperti hidroksi apatit, karbonat apatit, klor apatit dan lain-lain sesuai dengan lingkungannya. Ion-ion fosfat dengan mudah dapat bereaksi dengan ion Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} ataupun terjerap pada permukaan oksida-oksida hidrat besi, aluminium dan liat (Elfiati, 2006).

Kelarutan Al dan Fe pada tanah masam menjadi tinggi dan menyebabkan ion fosfat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) akan terikat membentuk senyawa P yang kurang tersedia bagi tanaman. Mula-mula senyawa ini bersifat koloidal, lambat laun menjadi kristal varisit $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan strengit $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Nyakpa *et al.*,

1998 dan Havlin *et al*, 1999). Ketersediaan P sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Kisaran pH tanah yang mendukung ketersediaan P paling tinggi yaitu 6,5-7,0 (Olsen *et al.*, 1962), 6,0-6,5 (Lindsay *et al.*,1979) dan 5,5-7,0 (Havlin *et al.*, 1999).

Lindsay (1979) menggambarkan retensi P dari pupuk yang diberikan ke dalam tanah. Adsorpsi terjadi pada permukaan oksida-oksida hidrat besi, aluminium dan liat. Kemampuan adsorpsi tersebut bergantung pada kadar liat, Fe dan Al terlarut, C-organik dan CaCO_3 . Pada tanah-tanah tropika basah, adsorpsi P terutama terjadi oleh adanya Fe dan Al terlarut, sedangkan pada tanah-tanah berkapur atau tanah yang dikapur berat, adsorpsi P dilakukan oleh Ca (Sanches, 1992).

2.4.2 Siklus Fosfor

Siklus fosfor lebih sederhana dalam beberapa hal dibandingkan dengan siklus karbon atau siklus nitrogen. Siklus fosfor tidak meliputi pergerakan melalui atmosfer karena tidak ada gas yang mengandung fosfor secara signifikan. Selain itu fosfor hanya ditemukan dalam satu bentuk anorganik penting; fosfat (PO_4^{3-}) yang diserap oleh tumbuhan dan digunakan untuk sintesis organik (Campbel *et al*, 2002).

Pelapukan batuan secara perlahan-lahan menambah fosfat ke dalam tanah, fosfor dalam bentuk organik ditambahkan kembali ke tanah melalui ekskresi tersebut oleh hewan dan oleh kerja bakteri pengurai dan jamur pengurai (detritus). Humus pada partikel tanah mengikat fosfat, sehingga siklus fosfor cenderung tetap berada dalam ekosistem. Secara perlahan-lahan fosfor terbawa oleh air yang

mengalir dari ekosistem terrestrial ke laut. Fosfat yang telah mencapai laut secara perlahan telah terkumpul dalam endapan, kemudian bergabung ke dalam batuan yang kemudian dapat menjadi bagian dari ekosistem terrestrial sebagai proses geologis yang meningkatkan atau menurunkan permukaan laut pada suatu lokasi tertentu. Dengan demikian fosfat bersiklus ulang secara lokal di antara tanah, tumbuhan dan konsumen atas dasar skala waktu ekologis, sementara suatu siklus sedimentasi secara bersamaan mengeluarkan dan memulihkan fosfor terrestrial selama waktu geologis (Campbel *et al*, 2002).

2.4.3 Peranan Fosfat dalam Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Fosfat yang diserap oleh tanaman kentang tidak direduksi, melainkan berada di dalam senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam bentuk teroksidasi. Fosfor anorganik banyak terdapat di dalam cairan sel sebagai komponen sistem penyangga tanaman. Dalam bentuk organik, P terdapat sebagai :

- (1) fosfolipid, yang merupakan komponen membran sitoplasma dan kloroplas;
- (2) fitin, yang merupakan simpanan fosfat dalam biji;
- (3) gula fosfat, yang merupakan senyawa antara dalam berbagai proses metabolisme tanaman;
- (4) nukleoprotein, komponen utama DNA dan RNA inti sel;
- (5) ATP, ADP, AMP, dan senyawa sejenis, sebagai senyawa berenergi tinggi untuk metabolisme;
- (6) NAD dan NADP, merupakan koenzim penting dalam proses reduksi dan oksidasi; dan
- (7) FAD dan berbagai senyawa lain yang berfungsi sebagai pelengkap enzim tanaman (Salisbury dan Ross, 1995).

Adenosin trifosfat (ATP) terbentuk melalui proses fosforilasi oksidatif pada asimilasi fosfat oleh tumbuhan. Fosfor yang diasimilasi menjadi ATP

dengan cepat segera ditransfer melalui reaksi metabolik berikutnya menjadi berbagai macam bentuk fosfat dalam tanaman, diantaranya; gula fosfat, fosfolipid dan nukleotida. Asam deoksiribonukleat (DNA) yang tersusun dari basa purin dan pirimidin, gula pentosa dan fosfat, berfungsi sebagai pembawa informasi genetik, sedangkan RNA sebagai penterjemah informasi dan keterlibatan lain dalam sintesis protein. NAD, NADP, dan FAD berlaku sebagai reduktan dalam sintesis senyawa-senyawa organik tumbuhan. Fosfor juga merupakan penyusun fitin, yaitu bentuk utama P yang tersimpan dalam biji. Substansi ini merupakan garam kalsium dan magnesium inositol asam heksafosfat, sedangkan fosfolipid merupakan bahan yang berperan penting dalam mengatur permeabilitas membran sel dan pengangkutan ion (Salisbury dan Ross, 1995).

Soepardi (1983) mengemukakan peranan fosfat antara lain penting untuk perumbuhan sel, pembentukan akar halus dan rambut akar, memperkuat jerami agar tanaman tidak mudah rebah, memperbaiki kualitas tanaman, pembentukan bunga, buah dan biji serta memperkuat daya tahan terhadap penyakit.

Melihat uraian di atas, maka kekurangan fosfat pada tanaman akan mengakibatkan berbagai hambatan metabolisme, diantaranya dalam proses sintesis protein, yang menyebabkan terjadinya akumulasi karbohidrat dan ikatan-ikatan nitrogen. Kekurangan P tanaman dapat diamati secara visual, yaitu daun-daun yang tua akan berwarna keunguan atau kemerahan karena terbentuknya pigmen antisianin. Pigmen ini terbentuk karena akumulasi gula di dalam daun sebagai akibat terhambatnya sintesis protein. Gejala lain adalah nekrosis

(kematian jaringan) pada pinggir atau helai dan tangkai daun, diikuti melemahnya batang dan akar tanaman.

2.5 Nitrogen

2.5.1 Proses Penyebaran Nitrogen di Alam

Nitrogen merupakan unsur terbanyak yang terdapat dalam atmosfer bumi yaitu kurang lebih 80%, sedangkan kandungan nitrogen di dalam tanah hanya sedikit (Sasmitamihardja, 1990 ; Fardiaz, 1992 dan Campbell, 2002). Nitrogen di atmosfer tersedia dalam bentuk gas N_2 dan tumbuhan tidak dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk tersebut. Supaya tumbuhan dapat menyerap nitrogen dengan baik maka terlebih dahulu N_2 harus dirubah menjadi ammonia (NH_3) atau nitrat (NO_3^-) dengan bantuan bakteri pemfiksasi nitrogen (Campbell, 2002).

Sebagian besar tumbuhan mengandung 1-25% nitrogen dari berat keringnya. Setelah C,H,O maka N merupakan urutan unsur terbanyak (makromolekul) yang terdapat dalam tumbuhan. Nitrogen dalam tumbuhan terdapat dalam bentuk asam amino, protein, amida, klorofil, alkaloida dan basa nitrogen (purin dan pirimidin) (Sastamihardja, 1990).

Menurut Minarno (2008) hampir semua protein diserap dalam bentuk asam amino. Asam amino merupakan sumber nitrogen yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh jaringan tanaman dari pada nitrogen yang terdapat dalam bentuk nitrogen anorganik. Asam amino berperan sebagai bahan pembangun protein.

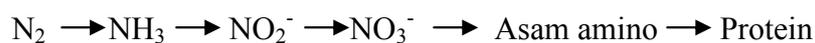
Nitrogen masuk ke tanah dalam bentuk ammonia dan nitrat bersama hujan dalam bentuk hasil penambatan nitrogen bebas atau dalam bentuk penambahan

pupuk sintesis. Nitrogen yang terbentuk kemudian dirubah menjadi ammonia melalui deaminasi atau dirubah dahulu menjadi senyawa nitrat dengan nitrifikasi (Waluyo, 2009). Pada proses pembongkaran protein tersebut jumlah ammonia yang terbebaskan meningkat dari 50-80% dari keseluruhan nitrogen (Sutedjo, 1996).

Menurut Sutedjo (1996) berbagai hewan dan tanaman juga menghasilkan residu yang mengandung nitrogen, seperti urea, inti purin, asam hipurat, lesitin, kholin, sianamida, sianida, alkaloida dan kitin. Selanjutnya Senyawa-senyawa tersebut kemudian dipecah atau di dekomposisi oleh mikroorganisme tanah membentuk humus.

Umumnya unsur nitrogen sangat penting bagi kebutuhan dasar nutrisi, tetapi dalam kenyataannya substansi nitrogen juga bertindak sebagai polutan di lingkungan. Hal ini terjadi karena adanya interaksi antara nitrogen oksida dan ozon di zona stratosfir. Pemupukan nitrogen yang berlebih juga dapat mempengaruhi kondisi air bagi kepentingan manusia. Sedangkan unsur N dan P yang berlebihan di laut dapat mengakibatkan terjadinya blooming yaitu tumbuhnya beberapa alga yang beracun bagi fauna (Rompas, 1998).

Menurut Rompas (1998) Siklus nitrogen melalui alur perombakan secara biologi akan terbentuk senyawa protein. Proses perombakannya adalah sebagai berikut:



2.5.2 Fiksasi Nitrogen Pada Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum*)

Semua kehidupan di bumi bergantung pada fiksasi nitrogen (Campbell, 2002). Sejumlah mikroorganisme mampu melakukan fiksasi nitrogen, dan nitrogen bebas akan berasosiasi dengan tumbuhan. Proses fiksasi memerlukan energi yang besar dan enzim nitrogenase bekerja di dukung adanya oksigen yang cukup (Rompas, 1998).

Prokariota merupakan bakteri yang memiliki kemampuan menambat nitrogen bebas berupa N_2 dengan bantuan enzim nitrogenase. Hasil fiksasi nitrogen berupa ammonia yang selanjutnya digunakan untuk sintesis asam amino. Awalnya Prokariota yang telah diketahui dapat menambat nitrogen hanya rizobium, azotobacter, clostridium dan sianobakteri, akan tetapi saat ini telah banyak di temukan prokariota-prokariota lain yang mampu menambat nitrogen (Purwoko, 2007).

Di tinjau dari aspek ekologi, bakteri penambat N_2 yang mengklonisasi tanaman gramineae (rumput-rumputan) dapat dikelompokkan menjadi tiga golongan yaitu: (a) bakteri rizosfer penambat N_2 diazotrof heterotrofik dan fototrofik; (b) bakteri diazotrof endofitik fakultatif; dan (c) bakteri diazotrof endofitik obligat. Bakteri tersebut mampu mengikat nitrogen dari udara, baik secara simbiosis (*root-nodulating bacteria*) maupun nonsimbiosis (*free-living nitrogen-fixing rhizobacteria*). Pemanfaatan bakteri fiksasi N_2 , baik yang diaplikasikan melalui tanah maupun disemprotkan pada tanaman, mampu meningkatkan efisiensi pemupukan N. Penggunaan bakteri fiksasi N_2 berpotensi

mengurangi kebutuhan pupuk N sintetis, meningkatkan produksi dan pendapatan usaha tani (Simanungkalit *et al.*, 2007).

2.5.3 Mekanisme Penambatan Nitrogen di Udara

Konversi nitrogen atmosfer (N_2) menjadi ammonia (NH_3) adalah suatu proses rumit yang bertahap. Mekanisme penambatan nitrogen secara biologis dapat disederhanakan sebagai berikut ini:



Reaksi ini hanya dilakukan oleh bakteri prokariot dengan menggunakan suatu kompleks enzim nitrogenase. Enzim ini mengandung 2 molekul protein yaitu satu molekul protein besi dan satu molekul molibdenbesi. Reaksi ini berlangsung ketika molekul N_2 terikat pada kompleks enzim nitrogenase. Protein Fe mula-mula direduksi oleh elektron yang diberikan oleh ferredoksin. Kemudian protein Fe reduksi mengikat ATP dan mereduksi protein molibdenbesi yang memberikan elektron kepada N_2 . Sehingga menghasilkan $NH=NH$. Pada dua daur berikutnya proses ini (masing-masing membutuhkan elektron yang disumbangkan ferredoksin) $NH=NH$ direduksi menjadi H_2N-NH_2 , dan selanjutnya direduksi menjadi NH_3 . Tergantung pada jenis mikroba, ferredoksin reduksi yang menyuplai elektron untuk proses ini diperoleh melalui fotosintesis, respirasi atau fermentasi (Simanungkalit *et al.*, 2007).

Menurut Purwoko (2007) proses penambatan nitrogen hanya dapat dilakukan jika kandungan sumber N alternatif sangat rendah. Tambatan nitrogen selalu menghasilkan gas H_2 . Sebenarnya pembentukan H_2 adalah pemborosan

energi karena memerlukan 2 molekul ATP. Adapun reaksi tambatan nitrogen sebagai berikut:



Karena nilai valensi $N_2 = 0$, sedangkan $NH_3 = -3$, maka $3e^-$ diperlukan untuk mereduksi N_2 menjadi NH_3 , sedangkan Ie^- dipakai untuk mereduksi H^+ menjadi H_2 . Setiap satu elektron ditransfer dari protein Fe ke protein MoFe. Reaksi transfer elektron merupakan reaksi yang tergantung ATP. Oleh karena itu, setiap transfer 1 elektron memerlukan 2 ATP (Purwoko, 2007).

2.5.4 Pemanfaatan Pupuk Mikroba untuk Meningkatkan Unsur Hara dan Pertumbuhan Tanaman Kentang Kentang (*Solanum tuberosum*)

Pemanfaatan pupuk mikroba dalam membantu pertumbuhan dan perlindungan tanaman dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Peran langsung dilakukan dengan menambat N_2 dan memacu pertumbuhan tanaman dengan menghasilkan fitohormon (asam indolasetat, sitokinin dan giberelin) dan melarutkan P yang terikat menjadi tersedia melalui asam-asam organik dan enzim yang dihasilkannya. Sedangkan peran tidak langsung dilakukan dengan menghasilkan senyawa antimikroba yang mampu menekan pertumbuhan mikroba patogen. Aplikasi pupuk mikroba pada rizosfer dan tanaman merupakan sesuatu hal yang kompleks, sehingga dalam pemanfaatannya perlu metode aplikasi yang efisien dan pupuk mikroba yang bermutu (Saraswati dan Sumarno, 2008).

Mekanisme peningkatan pertumbuhan tanaman oleh bakteri endofit dapat terjadi melalui beberapa cara di antaranya melarutkan senyawa fosfat, fiksasi nitrogen (Thakuria *et.al.*, 2004) merangsang pertumbuhan akar lateral dan menghasilkan hormon pertumbuhan seperti etilen, auxin dan sitokinin (Khalid *et*

al., 2004 dalam Harni, 2006). Pada tanaman nitrogen berfungsi untuk pertumbuhan vegetatif yaitu untuk memperbesar, mempertinggi, dan menghijaukan daun. Selain itu Nitrogen juga berfungsi untuk menyusun klorofil dan daun. Unsur N bisa diperoleh dari Urea (N 45%), Amuniumsulfat / ZA (N: 21% + S:24%), Amoniumnitrat (N 35% dalam bentuk nitrat). Dari ke tiga macam sumber N diatas, yang paling bagus dalam bentuk nitrat (terutama untuk tanaman hortikultura dan buah) (Yusuf, 2009).

Allah menciptakan alam seisinya sebagai rahmat untuk kemaslahatan umat manusia. Manusia berhak untuk memanfaatkan kekayaan alam semaksimal mungkin dalam rangka untuk meningkatkan kesejahteraan mereka serta sebagai bentuk rasa syukur atas nikmat yang telah diberikan oleh Allah SWT. Seperti yang disebutkan dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 29 :

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ ۗ
 وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

Artinya : "Dia-lah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. dan Dia Maha mengetahui segala sesuatu" (QS.Al-Baqarah:29).

Dalam tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menegaskan Allah telah menganugerahkan karunia yang besar kepada manusia, menciptakan langit dan bumi untuk manusia, untuk diambil manfaatnya, sehingga manusia dapat menjaga kelangsungan hidupnya dan agar manusia berbakti kepada Allah Penciptanya kepada keluarga dan masyarakat. Pada akhir ayat Allah menyebutkan "Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu", maksudnya ialah bahwa alam semesta ini

diatur dengan hukum-hukum Allah, baik benda itu kecil, maupun besar, nampak atau tidak nampak, semuanya itu diatur, dikuasai dan diketahui oleh Allah SWT.

2.5.5 Peranan Nitrogen dalam Proses Pembentukan Klorofil

Nitrogen merupakan faktor utama pembentuk klorofil. Unsur N merupakan unsur hara makro. Unsur N diperlukan oleh tanaman salah satunya sebagai penyusun klorofil (Hendriyani *et.al.*, 2009).

Pemberian nitrogen yang optimal dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan sintesis protein, pembentukan klorofil yang menyebabkan warna daun menjadi lebih hijau dan meningkatkan rasio pucuk akar, oleh karena itu pemberian nitrogen yang optimal dapat meningkatkan laju pertumbuhan tanaman (Subandi dan Tohari, 2006).

Kandungan klorofil yang banyak dalam tanaman akan mempengaruhi peningkatan proses fotosintesis, sehingga dapat dihasilkan fotosintat yang lebih banyak dalam hal ini glukosa yang merupakan karbohidrat (Mudyantini, 2008).

Klorofil adalah katalisator fotosintesis yang penting dan terdapat sebagai pigmen hijau dalam semua jaringan tumbuhan berfotosintesis. Zat ini terdapat dalam kloroplas dalam jumlah nisbi banyak, sering terikat longgar dengan protein tetapi mudah di ekstraksi ke dalam pelarut lipid seperti aseton dan eter (Harborne, 1987 dalam Hendriyani 2009).

Nitrogen selalu terdapat dalam keadaan tidak cukup maka pada daun yang mendekati luruh, senyawa-senyawa nitrogen akan di degradasi menjadi amina dan ditranslokasi lagi ke titik tumbuh. Oleh karenanya kandungan N pada daun yang luruh selalu lebih kecil dari pada daun yang masih segar (Suharno *et.al.*, 2007).

Nitrogen di dalam tumbuhan memiliki peranan penting sebagai penyusun klorofil daun sehingga defisiensi nitrogen menyebabkan daun berwarna kuning dan keriting seperti gejala yang muncul pada tanaman yang ditumbuhkan pada media tanah yang diberi perlakuan NaCl dengan konsentrasi salinitas mulai 9% (Sari dkk, 2006).

2.6 Klorofil

Klorofil merupakan zat hijau daun yang terdapat pada semua tumbuhan hijau yang berfotosintesis. Nama "*chlorophyll*" berasal dari bahasa Yunani kuno : *choloros* = green (hijau), and *phyllon* = leaf (daun). Fungsi klorofil pada tanaman adalah menyerap energi dari sinar matahari untuk digunakan dalam proses fotosintesis yaitu suatu proses biokimia dimana tanaman mensintesis karbohidrat (gula menjadi pati), dari gas karbondioksida dan air dengan bantuan sinar matahari (Subandi, 2008).

Klorofil yang biasanya berikatan dengan protein dapat di ekstrak dari daun tumbuhan dengan alkohol atau aseton dan dimurnikan dengan kromatografi. Tumbuhan tingkat tinggi mempunyai dua macam klorofil yaitu klorofil a dan klorofil b. Klorofil a adalah senyawa kompleks antara magnesium dan porifin yang mengandung cincin siklopentanon (cincin V). Ke empat atom nitrogen dihubungkan secara ikatan koordinasi dengan ion Mg^{2+} membentuk senyawa kompleks planat yang mantap. Rantai sampingnya yang bersifat hidrofobik adalah suatu terpenoid alkohol, fitol, yang dihubungkan oleh ikatan ester dengan gugus propionat dari cincin IV (Wirahadikusumah, 1985).

Klorofil a dalam aseton menunjukkan maksimum serapan pada 663 nm dan 420 nm, sedangkan dalam sel utuh maksimum serapannya 660, 670, 678, dan 685 nm. Pergeseran spektrum ini disebabkan oleh keadaan yang berbeda dari pengikatan molekul klorofil a dengan berbagai protein khas di dalam sel tumbuhan (Wirahadikusumah, 1985).

Klorofil b terjadi akibat adaptasi klorofil a pada kondisi teraungi. Menurut Bidwell (1979) klorofil b terjadi dari klorofil a yang mengalami oksidasi sehingga gugus CH_3 pada cincin II dalam klorofil a berubah menjadi gugus aldehida pada molekul klorofil b (Pradnyawan *et.al*, 2005).

Klorofil b adalah klorofil kedua yang terdapat dalam tumbuhan hijau, sedangkan klorofil c terdapat dalam ganggang coklat, diatom dan dinoflagelata. Sel fotosintesis prokariot yang tidak menghasilkan O_2 tidak mengandung klorofil a, tetapi mengandung bakterioklorofil a atau bakterioklorofil b bakteri hijau mengandung klorofil klorobium (Wirahadikusumah, 1985).

Allah SWT dalam firman-Nya :

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

Artinya : "Yaitu Tuhan yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, Maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu" (Q.S. Yasin : 80).

Pernyataan Al-Qur'an disini bahwa dari kayu yang hijau tersebut dapat menyimpan tenaga yang bisa digunakan untuk bahan bakar. Ternyata, pernyataan ilmiah tentang chlorophyl (dibaca; klorofil) atau zat Hijau daun yang hanya terdapat pada bagian daun saja sudah terbantah menurut pernyataan ayat ini, penelitian membuktikan bahwa klorofil juga terdapat pada bagian ranting-ranting

pohon yang hijau yang masih muda. Tegasnya pada semua bagian pohon hijau tegasnya yang muda. Dari sini sudah terbukti kebenaran ilmiah al-Qur'an yang tepat menyatakan *asy-syajar al-akhdar* yang terjemahannya berarti pohon hijau. Klorofil mengubah tenaga radiasi matahari menjadi kimiawi melalui proses Fotosintesis. Sebagai akibat peristiwa ini maka akan terjadi interaksi antara karbon dioksida dan air yang diserap oleh tumbuh-tumbuhan dari dalam tanah, yang menghasilkan zat karbohidrat berkat bantuan sinar matahari atau dalam kata lain menyimpan tenaga matahari dalam tumbuh-tumbuhan berupa makanan dan bahan bakar yang nantinya akan muncul sebagai api pada saat pembakaran. Dari sinilah kemudian, akan keluar daya yang tersimpan tadi pada saat pembakaran yang mengakibatkan kayu tersebut bisa terbakar atau menjadi bahan bakar (Shihab, 1997).

Khususnya tentang pohon kayu hijau, menurut Ibnu Abbas ra, adalah :

“Pohon marikh dan pohon ifar. Kedua pohon itu tumbuh di darat. Orang yang akan menyalakan api, ia memotong dua dahan dari semisal kayu siwak. Keduanya berwarna hijau dan dari padanya air menetes. Lalu ditumbukkan kayu marikh diatas kayu ifar, maka keluar api dari kedua kayu tersebut dengan izin Allah SWT”.

Sedangkan menurut Hamka, dalam Tafsir Al-Azhar, kayu yang hijau yang dapat menimbulkan api untuk kepentingan manusia, dapat kita saksikan pada *pohon kayu tusam atau pinus*. Kayu pinus atau kayu tusam betul-betul pohon yang hijau berdaun rindang yang lurus, namun ia *mengandung minyak yang dapat dinyalakan*. Misalnya di rimba *Takengon (Aceh Tengah)*. Bila telah besar pohonnya, maka getahnya dapat ditakik sebagaimana menakik pohon karet. Dan ia dapat menyala hingga berkobar apinya.