

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kentang

Tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan tanaman semusim yang berbentuk semak, termasuk Divisi *Spermatophyta*, Subdivisi *Angiospermae*, Kelas *Dicotyledonae*, Ordo *Tubiflorae*, Famili *Solanaceae*, Genus *Solanum*, dan Spesies *Solanum tuberosum* L. (Beukema, 1977).

Tanaman kentang berasal dari Amerika Selatan (Peru, Chili, Bolivia, dan Argentina) serta beberapa daerah Amerika Tengah. Di Eropa daratan tanaman itu diperkirakan pertama kali diintroduksi dari Peru dan Colombia melalui Spanyol pada tahun 1570 dan di Inggris pada tahun 1590 (Hawkes, 1990). Penyebaran kentang ke Asia (India, Cina, dan Jepang), sebagian ke Afrika, dan kepulauan Hindia Barat dilakukan oleh orang-orang Inggris pada akhir abad ke-17 dan di daerah-daerah tersebut kentang ditanam secara luas pada pertengahan abad ke-18 (Hawkes, 1992).

Menurut Permadi (1989), saat masuknya tanaman kentang di Indonesia tidak diketahui dengan pasti, tetapi pada tahun 1794 tanaman kentang ditemukan telah ditanam di sekitar Cisarua (Kabupaten Bandung) dan pada tahun 1811 tanaman kentang telah tersebar luas di Indonesia, terutama di daerah-daerah pegunungan di Aceh, Tanah Karo, Sumatera Barat, Bengkulu, Sumatera Selatan, Minahasa, Bali, dan Flores. Di Jawa daerah-daerah pertanaman kentang berpusat

di Pangalengan, Lembang, dan Pacet (Jawa Barat), Wonosobo dan Tawangmangu (Jawa Tengah), serta Batu dan Tengger (Jawa Timur).

Kentang termasuk tanaman yang dapat tumbuh di daerah tropika dan subtropika (Ewing dan Keller, 1982), dapat tumbuh pada ketinggian 500 sampai 3000 m di atas permukaan laut, dan yang terbaik pada ketinggian 1300 m di atas permukaan laut. Tanaman kentang dapat tumbuh baik pada tanah yang subur, mempunyai drainase yang baik, tanah liat yang gembur, debu atau debu berpasir. Tanaman kentang toleran terhadap pH pada selang yang cukup luas, yaitu 4,5 sampai 8,0, tetapi untuk pertumbuhan yang baik dan ketersediaan unsur hara, pH yang baik adalah 5,0 sampai 6,5. Menurut Asandhi dan Gunadi (1989), tanaman kentang yang ditanam pada pH kurang dari 5,0 akan menghasilkan umbi yang bermutu jelek. Di daerah-daerah yang akan ditanam kentang yang menimbulkan masalah penyakit kudis, pH tanah diturunkan menjadi 5,0 sampai 5,2.

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

Suhu tanah berhubungan dengan proses penyerapan unsur hara oleh akar, fotosintesis, dan respirasi. Menurut Burton (1981), untuk mendapatkan hasil yang maksimum tanaman kentang membutuhkan suhu optimum yang relatif rendah, terutama untuk pertumbuhan umbi, yaitu 15,6 sampai 17,8 °C dengan suhu rata-rata 15,5 °C. Dengan penambahan suhu 10 °C, respirasi akan bertambah dua kali lipat. Jika suhu meningkat, laju pertumbuhan tanaman meningkat sampai

mencapai maksimum. Laju fotosintesis juga meningkat sampai mencapai maksimum, kemudian menurun. Pada waktu yang sama laju respirasi secara bertahap meningkat dengan meningkatnya suhu. Kehilangan melalui respirasi lebih besar daripada tambahan yang dihasilkan oleh aktivitas fotosintesis. Akibatnya, tidak ada peningkatan hasil netto dan bobot kering tanaman dan umbi menurun.

Tanaman kentang menghendaki suhu yang berbeda untuk setiap periode pertumbuhan. Daerah dengan suhu maksimum 30 °C dan suhu minimum 15 °C sangat baik untuk pertumbuhan tanaman kentang daripada daerah dengan suhu yang relatif konstan, yaitu 24 °C. Menurut Shukla dan Singh (1975), untuk pembentukan dan pengisian umbi secara ideal, diperlukan hari panjang pada stadia awal agar mencapai pertumbuhan daun yang maksimum, kemudian diikuti hari pendek dan suhu rendah untuk translokasi zat pati secara cepat ke organ penyimpanan.

Menurut Krauss dan Marschner (1984), suhu tanah yang lebih tinggi dari 24 °C menyebabkan aktivitas beberapa enzim yang berperan dalam metabolisme pati tertekan sehingga terjadi penurunan kadar pati pada umbi dan secara langsung menghambat perombakan gula menjadi pati. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa akumulasi bahan kering dapat tertunda pada suhu tanah lebih dari 24 °C dan sangat terganggu pada suhu tanah 33 °C karena sebagian besar karbohidrat dikonsumsi untuk respirasi. Akibatnya, karbohidrat yang digunakan untuk pertumbuhan berkurang.

Suhu malam untuk pembentukan umbi lebih penting dibandingkan dengan suhu siang. Jumlah umbi menurun dengan meningkatnya suhu malam. Dengan suhu tinggi, terutama pada malam hari, pertumbuhan lebih banyak terjadi pada bagian tanaman di atas tanah daripada bagian di bawah tanah. Untuk pembentukan umbi diperlukan suhu siang hari 17,7 sampai 23,7 °C dan suhu malam hari 6,1 sampai 12,2 °C. Pada suhu malam yang tinggi tanaman lebih banyak menghasilkan daun baru, cabang, dan bunga serta stolon muncul di permukaan tanah membentuk batang dan daun sehingga tanaman menghasilkan umbi dalam jumlah yang sedikit. Keadaan sebaliknya terjadi jika suhu malam yang rendah.

Menurut Nonnecke (1989), jika selama perkembangan umbi terjadi cekaman suhu yang tinggi, umbi yang dihasilkan akan berbentuk abnormal karena terjadi pertumbuhan baru dari umbi yang telah terbentuk sebelumnya yang disebut pertumbuhan sekunder (retakan-retakan pada umbi, pemanjangan bagian ujung umbi, dan kadang-kadang terjadinya rangkaian umbi).

Suhu tinggi, keadaan berawan, dan kelembaban udara rendah akan menghambat pertumbuhan, pembentukan umbi, dan perkembangan bunga. Fluktuasi kelembaban yang sangat berbeda antara siang dengan malam akan mengurangi hasil. Jika malam hari kelembaban rendah, suhu udara menjadi tinggi, tanaman akan banyak melakukan respirasi.

Pertumbuhan dan hasil tanaman kentang juga sangat dipengaruhi oleh curah hujan dan penyebarannya selama masa pertumbuhan. Selama pertumbuhannya tanaman kentang menghendaki curah hujan 1000 mm atau setiap

bulan rata-rata 200 sampai 300 mm. Saat kritis bagi tanaman kentang adalah saat ketika dibutuhkan lebih banyak air, yaitu pada permulaan pembentukan umbi dan pembentukan stolon. Oleh karena itu, untuk mencapai hasil yang tinggi, pada saat itu kadar air tanah pada kedalaman 15 cm dari permukaan tanah tidak boleh kurang dari 56% kapasitas lapang (Nonnecke, 1989). Hal itu didukung oleh Gandar dan Tanner (1976) yang menyatakan bahwa perpanjangan dan bentangan daun menurun jika potensial air daun menurun. Hasil umbi kentang akan terganggu jika kelembaban terlalu tinggi.

Suhu rendah dengan intensitas radiasi tinggi dan hari pendek mempercepat perkembangan tanaman kentang sehingga pemanjangan batang cepat terhenti, umbi cepat terbentuk, dan akhirnya tanaman cepat mati. Begitu juga sebaliknya.

Bodlaender (1983) menyatakan bahwa untuk dapat berfotosintesis dengan baik, tanaman memerlukan intensitas cahaya yang tinggi yang diperlukan untuk mengaktifkan distribusi asimilat, memperpanjang cabang, dan untuk meningkatkan luas serta bobot daun. Meningkatnya cahaya yang dapat diterima tanaman akan mempercepat proses pembentukan umbi dan waktu pembungaan, bahkan pada intensitas cahaya yang berlebihan dapat menurunkan hasil karena terjadi transpirasi yang tinggi yang tidak dapat diimbangi dengan penyerapan air dari dalam tanah. Oleh karena itu, sel akan kehilangan turgor, stomata menutup, dan absorpsi CO_2 berkurang sehingga hasil fotosintesisnya berkurang. Akan tetapi, menurut Asandhi dan Gunadi (1989), intensitas cahaya matahari yang dibutuhkan tanaman kentang belum dapat dipastikan walaupun tanaman kentang hanya membutuhkan intensitas cahaya matahari moderat.

Panjang hari juga berpengaruh terhadap pembentukan umbi, tetapi hal itu tidak terlalu penting karena umbi tetap terbentuk pada berbagai tingkatan panjang hari. Perbedaannya hanya saat kapan umbi terbentuk dan lamanya proses perkembangan berlangsung. Panjang hari yang dikehendaki tanaman kentang bervariasi, bergantung pada varietasnya, kisaran yang diperlukan antara 10 sampai 16 jam hari⁻¹. Chapman (1975) menyimpulkan bahwa jika tanaman mendapat perlakuan hari pendek, ujung stolon akan cepat membentuk umbi, sedangkan jika diberi perlakuan hari panjang, stolon cenderung bertambah panjang dan baru kemudian membentuk umbi.

Proses pembentukan umbi pada tanaman kentang dapat dipercepat oleh hari pendek, intensitas cahaya tinggi, suhu malam yang rendah, dan N yang rendah serta kombinasi faktor tersebut (pada musim hujan kombinasi intensitas cahaya dan suhu adalah hari pendek, suhu tinggi, dan intensitas cahaya rendah, sedangkan pada musim kemarau adalah hari pendek, suhu rendah, dan intensitas cahaya tinggi).

Pertumbuhan Tanaman Kentang

Menurut Beukema dan van der Zaag (1979), pertumbuhan tanaman kentang dapat dibagi menjadi tiga fase, yaitu (1) fase pertumbuhan tunas (*preemergence-emergence*), (2) fase pertumbuhan brangkasan (*haulm growth*), dan (3) fase pertumbuhan umbi (*tuber growth*).

Pada fase pertumbuhan tunas (*preemergence*), tunas dapat tumbuh, baik di dalam ruangan penyimpanan maupun di lapangan, dengan atau tanpa cahaya matahari. Moorby dan Milthorpe (1975) menyatakan bahwa setelah umbi

mengakhiri masa dormansi, tunas mulai tumbuh. Laju pertumbuhan tunas bergantung pada suhu dan kelembaban. Pada suhu tinggi tunas tumbuh lebih cepat sehingga tanaman tumbuh lebih awal di atas permukaan tanah. Jika kondisi tanah kering, umbi kehilangan bobot sehingga tunas tumbuh lebih lambat.

Umbi yang digunakan sebagai bibit adalah umbi yang telah keluar tunas sepanjang 1 cm. Tunas apikal yang telah tumbuh lebih dari 3 cm biasanya dibuang sebelum umbi ditanam untuk menghilangkan dominansi apikal dan memacu pertumbuhan tunas lateral agar pertumbuhan tanaman lebih seragam. Pembuangan tunas apikal tidak berpengaruh terhadap luas daun dan bahan kering tanaman, tetapi akan mempengaruhi saat munculnya tanaman di atas permukaan tanah (Allen, 1978). Tunas apikal akan tumbuh lebih awal yang selanjutnya diikuti oleh pertumbuhan tunas lateral.

Fase pertumbuhan brangkasan (*haulm growth*) dimulai sejak daun pertama terbuka di atas permukaan tanah sampai tercapai bobot kering maksimum. Sejak daun pertama terbuka, kegiatan fotosintesis dimulai sehingga peran umbi induk sebagai pemasok karbohidrat dalam pertumbuhan tanaman sedikit demi sedikit berkurang dan akhirnya tidak berfungsi sama sekali.

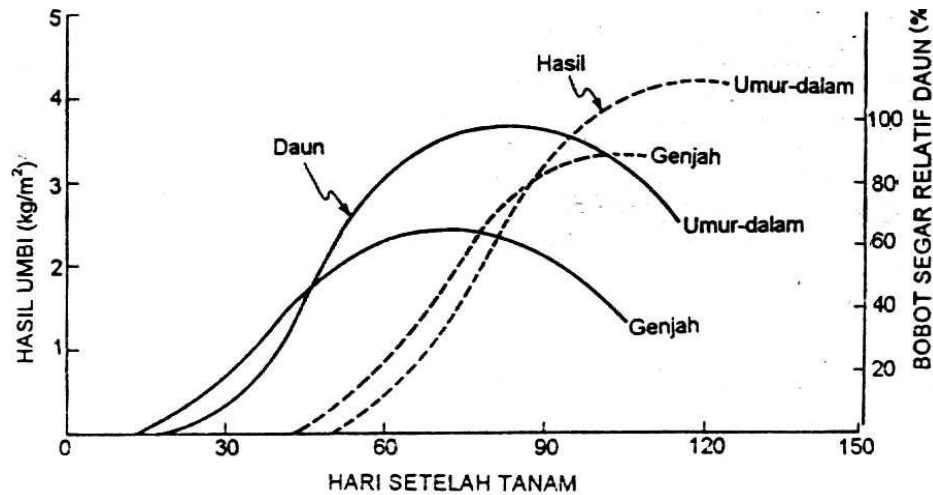
Pada fase pertumbuhan umbi (*tuber growth*) terjadi persaingan yang kuat antara umbi dengan bagian atas tanaman (*shoot*) yang sama-sama tumbuh dan sama-sama berperan sebagai penerima (*sink*). Persaingan itu berhenti setelah pertumbuhan brangkasan mencapai maksimum dan hanya umbi yang berfungsi sebagai penerima, sedangkan brangkasan berubah menjadi sumber.

Dalam keadaan normal pertumbuhan umbi dimulai sejak tanaman berumur dua sampai empat minggu setelah tanaman tumbuh di atas permukaan tanah dan diakhiri pada saat umbi mencapai bobot tertinggi dalam periode yang disebut lama pengisian umbi (penambahan bobot umbi per satuan waktu). Pada kondisi optimum, laju pengisian umbi dapat mencapai bobot basah 800 sampai 1000 kg ha⁻¹ hari⁻¹ (Beukema dan van der Zaag, 1979).

Menurut Beukema dan van der Zaag (1979), secara keseluruhan dikenal dua tipe fase pertumbuhan vegetatif dan fase pertumbuhan generatif tanaman kentang, yaitu (1) tipe daur pendek, yang dicirikan dengan bobot brangkasan rendah, inisiasi umbi lebih awal, umur relatif pendek sehingga panen lebih cepat, dan menghasilkan umbi yang lebih rendah daripada tipe daur panjang, (2) tipe daur panjang, yang dicirikan dengan bobot brangkasan besar, inisiasi umbi terlambat, umur lebih panjang sehingga mampu menghasilkan umbi kentang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe daur pendek (Gambar 1).

Mekanisme Pembentukan Umbi

Mekanisme pembentukan umbi pada tanaman kentang sampai sekarang belum diketahui dengan jelas walaupun penelitian tentang proses pembentukan umbi sudah dimulai sejak tahun 1878 oleh de Vries (Harris, 1978). Baru pada tahun 1958 Gregory mengemukakan teori adanya suatu senyawa menyerupai hormon yang berperan dalam pembentukan umbi dan sampai sekarang teori itu dianut oleh banyak peneliti yang mencoba untuk menjelaskan mekanisme pembentukan umbi.



Gambar 1. Pola pertumbuhan relatif tanaman kentang kultivar berumur genjah dan kultivar berumur dalam

Dalam proses pembentukan umbi berlangsung dua bagian proses penting, yaitu pembentukan stolon dan pembentukan umbi dari stolon tersebut. Menurut Kumar dan Wareing (1972) dan Harris (1978), stolon adalah perubahan bentuk dari tunas batang yang biasanya ada di bawah permukaan tanah. Stolon berbeda dengan tunas batang karena ruasnya panjang, sisik daun kecil dengan ujung membengkok, sedikit mengandung klorofil, serta tumbuh lateral. Faktor-faktor yang mendorong perkembangan stolon adalah tunas apikal, keadaan gelap, lembab, dan hormon tumbuh, tetapi setek batang yang tidak mempunyai tunas apikal dan hanya mempunyai sebuah mata tunas samping dan tanpa akar ternyata juga bisa membentuk stolon. Dengan akar justru tidak membentuk stolon, melainkan membentuk tunas batang (Kumar dan Wareing, 1972).

Kumar dan Wareing (1972) menyatakan bahwa pengaruh akar berkaitan dengan kandungan sitokinin dan GA3. Kandungan sitokinin yang rendah akan merangsang terbentuknya stolon menjadi tunas batang karena cahaya akan merangsang aktivitas GA3. Untuk membentuk stolon, diperlukan lingkungan yang gelap bagi tunas stolon. Menurut Lezica (1970), dalam pembentukan stolon harus ada keseimbangan hormon di antara auksin, asam giberelat, dan sitokinin meskipun ditemukan kadar asam giberelat yang tinggi pada fase pembentukan stolon. Ditambahkan oleh Kumar dan Wareing (1972) bahwa pemberian GA3 saja tidak dapat merangsang terbentuknya stolon karena harus diikuti dengan pemberian auksin.

Menurut Moorby (1978), stolon yang terbentuk belum pasti akan berubah menjadi umbi karena bisa berubah tumbuh ke atas menjadi batang. Pembentukan umbi dimulai di daerah di bawah stolon apikal dengan pembengkakan ruas pertama (Plaisted, 1975), yaitu pada sel-sel parenkhima jaringan floem dalam dan luar (Reeve *dkk.*, 1973; Burton, 1981). Fase itu dinamakan fase inisiasi umbi. Dijelaskan oleh Levy (1978) bahwa saat inisiasi umbi merupakan faktor penting dalam penentuan hasil, khususnya di daerah bersuhu tinggi, yang karena suhu tinggi, inisiasi umbi sering terhambat.

Melis dan van Staden (1984) menyatakan bahwa pada pertumbuhan tanaman kentang terjadi persaingan antara pertumbuhan vegetatif dengan pertumbuhan umbi pada saat pembentukan umbi. Dengan demikian, jika keadaan lingkungan lebih mendorong pertumbuhan vegetatif, pertumbuhan umbi akan terhambat. Sebaliknya, terdapat pengaruh pertumbuhan umbi terhadap

pertumbuhan vegetatif (daun) atau pengaruh penerima (*sink*) terhadap aktivitas fotosintesis. Hal itu benar karena laju penimbunan asimilat dalam daun akan turun jika umbi yang sedang tumbuh dibuang dari batang (Moorby dan Milthorpe, 1975).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Umbi

Ada dua faktor yang mempengaruhi pembentukan umbi, yaitu faktor dalam dan faktor lingkungan. Faktor dalam terdiri atas hormon tumbuh dan metabolisme karbohidrat, sedangkan faktor lingkungan terdiri atas panjang hari, suhu, kelembaban, dan hara.

Menurut Palmer dan Smith (1969), hormon tumbuh merupakan faktor penting dalam pembentukan umbi. Sitokinin berperan karena memacu pembelahan sel, menghambat pemanjangan sel, dan memacu pembesaran sel. Mauk dan Langile (1978) menyatakan bahwa kinetin merangsang pembentukan umbi pada stolon yang dikulturkan. Hayata dan Suzuki (1982) menyatakan bahwa kadar sitokinin naik dengan tajam sesaat sebelum inisiasi umbi. Kadar sitokinin tersebut tetap tinggi sampai umbi mendekati masak, kemudian turun (Okazawa, 1967). Sitokinin memacu pembentukan umbi dengan jalan menghambat aktivitas hidrolisis pati dan sebaliknya merangsang aktivitas sintesis pati (Smith dan Palmer, 1970). Ahmed dan Sagar (1981) menyatakan bahwa pemberian BA (sitokinin) dan NAA (auksin) melalui daun atau akar dapat menambah bobot dan jumlah umbi walaupun pemberiannya dilakukan setelah saat inisiasi umbi.

Penelitian Kumar dan Wareing (1973) sampai pada simpulan bahwa asam giberelat dapat menghambat inisiasi umbi dan memacu pertumbuhan bagian atas, bahkan menurut Lovell dan Booth (1967), pemberian asam giberelat (GA3) dapat menghambat pertumbuhan umbi walaupun inisiasi umbi telah terbentuk, kemudian diikuti dengan penyaluran kembali asimilat dari umbi yang sudah terbentuk ke jaringan meristem pada bagian atas tanaman, pada hal pada saat inisiasi umbi penyaluran asimilat terjadi dari tanaman bagian atas ke arah stolon, kemudian diikuti dengan penimbunan pati walaupun kadang-kadang belum ada tanda pembesaran umbi. Menurut Lezica (1970), aktivitas GA3 dalam daun tinggi pada saat pembentukan stolon, kemudian turun drastis pada saat inisiasi umbi. Rendahnya kadar GA3 pada tanaman dapat disebabkan oleh adanya hari pendek, pemberian zat penghambat tumbuh seperti CCC (Krauss dan Sattelmacher, 1979), ABA (Krauss, 1981), dan paclobutrazol (Balami dan Poovarah, 1985).

Kandungan GA3 dalam tanaman dapat meningkat karena suhu tinggi. Demikian pula, pemberian N pada tanaman secara terus menerus dapat meningkatkan kandungan GA3 daun.

Metabolisme karbohidrat merupakan faktor penting dalam pembentukan umbi. Sukrosa diperlukan untuk pembentukan umbi, tetapi tidak untuk memacu pembentukan umbi. Walaupun begitu, proses pembentukan umbi selalu dihubungkan dengan konsentrasi gula larut yang tinggi pada ujung stolon atau kondisi yang menuju ke arah tersebut. Pada penelitian lain tidak ditemukan adanya hubungan antara kandungan gula pada ujung stolon dengan pembentukan

umbi. Menurut Palmer dan Barker (1973), jika stolon diberi kinetin, terjadi penurunan kandungan gula tereduksi yang diikuti dengan sintesis pati secara cepat. Pada saat inisiasi umbi kandungan gula tereduksi dan sukrosa terdapat pada taraf yang tinggi (masing-masing 0,75 % dan 1,5 % bobot basah), kemudian terjadi penurunan kadar sukrosa pada saat umbi mulai tumbuh (Davies, 1984) dan saat menjelang panen kedua jenis gula tersebut akan naik lagi, dengan kenaikan kadar gula tereduksi lebih tinggi daripada gula sukrosa (Sowokinos, 1976).

Kandungan gula tereduksi pada saat panen dipengaruhi oleh lingkungan, terutama suhu, sedangkan di antara varietas terdapat perbedaan kandungan gula pada saat awal pembentukan umbi dan pada saat menjelang panen (Harris, 1978).

Menurut Moorby and Milthorpe. (1975), asimilat karbon ditranslokasi ke umbi dalam bentuk sukrosa, kemudian digunakan sebagai bahan dalam sintesis pati. Pembentukan pati diawali dengan meningkatnya aktivitas sintesis pati yang berarti terjadi peningkatan aktivitas enzim ADP-glukose pirofosforilase dan UDP-glukose pirofosforilase. Pada saat sebelum terjadi inisiasi umbi, aktivitas enzim UDP-glukose pirofosforilase lebih besar dibandingkan dengan ADP-glukose pirofosforilase, tetapi pada saat inisiasi umbi terjadi sebaliknya (Sowokinos, 1976). Aktivitas ADP-glukose pirofosforilase dihubungkan dengan fase pembagian sel-sel prokambium menjadi organ-organ umbi. Hal itu diduga ada hubungan dengan kecepatan inisiasi umbi. Menurut Harris (1978), kandungan gula tereduksi berbeda di antara varietas, baik pada awal pembentukan umbi maupun pada akhir pembentukan umbi. Hasil penelitian Dwelle *dkk.* (1981) menunjukkan bahwa di antara 23 klon yang diuji terdapat perbedaan aktivitas

ADP-glukose pirofosforilase, tetapi tidak ada pengaruh terhadap produksi umbi. Karena masih belum banyak bukti, perbedaan kandungan gula diduga bukan karena pengaruh aktivitas enzim, melainkan karena perbedaan asimilat dari daun (Harris, 1978). Burt (1964) mendapatkan bukti tentang pengumpulan asimilat sebelum inisiasi umbi, sedangkan Lovell dan Booth (1967) tidak menemukan adanya akumulasi gula, tetapi terjadi peningkatan kandungan pati.

Panjang hari sebagai salah satu faktor lingkungan sangat menentukan dalam pembentukan umbi. Hari pendek diperlukan untuk merangsang pembentukan umbi, sedangkan hari panjang diperlukan untuk menghambat pembentukan umbi. Menurut Hammes dan Nelson (1975), hari panjang memacu pertumbuhan bagian atas tanaman sehingga pembentukan umbi menjadi terlambat 3 sampai 5 minggu dibandingkan dengan hari pendek. Forsline dan Langille (1975) menyatakan adanya stimulus hari pendek dalam pembentukan umbi melalui percobaan sambungan batang antara tanaman yang tumbuh dalam hari pendek dengan tanaman yang tumbuh dalam hari panjang secara bolak-balik. Terlihat adanya stimulus pembentukan umbi yang ditransmisi menerobos sambungan dari batang atas ke batang bawah. Jika batang atas merupakan tanaman hari pendek, umbi cepat terbentuk, sedangkan jika batang atas merupakan tanaman hari panjang, umbi lama terbentuk, bahkan tidak terbentuk sama sekali.

Pereira dan Valio (1984) menyatakan bahwa jika tanaman hari pendek diberi GA₃, responsnya sama dengan tanaman hari panjang. Menurut Hammes dan Nelson (1975), tanaman hari pendek bisa membentuk umbi pada suhu rendah

(3 sampai 5 °C) dan pada suhu yang lebih tinggi (20 sampai 22 °C), tetapi hari panjang sebaliknya.

Di daerah subtropika suhu rendah sangat diperlukan untuk pembentukan umbi berbagai varietas. Tanaman yang masih terlalu muda ternyata dapat membentuk umbi jika disimpan pada suhu 7 °C selama 7 hari. Di daerah beriklim subtropis dan dataran tinggi tropika pembentukan umbi terjadi dengan baik pada suhu siang 25 °C dan suhu malam 17 °C atau lebih rendah dengan inisiasi umbi pada umur 28 HST (Hay dan Allen, 1978). Di daerah subtropika lama pengisian umbi hanya 50 hari, sedangkan di daerah beriklim tropis 100 hari. Hal itu tidak sesuai dengan umur tanaman di daerah tropika yang hanya tiga bulan dengan lama pengisian umbi 60 hari. Di dataran rendah dengan suhu kritis tentunya lama pengisian umbi lebih pendek. Ada pendapat lain bahwa suhu tinggi (27 °C) tidak menghambat inisiasi umbi asalkan hari panjang dan intensitas cahaya matahari tinggi, hanya saja tidak ada batasan sampai suhu berapa masih bisa ditoleransi oleh panjang hari dan intensitas cahaya berapa yang tidak membahayakan, apalagi jika suhu tersebut di atas suhu kritis (30 °C) (Hay allen, 1978).

Menurut Ewing (1981), tekanan suhu tinggi dapat menurunkan hasil umbi kentang melalui dua hal, pertama, rendahnya laju fotosintesis dalam penyediaan asimilat untuk seluruh pertumbuhan tanaman dan, kedua, mengurangi distribusi karbohidrat ke umbi sehingga hasilnya rendah. Mares *dkk.* (1981) menyatakan bahwa pengaruh suhu udara tinggi dalam pembagian asimilat dan kandungan pati dalam umbi sebanding dengan pemberian asam giberelat, yaitu penurunan laju

pertumbuhan umbi, penghambatan terhadap pembentukan pati, dan penekanan terhadap aktivitas enzim ADP-glukose pirofosforilase.

Suhu tanah optimum menurut Ng dan Loomis (1984) adalah 15 °C. Menurut Krauss dan Marschner (1984), laju perkembangan umbi yang masih melekat pada tanaman, jika diperlakukan dengan suhu 30 °C selama 6 hari, akan turun dalam jangka waktu 3 sampai 5 hari dan akhirnya tidak tumbuh sama sekali, sedangkan umbi tanaman yang diletakkan pada suhu 20 °C ternyata dapat bertambah besar. Pada suhu tanah 30 °C aktivitas beberapa enzim yang berperan dalam metabolisme pati tertekan sehingga terjadi penurunan kadar pati umbi yang secara langsung menghambat perombakan gula menjadi pati.

Midmore (1984) menyatakan bahwa suhu tanah tidak hanya mempengaruhi hasil, tetapi juga mempengaruhi saat tumbuh, saat inisiasi, bentuk daun, jumlah daun, dan struktur percabangan. Suhu tanah siang dan malam yang rendah mempercepat pertumbuhan tanaman, sedangkan suhu tanah siang dan malam tinggi memperlambat tumbuhnya tanaman di atas tanah. Suhu tanah siang hari lebih berpengaruh dibandingkan dengan suhu tanah malam hari. Suhu tanah tinggi pada siang hari (40 °C) menurunkan laju pertumbuhan umbi, sedangkan suhu tinggi malam hari (26 °C) tidak berpengaruh. Pengaruh suhu tanah tinggi terhadap bobot kering umbi mempunyai hubungan erat dengan pertumbuhan vegetatif tanaman. Indeks panen pada tanaman yang tumbuh dengan suhu tanah lebih tinggi selama pertumbuhannya rata-rata 10 % lebih rendah dibandingkan dengan yang tumbuh pada suhu tanah yang lebih rendah (Midmore, 1984).

Faktor lingkungan lainnya yang mempengaruhi pembentukan umbi adalah kelembaban dan kesuburan tanah. Hasil penelitian Levy (1983) di rumah kaca dengan suhu 31/13 °C menunjukkan bahwa pemberian air setiap 6 sampai 10 hari menyebabkan penurunan hasil sebesar 40 sampai 70 % dibandingkan dengan tanaman yang disiram setiap dua hari sekali. Jumlah umbi juga berkurang pada tanaman yang mengalami kekurangan air. Jika pada akhir masa pertumbuhan diberikan cukup air, hasil bisa naik sebesar 50 %, tetapi pada beberapa varietas yang diuji umbinya mengalami retak-retak (Sale, 1973). Tanaman terpengaruh hasilnya jika potensi air tanah pada kedalaman 30 cm mencapai 0,04 MPa atau pada kelembaban 60 % kapasitas lapang (Shimshi dan Susnoshi, 1983).

Pupuk N merupakan unsur hara penting karena memacu perpanjangan sel dan pertumbuhan vegetatif dan mengundurkan saat inisiasi, meningkatkan hasil dan kandungan protein umbi, dan mempengaruhi indeks panen. Pemberian pupuk N saja tidak banyak berpengaruh terhadap hasil, bahkan bisa menurunkannya dengan memperlambat saat inisiasi umbi sehingga perlu diimbangi dengan pemberian pupuk P dan K. Augustin *dkk.* (1977) menambahkan bahwa pemberian hara, khususnya N, harus diimbangi dengan pengairan yang cukup karena pada tanah kering bisa menaikkan kadar nitrat umbi dan pada taraf tertentu kadar nitrat dalam umbi dapat beracun bagi konsumen.

2.2. Peran Porasi pada Tanah dan Tanaman

Hasil-hasil penelitian mengungkapkan bahwa penurunan produktivitas tanah dan efisiensi pupuk disebabkan oleh berkurangnya daya sangga tanah akibat penurunan kandungan bahan organik tanah (Karama *dkk.*, 1990).

Sarief (1989) menyatakan bahwa bahan organik dapat memperbaiki kualitas tanah. Ketersediaan bahan organik di dalam tanah ikut menentukan kesuburan tanah sebab bahan organik di dalam tanah berfungsi sebagai unsur hara, merangsang aktivitas mikroorganisme tanah, dan memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah.

Pengkajian yang lebih banyak pada aspek biologi jasad renik dan pupuk biologi merupakan alternatif yang potensial untuk memecahkan masalah-masalah seperti berkurangnya sumberdaya alam, perlindungan lingkungan, dan produktivitas tanaman, yaitu dengan memperbaiki kondisi daerah perakaran/rizosfer tanaman dan proses-proses yang terkait dengan penyerapan unsur hara (Elliot dan Miyashita, 1990).

Menurut Higa (1994), teknologi EM (mikroorganisme efektif) dalam bidang pertanian merupakan teknologi budidaya pertanian untuk meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah serta kestabilan produksi pertanian dengan menggunakan mikroorganisme yang bermanfaat bagi lingkungan dan tanaman.

Bahan organik merupakan sumber utama energi bagi aktivitas jasad renik. Oleh karena itu, penggunaan inokulan mikroorganisme tertentu akan lebih efektif perannya jika disertai dengan penambahan bahan organik.

Beberapa hasil penelitian tentang bakteri pelarut hara menunjukkan bahwa pemberian bakteri jenis tertentu yang mampu melarutkan unsur hara tertentu meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara yang bersangkutan (Young *dkk.*, 1990). Kemudian menurut Linch (1983), stabilitas agregat tanah secara umum meningkat dengan makin banyaknya jumlah mikroba

pemantap agregat yang ditambahkan. Selanjutnya Goenadi *dkk.* (1995) menyatakan bahwa *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Streptomyces* sp., dan *Aspergillus* sp. mempunyai kemampuan dalam menghasilkan enzim Urea reduktase dan fosfatase yang berperan penting dalam penambatan N bebas dari udara dan pelarut fosfat dari senyawa P sukar larut. Selain itu, mikroba tersebut menghasilkan asam-asam organik pelarut fosfat dan/atau polisakarida ekstraseluler yang berguna sebagai perekat dalam pembentukan agregat mikro. Perekat partikel tanah akan mendorong terbentuknya butiran tanah yang mantap sehingga aerasi lebih baik dan secara keseluruhan tanah menjadi lebih tahan terhadap erosi.

Proses fermentasi bahan organik dapat dilakukan dengan menambahkan inokulan mikroorganisme tertentu, yaitu M-Bio, langsung pada bahan organik yang hasilnya dikenal dengan nama porasi. Bahan organik ditambah gula/molase, dedak/sekam, dan air sebelum diinokulasi dengan M-Bio. Dalam pembuatan porasi, dapat dimanfaatkan segala macam bahan organik yang banyak terdapat di sekitar lahan pertanian. Sebagai contoh, dapat digunakan bahan organik berupa dedak padi, dedak jagung, serbuk gergaji, sabut dan tempurung kelapa, kulit kacang, sekam padi, jerami, rumput, kotoran semua jenis ternak, sampah dapur, dan bahan sejenis lainnya. Namun, dedak padi sangat dianjurkan sebagai bahan penting untuk porasi karena mengandung gizi yang sangat baik bagi perkembangan mikroorganisme. Untuk meningkatkan keragaman mikroba, dianjurkan penggunaan paling sedikit tiga macam bahan organik. Penambahan arang kayu atau arang sekam atau juga zeolit pada porasi akan memperbaiki

kondisi fisik dan kemampuan tanah untuk mempertahankan unsur hara di dalamnya. Proses pembuatan porasi tidak memerlukan waktu yang lama.

Porasi merupakan bahan organik yang diberi inokulan kultur mikroorganisme tertentu. Inokulan mikroorganisme tersebut dikenal dengan nama dagang M-Bio. M-Bio merupakan salah satu EM yang digunakan dalam pertanian yang merupakan campuran mikroorganisme menguntungkan seperti ragi 7×10^2 populasi ml^{-1} , *Lactobacillus* sp. 55×10^2 populasi ml^{-1} , bakteri pelarut fosfat 8×10^4 populasi ml^{-1} , dan *Azospirillum* sp. 15×10^2 populasi ml^{-1} , di samping unsur hara makro dan mikro seperti N, P, K, S, Mo, Fe, Mn, dan B yang dapat memperbaiki sifat kimia tanah sehingga dapat meningkatkan kegiatan mikroorganisme tanah yang berarti meningkatkan kesuburan biologi tanah. Ketersediaan unsur hara juga merupakan hal yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena kandungan unsur hara akan membantu memperlancar proses metabolisme tanaman, di antaranya proses fotosintesis, sehingga fotosintat yang dihasilkan lebih tinggi yang selanjutnya akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman yang akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman (Hayati Lestari Indonesia, 1994).

Kultur campuran mikroorganisme yang terdapat dalam M-Bio tersebut antara lain ragi (*yeast*), *Lactobacillus* sp., bakteri pelarut fosfat (*solubilizing phosphate bacteria*), dan *Azospirillum* sp. yang bekerja secara berkesinambungan dan saling mengisi satu sama lain dalam memfermentasi bahan organik, baik yang terdapat di alam/tanah maupun bahan organik yang disediakan sebelumnya. Bahan organik itu diaplikasikan sebagai 'Pupuk Organik Cara Fermentasi'

(Porasi) atau dapat juga diaplikasikan ke tanah yang mengandung bahan organik (Priyadi, 1998).

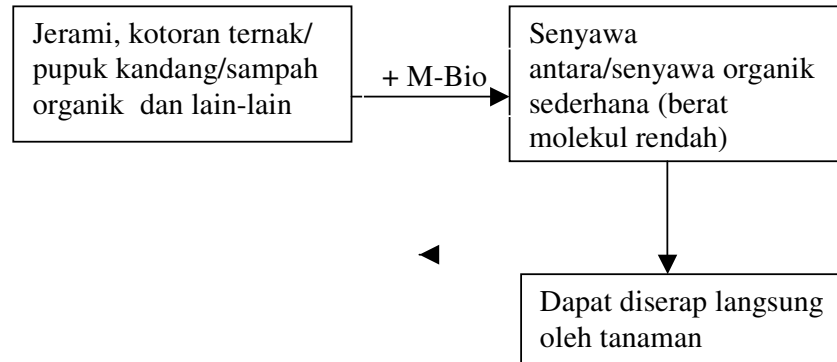
Menurut Subadiyasa (1997), perombakan bahan organik dapat terjadi melalui (1) proses oksidatif (pembusukan) oleh bakteri aerob yang ditandai dengan bau busuk hasil pelepasan gas amoniak, hidrogen sulfida, dan metan (dihasilkan ion-ion anorganik, gas, dan panas dan masih terikat oleh molekul-molekul lainnya), dan (2) proses fermentasi oleh mikroorganisme anaerob. Pada proses fermentasi akan dihasilkan senyawa organik (asam laktat, alkohol, vitamin, gula, asam amino).

Peran dan fungsi mikroorganisme yang terdapat dalam EM (efektif mikroorganisme) adalah sebagai berikut: (1) ragi, menghasilkan berbagai enzim dan hormon sebagai senyawa bioaktif untuk pertumbuhan tanaman, (2) *Lactobacillus* sp., berperan meningkatkan dekomposisi atau pemecahan bahan organik seperti lignin dan selulosa dan menghasilkan asam laktat, (3) bakteri pelarut fosfat, dapat melarutkan zat-zat organik (P, Ca, Mg, dan lainnya) dan zat-zat/senyawa-senyawa organik (gula, asam amino, alkohol, asam organik), dan (4) *Azospirillum* sp., dapat mengikat N udara. Mikroorganisme yang menguntungkan ini secara aktif mempengaruhi mikroorganisme tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah (Higa, 1994).

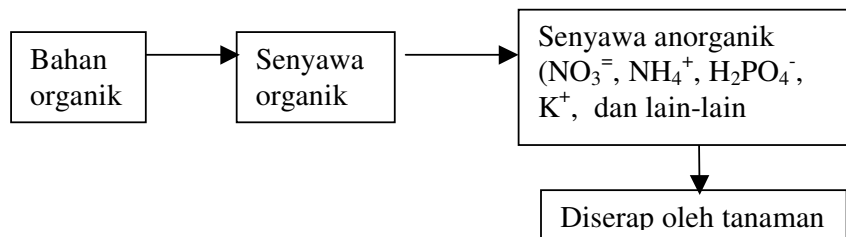
Higa (1992, dikutip Wididana, 1994) menjelaskan bahwa EM dapat memacu pertumbuhan tanaman dengan cara: (1) memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah, (2) memacu pertumbuhan tanaman dengan cara mengeluarkan pengatur tumbuh, (3) melarutkan unsur hara dari batuan induk yang relatif susah

(a) Proses fermentasi pupuk organik (porasi)

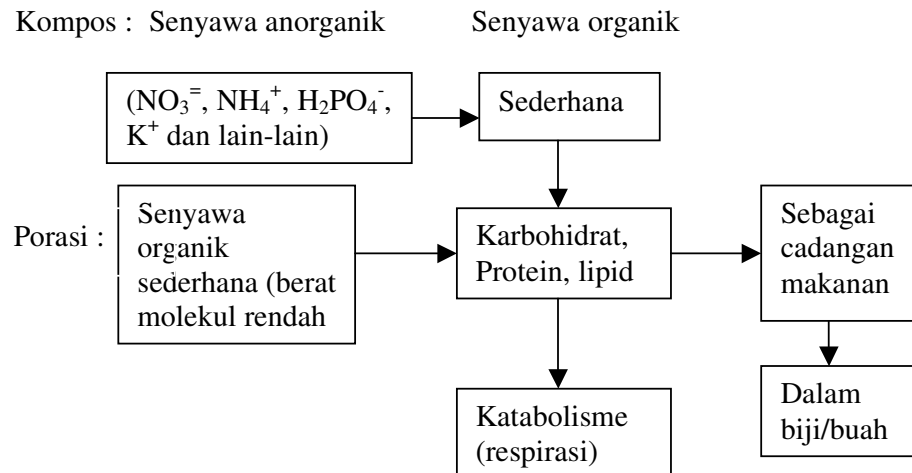
Bahan organik



(b) Proses pembusukan (putrefaksi) pupuk organik (kompos)



(c) Proses selanjutnya penyerapan nutrisi dari kompos dan porasi oleh tanaman



Sumber: Priyadi. 2004. Unsil, Tasikmalaya.

Gambar 2. Proses fermentasi dan pembusukan bahan organik

kelarutannya menjadi unsur tersedia, (4) menjaga tanaman dari serangan hama dan penyakit, (5) menyediakan molekul organik sederhana agar dapat diserap langsung oleh tanaman, dan (6) memperbaiki dekomposisi bahan organik dan residu tanaman serta mempercepat daur ulang unsur hara.

Menurut Priyadi (2004), peran dan fungsi mikroorganisme yang terdapat dalam M-Bio adalah: (1) mendekomposisi bahan organik secara fermentasi yang menguntungkan dan menimbulkan aroma yang harum, (2) melarutkan zat-zat anorganik (P, Ca, Mg, dan lain-lain) dan zat-zat/senyawa-senyawa organik (gula, asam amino, alkohol, asam organik), (3) meningkatkan humus tanah dan memperbaiki sifat tanah, (4) membentuk senyawa anti bakteri, ester, antioksidan (memecah O_2 yang berasosiasi dengan penyakit tertentu dari tanaman, hewan, dan manusia) dan beberapa senyawa yang merangsang pertumbuhan tanaman, (5) menekan atau mencegah patogen serta mengurangi atau menghilangkan fermentasi yang merugikan (dekomposisi/pembusukan yang menimbulkan bau busuk), dan (6) pembentukan ammonia, H_2S , dan beberapa senyawa karbon serta gas-gas yang berbahaya yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang merugikan.

Ho In-Ho dan Kim Ji-Hwan (2002) melaporkan bahwa EM lebih besar pengaruhnya terhadap pertumbuhan akar karena dengan EM yang mengandung IAA, aktivitas pertumbuhan akar meningkat 8 %.

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF)

Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang berkemampuan melarutkan P yang terfiksasi dalam tanah dan mengubahnya menjadi bentuk yang tersedia sehingga dapat diserap tanaman. Mikroorganisme

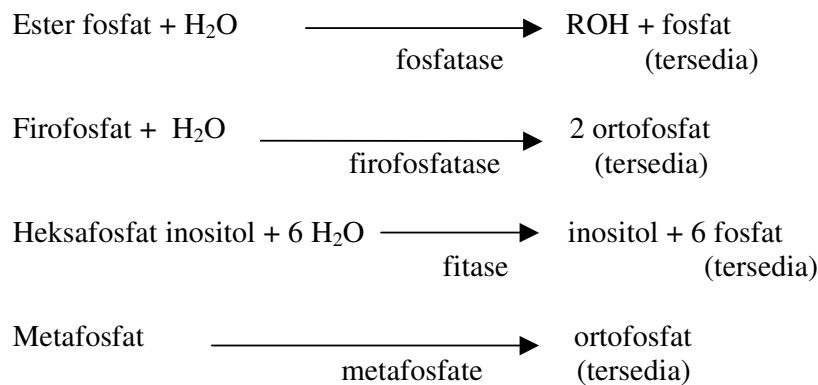
pelarut fosfat ini dapat berupa bakteri (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Escheria*, *Actinomycetes*, dan lain lain).

Mekanisme kerja BPF sehingga mampu melarutkan P tanah dan P asal pupuk yang diberikan diduga didasarkan pada sistem sekresi bakteri berupa asam organik, meningkatnya asam organik biasanya diikuti dengan pembentukan kelat dari Ca dengan asam organik tersebut sehingga P dapat larut dan P tersedia tanah meningkat. IIImer dan Schinner (1995) menyatakan bahwa mekanisme pelarutan fosfat dari bahan yang sukar larut banyak dikaitkan dengan aktivitas mikroba yang mempunyai kemampuan menghasilkan enzim fosfatase, fitase, dan asam organik hasil metabolisme seperti asam asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, dan ketoglutarat. Tetapi pelarutan P dapat pula dilakukan oleh mikroorganisme yang tidak menghasilkan asam organik, yaitu melalui, yaitu melalui: (1) mekanisme pelepasan proton (ion H^+) pada proses respirasi, (2) asimilasi amonium (NH_4^+), dan (3) adanya kompetisi antara anion organik dengan ortofosfat pada permukaan koloid yang dapat pula menyebabkan terjadinya mobilizáis ortofosfat (IIImer dan Schinner (1995)).

Menurut Narsian dan Patel (2000) pelarutan P oleh mikroorganisme pelarut fosfat selain terjadi karena proses kelasi dan reaksi pertukaran, juga disebabkan oleh menurunnya pH rizosfer akibat adanya asam oragnik. Sebelumnya Kirk (1999) berpendapat bahwa mekanisme utama agar tanaman dapat mengekstrak P dari sumber-sumber yang tidak dapat larut terjadi melalui: (1) produksi asam organik yang dapat menyebabkan pH rizosfer menurun (penurunan pH itu menjadi penting jika banyak asam organik yang diekskresikan), (2) produksi asam

organik yang dapat berkompetisi dengan P pada tempat adsorpsi, dan (3) produksi asam organik dapat membentuk kompleks yang dapat larut dengan ion logam dan membebaskan P.

Tan (1995) menyatakan bahwa selain enzim fosfatase yang dihasilkan oleh BPF yang dapat menghasilkan fosfat bebas, ada pula lain lain yaitu enzim fitase, firofosfatase, dan metafosfatase. Reaksi pelarutan oleh berbagai enzim pelarut P dapat ditulis sebagai berikut:



Hasil penelitian Belimov *dkk.* (1995) menunjukkan adanya efek interaksi positif antara *Azospirillum lipoferum*-137 (bakteri penambat N₂) dan *Agrobacterium radiobacter*-10 (BPF) dalam meningkatkan hasil barley kultivar Belogorsky dan Temp masing-masing sebesar 20 dan 12,5 % dibandingkan dengan control. Penelitian lain dengan inokulasi BPF *Pseudomonas alcalidenes* dan *Pseudomonas mendocina* dapat meningkatkan efisiensi pemupukan P hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa inokulasi (masing-masing 78,25 dan 93,37 %) Adu Tae (2004).

Direktorat Bina Produksi Hortikultura dan IKNFS (1994) melaporkan hasil penelitiannya bahwa dengan pemberian EM dapat meningkatkan hasil bawang

putih, bawang merah, dan tomat dibandingkan tanpa EM. Pada bawang putih pemberian EM dengan konsentrasi 5 ml L⁻¹ air yang diberikan satu kali seminggu menyebabkan persentase susut bobot terkecil, sedangkan pada bawang merah persentase paling rendah adalah pada perlakuan dengan konsentrasi 10 ml L⁻¹ air yang diberikan satu kali seminggu.

Priyadi (1998) melaporkan bahwa penggunaan M-Bio yang diaplikasikan melalui kotoran sapi sebanyak 6 sampai 10 t ha⁻¹ dengan tidak menambahkan pupuk buatan atau pupuk organik menghasilkan gabah kering panen sebanyak 7,07 sampai 7,68 t ha⁻¹, sedangkan dengan pemberian pupuk buatan sesuai dengan dosis anjuran hanya memberikan hasil gabah kering panen sebanyak 6,98 t ha⁻¹. Hasil penelitian Priyadi (2001) menunjukkan bahwa dengan menggunakan M-Bio yang diaplikasikan dengan kotoran domba sebanyak 9,63 t ha⁻¹ dengan tidak menambahkan pupuk buatan atau pupuk organik menghasilkan biji kering kedelai kultivar Slamet maksimum sebesar 2,5 t ha⁻¹.

Dengan pemberian porasi, hasil tanaman padi 2,0 t ha⁻¹ lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa porasi kotoran ayam. Penggunaan porasi kotoran ayam yang berlebih tidak akan menimbulkan pengaruh buruk bagi tanaman atau tanah, tidak seperti pemberian pupuk kimia yang semakin tinggi dosisnya yang akan menimbulkan akibat buruk pada tanaman dan tanah.

2.3. Karakteristika, Asosiasi, dan Peran *Azospirillum* sp.

Jasad penambat N *Azospirillum* sp. yang sebenarnya sudah lama dikenal seolah-olah terlupakan selama puluhan tahun sejak pertama kali ditemukan oleh Beijerinck. Baru pada tahun 1974 setelah Day dan Dobereiner mengamati adanya

asosiasi yang erat antara jasad tersebut dengan perakaran berbagai rerumputan tropika, banyak ahli mulai tertarik untuk melakukan penelitian mengenai jasad renik tersebut. Nama *Azospirillum* sebagai genus bakteri penambat N₂ diajukan oleh Krieg dan Tarrand (1978) sebagai pengganti *Spirillum lipoferum* yang dikemukakan pertama kali oleh Beijerinck pada tahun 1925.

Pada mulanya *Azospirillum* sebagai genus mencakup dua spesies yang dikenal, yaitu *Azospirillum lipoferum* dan *Azospirillum brasilense*. Sekarang ada lima species tambahan, yaitu *Azospirillum amazonense*, *A. dobereineriae*, *A. halopraeferens*, *A. irakense*, dan *A. largimobile* (DSMZ (2003). Menurut Dobereiner (1991), karakteristik spesies tersebut adalah seperti tercantum pada Tabel 1. Gadagi *dkk.* (2002) menyatakan bahwa di antara bakteri penambat N yang hidup bebas, *Azospirillum* sp. merupakan bakteri yang dominan dalam menambat N₂.

Menurut Rocha *dkk.* (1981) dan El-Komi *dkk.* (1998), akar tanaman kelompok C₄ seperti jagung, sorgum, tanaman rumput-rumputan, dan beberapa jenis tanaman lainnya secara istimewa dikolonisasi oleh *Azospirillum lipoferum*, sedangkan akar tanaman kelompok C₃ seperti gandum, padi, dan *oats* umumnya dikolonisasi oleh *Azospirillum brasilense*. Hal itu terjadi karena adanya sifat kemotaksis *Azospirillum* sp. terhadap asam organik yang dihasilkan sebagai eksudat akar tanaman inang. Menurut James dan Olivares (1997), bakteri *Azospirillum* sp. digolongkan ke dalam kelompok bakteri *diazotrof endofitik fakultatif* karena bakteri itu mengandung enzim nitrogenase dan mampu

menambat N secara hayati dan dapat hidup dalam jaringan akar dan mengkolonisasi permukaan akar.

Azospirillum brasilense dapat dijumpai pada berbagai jenis tanah, rizosfer, dan tanaman serta dapat diinokulasi dari rizosfer gandum. Umumnya *A. brasilense* dijumpai pada tanah bertekstur pasir-liat berpasir (Ladha dan Watanabe, 1987, dan Zaki *dkk.*, 1992), tanah aluvial, laterit, dan salin sulfat

Tabel 1. Karakteristika empat spesies *Azospirillum* sp.

Karakteristika	<i>A. brasilense</i>	<i>A. lipoferum</i>	<i>A. amazonense</i>	<i>A. halopraeferens</i>
Lebar sel (μm)	1.0 - 1.2	1.0 - 1.5	0.8 - 1.0	0.7 - 1.0
Sel pleomorfik	-	+	+	+
Flagella	MP, L	MP, L	MP, L	MP, L
Kebutuhan biotin	-	+	-	+
Dissimilasi:				
$\text{NO}_3^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^-$	+	+	+/-	+
$\text{NO}_2^- \longrightarrow \text{N}_2\text{O}$	+	+	-	+
Pertumbuhan anaerob tergantung NO_3^-	+	+	-	TD
Penggunaan:				
glukosa	-	+	+	-
sukrosa dan maltosa	-	-	+	-
Ketoglutarat	-	+	-	+
pH optimal	6.0 - 7.8	5.7- 6.8	5.7 - 6.5	6.8 - 8.0

Keterangan: + = ada

- = tidak ada

L = lateral

MP = monopolar

TD = tidak ditemukan

Sumber: Döbereiner (1991)

masam yang disawahkan (Charyulu dan Rajaramamohan Rao, 1980), Mollisols, Vertisols, dan Ultisols (Ladha dan Watanabe, 1987), serta tanah salin (Rai dan Gaur, 1991). Berdasarkan pengamatan tentang distribusi ekologi *Azospirillum* sp. dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa bakteri tersebut

dapat hidup dengan baik di daerah tropika dan subtropika dan dapat hidup pada semua jenis tanah dan perakaran tanaman. Penentu penting bagi tempat hidupnya di tanah adalah vegetasi dan pH tanah. Pada tanah hutan tropis dan sabana, bakteri hanya dijumpai secara sporadik. Jika lahan tersebut diusahakan, ternyata terjadi perkembangan bakteri di bawah rerumputan (Boddey dan Döbereiner, 1994).

Di antara beberapa tanaman tropis selain rumput, hanya ubi jalar, singkong, dan akar paku-pakuan saja yang berisi *Azospirillum* jika mikroorganisme itu diinokulasikan ke tanah. Pada tanaman rumput *Digitaria* dan jagung, akar tanaman terinfeksi dan bakteri ditemukan di dalam akar. Jumlah bakteri pada akar tanaman terinfeksi diperoleh dari tanaman yang diinokulasi di lapangan sebanyak $9,0 \times 10^6$ sel g^{-1} akar tidak steril dan $1,6 \times 10^6$ g^{-1} akar steril (Okon, 1985).

Dibandingkan dengan spesies lain, *Azospirillum brasilense* atau *Azospirillum lipoferum* mempunyai kisaran toleransi yang lebih luas, tetapi efisiensi fiksasi N_2 tetap menurun dengan terbatasnya oksigen (Del Gallo *dkk.*, dikutip Döbereiner, 1991). Daerah penyebaran *Azospirillum brasilense* cukup luas, dari daerah temperat dengan kisaran suhu 10 sampai 20 °C, subtropika, mediteran, sampai padang rumput tropis yang bersuhu 10 sampai 30 °C. Di daerah beriklim kering terlalu lama seperti Israel, spesies itu jarang ditemukan. Temperatur optimum bagi diazotrof mikroaerob adalah 32 sampai 36 °C yang menjelaskan mengapa organisme itu lebih umum dijumpai di kawasan subtropika dan tropika (Döbereiner, 1991).

Karakteristika organisme untuk tumbuh subur pada rizosfer adalah: (1) kemampuan bertahan terhadap perubahan fisika dan kimia lingkungan tanah, (2) kemampuan tumbuh dengan baik dan memperoleh energi yang diperlukan dari suplai karbon dan mineral pada zona perakaran, dan (3) dapat berkompetisi secara memuaskan dengan organisme rizosfer lainnya dalam keadaan energi terbatas dan nutrisi yang tersedia.

Bakteri *Azospirillum* merupakan mikroba penambat N yang hidup berasosiasi dengan tanaman di dalam akar. Asosiasi antara *Azospirillum* dengan akar tanaman mampu meningkatkan efisiensi pemupukan. Menurut Hastuti dan Gunarto (1993), asosiasi antara *Azospirillum* sp. dengan tanaman diduga bersifat simbiosis karena bakteri itu menggunakan senyawa malat sebagai sumber C untuk pertumbuhannya. Kefalogianni dan Anggelis (2002) menambahkan bahwa asosiasi yang bersifat simbiosis antara *Azospirillum* sp. dengan tumbuhan berlangsung karena bakteri menerima fotosintat dari tumbuhan dan sebaliknya bakteri menyediakan N untuk tumbuhan dari N yang difiksasinya, zat pengatur tumbuh, vitamin, dan unsur besi.

Beberapa laporan menunjukkan pengaruh positif inokulasi *Azospirillum* terhadap pertumbuhan tanaman (Elmerich, 1984; Okon, 1985; Michiels *dkk.*, 1989). Penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa bakteri *Azospirillum* dapat meningkatkan laju yang tinggi fiksasi N pada kondisi optimum. Kemampuan bakteri untuk bertahan tumbuh dan membentuk koloni pada rizosfer tanaman merupakan kondisi awal minimum yang harus dimiliki dalam potensinya untuk mengikat N.

Interaksi antara *Azospirillum* dengan tanaman dapat terjadi dalam rizosfer atau jaringan akar, tetapi tanpa struktur spesifik seperti pada simbiosis *Rhizobium* dengan tanaman legum. Asosiasi itu dapat terjadi terutama karena kemampuan spesies itu dalam memanfaatkan eksudat-eksudat akar secara aktif.

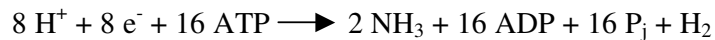
Menurut Del Gallo dan Fendrik (1994), ada beberapa proses terjadinya asosiasi *Azospirillum* sp. pada tanaman, yaitu (1) bakteri tertarik secara kimia (kemotaksis) oleh eksudat akar, baik secara spesifik maupun tidak spesifik dengan senyawa protein dan senyawa C spesifik, (2) bakteri melekat pada permukaan akar, ikatan tersebut lepas dan dibantu oleh flagella dan beberapa komponen senyawa *glycecalyx* (fase pelekatan 1), yang selama tahap ini aglutinasi dapat diinduksi oleh lektin, namun belum diketahui fenomena itu merupakan respons positif atau negatif terhadap tanaman, (3) ada pertukaran pesan antara tanaman dengan bakteri (melibatkan flavon/flavonoid seperti pada simbiosis *Rhizobium*, (4) serat-serat selulosa diproduksi oleh *Azospirillum* sp. yang melekatkan bakteria lebih kuat pada permukaan akar (fase pelekatan 2), dan (5) asosiasi sudah terjadi secara sempurna, terjadi produksi senyawa yang mendukung pertumbuhan tanaman oleh bakteria dan menstimulasi produksi hormon tanaman endogen, *Azospirillum* sp. sudah ada dalam *rhizoplane* (permukaan akar) dan dalam akar tanaman dan sel-sel *Azospirillum* sp. terlihat mempunyai kemampuan untuk mengubah bentuk yang bermacam-macam (pleomorfi).

Berhasil tidaknya proses fisiologi fiksasi N *Azospirillum*, menurut Michiels *dkk.* (1989), sangat ditentukan oleh berbagai hal, yaitu: (1) pengaruh oksigen, (2) pengaruh temperatur dan pH, (3) metabolisme nitrogen, (4)

metabolisme karbon, (5) aktivitas nitrogenase, (6) potensi dan efisiensi fiksasi N, dan (7) kecepatan fiksasi N.

Penambatan (fiksasi) N₂ oleh *Azospirillum* sp. dimungkinkan karena adanya enzim nitrogenase. Proses fiksasi N₂ dengan adanya enzim nitrogenase terjadi sebagai berikut: (1) energi ATP dan elektron feredoksin mereduksi protein Fe menjadi reduktan, (2) reduktan itu mereduksi protein MoFe yang kemudian mereduksi N₂ menjadi NH₃ dengan hasil sampingan berupa gas H₂, dan (3) bersamaan dengan itu terjadi reduksi asetilen menjadi etilen yang dapat digunakan sebagai indikator proses fiksasi N₂ secara biologis (Marschner (1986).

Menurut Michiels *dkk.* (1989), reaksi umum katalis nitrogenase adalah:



Potensi dan efisiensi fiksasi N *Azospirillum* cukup besar. Penelitian dengan isotop ¹⁵N memperlihatkan organisme itu mampu mengikat N oleh dirinya sendiri (tanpa asosiasi). Potensi *Azospirillum* berasosiasi dengan akar untuk memfiksasi N telah diteliti pada sistem akar inang yang dipotong yang mengalami prainkubasi sebelum uji asetilen dan langsung pada tanaman. Kecepatan fiksasi N (reduksi asetilen) yang lebih tinggi diperoleh dengan pemotongan akar daripada langsung dari tanaman.

Bakteri *Azospirillum* sp. dapat diisolasi dari sepotong akar yang tumbuh di lapangan dengan aktivitas nitrogenase aktif yang tinggi melalui penelusuran dengan metode ARA (*Acetylene Reduction Assay*). Bakteri terlihat berbentuk batang bengkok berbagai ukuran dengan bentuk setengah lingkaran atau sampai

lingkaran penuh (spiral) dan dengan refraksi tubuh lipid yang nyata. Sel bakteri sangat aktif dan motilitasnya sangat karakteristik (Hamdi, 1982).

Penelitian dengan menggunakan kultur yang diperkaya *Azospirillum* sp. memperlihatkan korelasi yang nyata antara kepadatan jasad renik dengan aktivitas nitrogenase (Döbereiner dan Day, 1976), yang memberikan petunjuk kuat bahwa organisme tersebut merupakan jasad renik utama yang paling berperan dalam penambatan N, yang secara tidak langsung ditunjukkan dengan kemampuan jasad tersebut mereduksi asetilen, sedangkan yang secara langsung ditunjukkan dengan kemampuannya menambat $^{15}\text{N}_2$.

Selanjutnya Gunarto *dkk.* (2001) menyatakan bahwa bakteri dari genus *Azospirillum* dapat diisolasi dari rizosfer dan perakaran berbagai varietas tanaman, termasuk sereal dan rumput. Bakteri itu merupakan mikroba penambat N yang hidup berasosiasi dengan tanaman di dalam akar. Asosiasi antara *Azospirillum* dengan akar tanaman meningkatkan efisiensi pemupukan.

Menurut Reynders dan Vlassak (1979), ternyata di samping perannya secara langsung dalam meningkatkan kandungan N tanaman, *Azospirillum* sp. juga mampu menghasilkan fitohormon yang barangkali berpengaruh lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman daripada N yang disumbangkan. Reynders dan Vlassak juga mengamati adanya perubahan triptofan menjadi asam indol asetat (auksin) pada kultur murni *Azospirillum brasilense*. Tien *dkk.* (1979) menambahkan bahwa selain dapat menambat N dari udara, bakteri *Azospirillum* sp. juga memproduksi zat pengatur tumbuh tanaman seperti auksin, gibberelin, dan sitokinin yang berguna bagi pertumbuhan tanaman.

Ditambahkan oleh Hadas dan Okon (1987) bahwa auksin berfungsi memacu pembentukan akar dan rambut akar sehingga dapat memperluas daerah serapan unsur hara dan air oleh akar. Menurut Esparza-Mascarus (1988), *Azospirillum brasilense* memproduksi IAA lebih banyak dibandingkan dengan *Azospirillum lipoferum*. Jansen *dkk.* (1992) menyatakan bahwa giberelin terbentuk jika *Azospirillum brasilense* berasosiasi dengan *Trichoderma harzianum* dan substratnya mengandung senyawa pembentuk giberelin.

Tanaman yang berasosiasi dengan *Azospirillum* sp. juga akan memperoleh bakteriosin yang berfungsi melindungi tanaman dari serangan bakterial (Michiels *dkk.*, 1989) dan memperoleh vitamin berupa tiamin, niasin, dan pantotenat (Rodelas *dkk.*, 1993). Kemudian Seshadri *dkk.* (2000) mendapatkan *Azospirillum halopraeferens* pada permukaan akar tumbuhan yang tumbuh pada tanah salin yang pada tanah itu bakteri mempunyai kemampuan melarutkan P tidak tersedia.

2.4. Peran Nitrogen pada Tanaman

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang sangat esensial untuk pertumbuhan tanaman dan umumnya tanaman menyerap N dalam bentuk amonium dan nitrat yang dapat disediakan melalui pemupukan. Menurut Olson dan Kurtz (1982), fungsi N sebagai hara esensial bagi pertumbuhan tanaman adalah: (1) komponen molekul klorofil, (2) komponen asam amino pembentuk protein, (3) esensial bagi aktivasi karbohidrat, (4) komponen enzim, (5) merangsang pertumbuhan akar dan aktivitasnya, dan (6) mendukung pengambilan hara lainnya.

Suplai N ke dalam tanah merupakan faktor yang sangat penting dalam kaitan dengan pemeliharaan dan peningkatan kesuburan tanah. Rendahnya N tersedia di dalam tanah terutama disebabkan oleh pengangkutan melalui panen berkali-kali yang dilakukan tanpa pengembalian unsur tersebut ke dalam tanah. Keadaan itu menyebabkan rendahnya tingkat kesuburan tanah yang bersangkutan sehingga merupakan faktor pembatas produk selanjutnya, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pada umumnya senyawa organik di dalam tanaman berupa asam amino, asam nukleat, enzim-enzim, dan bahan-bahan yang menyalurkan energi seperti klorofil, NADP, dan ATP mengandung N.

Fotosintesis menghasilkan karbohidrat dari CO_2 dan H_2O , namun proses tersebut tidak dapat berlangsung untuk menghasilkan protein, asam nukleat, dan sebagainya jika N tidak tersedia. Jika terjadi kekurangan N yang hebat, proses pertumbuhan dan reproduksi berhenti. Menurut Tisdale *dkk.* (1985), kekurangan N adalah salah satu penyebab tanaman kerdil, pertumbuhan tanaman menjadi terlambat dan terhambat, dan tanaman memperlihatkan gejala khlorosis (Bryce dan Thornton (1996).

Nitrogen adalah penyusun utama bobot kering tanaman muda dibandingkan dengan tanaman yang lebih tua. Banyaknya N yang diabsorpsi tiap hari per satuan bobot tanaman adalah maksimum pada saat tanaman masih muda dan berangsur-angsur menurun dengan bertambahnya umur tanaman.

Status N tanaman berpengaruh besar terhadap laju perluasan daun. N mengendalikan perkembangan kanopi sehingga kekurangan suplai N akan menurunkan pertumbuhan tanaman dan menghambat laju fotosintesis. Sebagian

besar pengaruh N terhadap fotosintesis adalah melalui peningkatan intersepsi radiasi matahari, sedangkan laju fotosintesis per satuan luas daun menjadi berkurang dengan berkurangnya kandungan N dalam tanaman. Kandungan N dalam daun berkorelasi positif dengan fotosintesis bersih. Pada kondisi kekurangan N, resistensi stomata meningkat sehingga difusi CO₂ menurun (Yoshida dan Coronel, 1976).

Pengaruh utama pemberian N pada tanaman kentang adalah meningkatkan ukuran dan jumlah daun dan dapat menunda pengguguran daun yang mengakibatkan bertambahnya luas daun yang pada akhirnya meningkatkan hasil. Jadi, secara keseluruhan pengaruh peningkatan suplai N berupa penambahan yang cepat luas daun total, perkembangan kanopi, dan indeks luas daun yang lebih tinggi. Produksi bahan kering biasanya meningkat sampai batas maksimum dengan aplikasi N dengan takaran 100 kg ha⁻¹ N. Menurut Wieny (1999), dinamika pertumbuhan tanaman kentang tertinggi diperoleh dengan pemberian pupuk 250 kg ha⁻¹ N.

Menurut Dubetz dan Bole (1975), di antara berbagai unsur hara, N paling banyak diperlukan karena memacu perpanjangan sel dan pertumbuhan vegetatif, memperbesar jumlah umbi, mengundurkan saat inisiasi, serta meningkatkan hasil dan kandungan protein umbi, namun pemberian N saja tidak banyak berpengaruh terhadap hasil, bahkan bisa menurunkan hasil dengan memperlambat saat inisiasi umbi sehingga perlu diimbangi dengan pemberian pupuk P dan K. Selain itu, pemberian pupuk N juga dapat menunda pembesaran umbi yang dapat terjadi akibat adanya persaingan asimilat antara tajuk dengan umbi. Peningkatan

ketersediaan N akan mengakibatkan kelebihan karbohidrat dalam perluasan daun. Inisiasi umbi dapat tertekan oleh ion nitrat yang tidak bergantung pada status N tanaman. Pemberian pupuk N yang meningkat atau lebih tinggi akan meningkatkan laju pengisian umbi.

Pemupukan N sebelum proses inisiasi umbi nyata meningkatkan jumlah umbi per tanaman. Pemberian pupuk N dimaksudkan untuk meningkatkan bobot umbi. Proporsi umbi berukuran besar tidak dipengaruhi oleh tingkat pemupukan. Takaran 100 sampai 150 kg ha⁻¹ N meningkatkan ukuran umbi yang dinyatakan dalam berat dan akan berkurang dengan meningkatnya pemberian pupuk N.

Tanaman kentang menghasilkan 336 kJ untuk setiap 100 g umbi segar yang jauh lebih sedikit daripada sereal. Van der Zaag (1981) mengemukakan bahwa tanaman kentang diperkirakan membutuhkan 200 kg ha⁻¹ N. Untuk hasil umbi 20 t ha⁻¹, diperlukan 200 kg ha⁻¹ N yang sesuai dengan 10 kg N untuk menghasilkan setiap ton hasil. Rata-rata tiap kg N akan menaikkan produksi 11 kg umbi atau tiap kg Urea akan meningkatkan produksi 5.3 kg umbi (Lembaga Penelitian Hortikultura, 1980).

Thompson dan Kelly (1957) menyatakan bahwa peningkatan takaran pemupukan N mengakibatkan bertambahnya kandungan nitrat pada bagian tangkai daun dan menurunkan kandungan pati umbi. Kandungan nitrat tersebut dapat menghambat pembentukan umbi. Oleh sebab itu, takaran pemupukan N yang tinggi akan merugikan tanaman.

Dua sumber pupuk N yang umum digunakan adalah Urea prill dan ZA (ammonium sulfat) yang berbentuk butiran. Urea sebagai pupuk yang

diperdagangkan berbentuk kristal dan butir-butir bulat dengan diameter lebih kurang 1 mm, bersifat higroskopis pada kelembaban 73 %, reaksi fisiologis asam lemah, dan rumus kimianya $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Untuk mengatasi sifat higroskopis pupuk Urea, butiran-butirannya dilapisi dengan zat penolak air dan pengatur konsistensi sehingga higroskopisitasnya turun, misalnya dengan selaput silikat. Dapat juga dibuat senyawa baru dengan higroskopisitas rendah seperti calurea (34,6 %), ureor (30 % N, Urea dolomit dan mineral lain), uremon (42 % N), dan uraform (39 % N, terdiri atas formalin + Urea).

Kadang-kadang Urea dapat menghambat perkecambahan atau awal pertumbuhan tanaman jika diberikan sebagai pupuk dasar pada tanaman di tanah kering (Fagi, 1971). Hal itu terjadi karena: (1) volatilisasi Urea melalui ammonifikasi, (2) kandungan biuret dalam Urea, (3) akumulasi nitrit dalam tanah, dan (4) pengambilan N oleh tanaman yang terlalu banyak.

Setelah Urea dipakai sebagai pupuk, melalui proses ammonifikasi akan terbentuk ammonium, sebagian daripadanya akan menguap berupa gas amoniak dan hilang ke atmosfer. Pertumbuhan tanaman muda yang bersentuhan langsung dengan gas amoniak pada konsentrasi $0,004 \text{ mg L}^{-1}$ atau lebih tinggi terhenti dan layu, akar berwarna kecoklat-coklatan, kemudian tanaman mati. Kandungan biuret dalam Urea lebih berbahaya pada tanah kering dibandingkan dengan pada sawah. Biuret dalam Urea yang terlalu tinggi dapat membahayakan pertumbuhan tanaman, terutama jika diberikan melalui penyemprotan (Fagi, 1971).

Menurut Fagi (1971), tanaman mengambil N dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^- . Jika akumulasi nitrit besar, zat itu dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, akan tetapi pengaruhnya tidak begitu berarti. Di daerah tropika suhu tinggi. Oleh karena itu, denitrifikasi dapat berlangsung lebih cepat.

Pada awal pertumbuhan konsentrasi N yang tinggi di sekitar perakaran akan menyebabkan ujung-ujung daun muda sedikit demi sedikit menjadi kekuning-kuningan. Kerusakan tidak akan terjadi pada kandungan 1000 mg kg^{-1} , sedangkan pada kandungan 2000 mg kg^{-1} pertumbuhan tanaman muda terhambat, ujung-ujung daun menguning dan akhirnya seperempat bagian daun mati.

Pupuk ZA berbentuk kristal dan berwarna putih, abu-abu, biru, biru keabuan, atau kuning bergantung pada yang memproduksinya dengan rumus kimia $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. ZA yang terbuat dari N berwarna putih, kandungan N 20.5 sampai 21 %, tidak higroskopis, bersifat asam (equivalen *acidity value* = 110) yang menyebabkan tanah asam. Menggunakan ZA menguntungkan karena selain mengandung unsur N, ZA juga mengandung unsur S, yaitu lebih kurang 24 %. Pupuk ZA tidak boleh dicampur dengan pupuk yang bersifat basa karena ammoniumnya akan menguap (Fagi, 1971).

Pemberian pupuk N berlebihan berasal dari pupuk ZA tanpa diimbangi dengan pemakaian pupuk N yang berasal dari sumber lain, seperti Urea, dengan cepat dapat memasamkan tanah (Elkins *dkk.*, 1979).

Menurut Suwandi *dkk.* (1989), hasil umbi kentang yang tinggi dengan tingkat kerusakan umbi yang rendah dapat dicapai melalui pemupukan ZA ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), TSP ($120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$), dan KCl ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$). Hasil penelitian

Martini (2001) menunjukkan bahwa pemupukan ammonium sulfat dapat meningkatkan produksi kentang secara nyata pada lahan yang telah terinfeksi penyakit kudis kentang (*Streptomyces scabies*). Pemupukan ammonium sulfat secara tunggal terpisah dari unsur P dan K memberikan KRP (koefisien resisten patogen) sampai 45 %.

2.5. Karakteristika Andisols

Konsep utama Andisols adalah tanah yang berkembang dari bahan abu vulkan, batu apung (pumice), dan sinder serta bahan vulkan dan vulkaniklastik lainnya yang kompleks pertukarannya didominasi oleh bahan amorf dari Al, Si dan humus atau matriks tanah didominasi oleh gelas vulkan (Smith, 1978 *dalam* Arifin, 1994).

Soil Survey Staff (1999) mendefinisikan Andisols sebagai tanah yang mempunyai sifat-sifat tanah Andik yang dihasilkan terutama dari adanya jumlah yang nyata dari alofan, imogilit, ferihidrit atau senyawa kompleks humus-aluminium di dalam tanah.

Menurut Sarief (1989) Andisols disebut juga tubuh tanah pegunungan tinggi (tropical brown forest) yang mempunyai ketebalan solum tanah agak tebal 100 sampai 225 cm, berwarna hitam, kelabu sampai coklat tua dengan horizon A yang tampak jelas, tekstur debu, lempung berdebu sampai lempung, struktur remah dan lapisan bawahnya agak menggumpal serta konsistensinya gembur, bahan induknya adalah abu dan tuf vulkan oleh sebab itu kandungan unsur hara alaminya sedang sampai tinggi, kandungan bahan organik umumnya tinggi yaitu antara 10 sampai 20 %, reaksi tanah cukup baik yaitu asam sampai netral (pH 5,0

sampai 7,0). Bobot isi tanah ini termasuk rendah yaitu $0,85 \text{ g cm}^3$ dan umumnya mengandung abu vulkanik lebih dari 60 % (Patrick, 1986).

Dilihat dari komposisinya, mineral liat Andisols terutama didominasi oleh alofan dan imogilit, hanya beberapa Andisols yang mengandung kuarsa dalam jumlah yang sedikit sekali. Andisols yang berasal dari bahan induk basa yang banyak mengandung alofan dan imogilit berkembang pada kondisi iklim dengan curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Andisols yang berasal bahan induk asam yang banyak mengandung haloisit (curah hujan relatif rendah) (syarief, 1990).

Sifat-sifat fisika Andisols di antaranya adalah memiliki sifat Andik, $BD < 0,90 \text{ g cm}^2$, struktur tanah di lapisan atas remah; subangular semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman tanah; tekstur tanah sedang; kedalaman efektif agak dalam sampai dalam; horizon tanah (A-B-C) tanah dewasa, horizon b; porositas tinggi dan permeabilitas cepat; memiliki epipedon histik; retensi air pada 15 bar kurang dari 15 % (kering udara); tingkat erodibilitas tinggi; dan kadang-kadang terdapat pseudosand.

Sifat-sifat kimia Andisols di antaranya jika alofan dan immogolit dominant, pH tanah $> 5,0$; pH tanah dalam NAF $> 9,4$ (didominasi bahan amorf); kandungan C-organik tinggi, menurun sesuai kedalaman tanah; bahan organik dapat membentuk senyawa dengan mineral liat alofan (kandungan C-organik tinggi); kandungan N, dan K tinggi, sedangkan P rendah; retensi P tinggi $> 85\%$ (pengaruh Al dan Fe aktif, retensi yang rendah (pencucian Al dan Fe); Ratio Alp/Alo mendekati 1, basa dapat tukar rendah; ratio $(Alo-Alp)/Sio$ atau Al/Si merupakan ratio alofan

ummogolite rasio umumnya bervariasi antara 1,3 sampai 1,7; kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ ciri khas tanah dari abu vulkanik muda; kompleks organo-mineral stabil, mineral short range order; kejenuhan basa sedang sampai tinggi; dan KTK rendah (<30 me/100 g⁻¹), medium (30-50 me/100 g⁻¹), tinggi (>50 me/100 g⁻¹).

