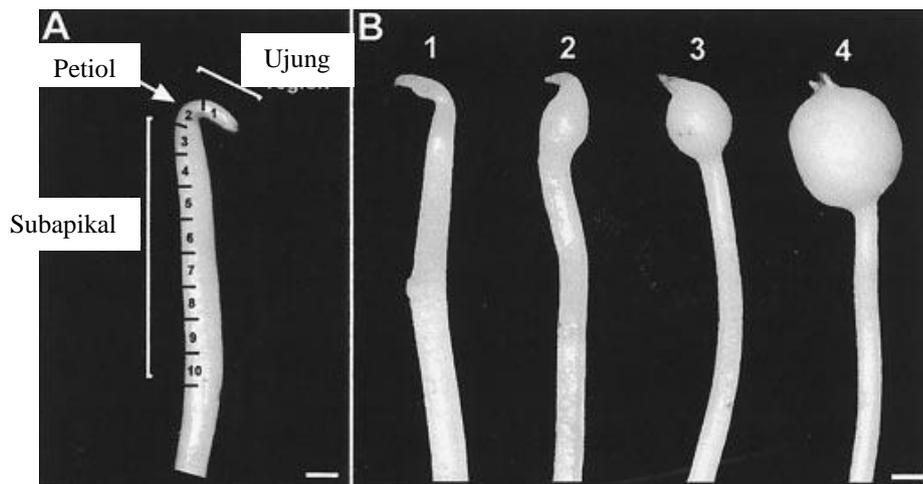


## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Proses Perkembangan Akar menjadi Stolon pada Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

Tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu tanaman sayuran semusim berumur singkat kurang lebih 90 – 120 hari. Tanaman ini berbentuk perdu namun bervariasi sesuai varietasnya. Pada taksonomi, kentang termasuk dalam famili Solanaceae, genus Solanum, dan spesies *Solanum tuberosum*. Tanaman kentang memiliki batang berbentuk segi empat tidak berkayu sehingga mudah roboh jika diterpa angin kencang. Batang dan daun berwarna hijau dan terdapat pigmen ungu. Pada dasar batang utama akan tumbuh stolon dan akar. Stolon ini akan berkembang menjadi umbi sedangkan akar akan bercabang menjadi rambut akar yang berfungsi menyerap nutrisi (Sunarjono, 2007).



Gambar 1. Proses inisiasi umbi kentang (Ferne dan Willmitzer, 2001)  
Keterangan: (A) Bagian-bagian stolon; (B1) Pemanjangan stolon berhenti; (B2) ujung stolon mulai membesar; (B3) Pembesaran sel apikal stolon; (B3) Pembesaran sel (umbi mulai terbentuk)

Umbi kentang merupakan salah satu umbi batang. Umbi terbentuk dari tunas lateral yang berkembang menyamping dari batang utama. Apabila tunas lateral ini dibiarkan berada di dalam tanah maka akan membentuk stolon. Pertumbuhan stolon ini akan berhenti kemudian diikuti dengan pembentukan, pembesaran, dan pemanjangan sel yang berada di empulur dan korteks pada bagian subapikal stolon (Gambar 1). Jika pembengkakan ujung stolon mencapai

maksimum (2-4 mm) maka sel tidak akan membelah lagi melainkan membesar (Ferne dan Willmitzer, 2001).

Pembentukan umbi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah suhu. Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang perlu diperhatikan dalam budidaya terutama selama proses inisiasi umbi. Suhu yang baik untuk tanaman kentang di siang hari adalah  $\leq 30^{\circ}\text{C}$  sedangkan malam hari  $\leq 20^{\circ}\text{C}$ . Suhu yang terlalu tinggi di siang hari dapat menyebabkan pengurangan aktifitas fotosintesis karena diikuti pula kegiatan transpirasi yang cukup tinggi. Kemudian jika suhu malam mencapai lebih dari  $20^{\circ}\text{C}$  dapat menyebabkan pembentukan organ-organ vegetatif yang semakin banyak. Akibatnya adalah umbi kentang tidak dapat menjadi optimal karena translokasi fotosintat ke umbi berkurang (Wardiyati, 2005). Pada suhu yang tinggi, stolon akan tumbuh ke atas. Ketika stolon telah mencapai permukaan tanah dan mendapatkan suhu udara yang lebih dingin daripada tanah, maka pembentukan umbi akan terjadi. pada kentang yang umumnya ditanam di dataran tinggi, pembentukan umbi menjadi terhambat jika suhu lingkungan meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya hormon giberelin yang menghambat pembentukan umbi kentang (Jackson, 1999).

Selain suhu, intensitas cahaya juga mempengaruhi pembentukan umbi. Intensitas cahaya yang rendah memiliki efek yang menyerupai suhu tinggi terhadap pembentukan umbi. Efeknya terjadi pada proses biosintesis hormon giberelin. Rendahnya intensitas cahaya akan meningkatkan sintesis hormon giberelin yang menyebabkan terhambatnya inisiasi umbi (Jackson, 1999). Giberelin memiliki fungsi dalam memacu pemanjangan sel pada akar, batang, dan merangsang produksi enzim  $\alpha$ -amilase untuk transport hasil fotosintesis. Tingginya jumlah giberelin mengakibatkan pertumbuhan tanaman bagian atas (*shoot*) terus melaju sehingga hasil fotosintesis lebih banyak ditransfer ke organ vegetatif. Akibat pembentukan giberelin ini dapat menurunkan indeks panen kentang dan jumlah umbi konsumsi (Duaja, 2012).

## 2.2 Peran NPK terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)

Sukses tidaknya suatu usaha pertanian dapat diukur melalui baik tidaknya pertumbuhan dan hasil tanaman. Tanaman akan memberikan hasil yang baik jika unsur-unsur esensialnya terpenuhi. Agar unsur-unsur esensial ini terpenuhi maka kegiatan pemupukan penting untuk dilakukan (Alabi, 2005). Pupuk yang diberikan mengandung unsur hara yang merupakan sumber nutrisi atau makanan yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Berdasarkan tingkat kebutuhannya, unsur hara dibagi menjadi dua, yaitu unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak. Contohnya adalah nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S). Unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang sedikit. Contohnya adalah besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), natrium (Na), klorin (Cl) (Hanafiah, 2005).

Salah satu unsur hara makro adalah nitrogen. Nitrogen merupakan salah satu unsur pembatas pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Pupuk nitrogen digunakan untuk menstimulasi peningkatan biomassa. Biomassa dapat diukur melalui penimbangan berat kering. Tujuannya adalah untuk mengetahui pola distribusi asimilat dari *source* ke *sink* (Gardner, Pearce, dan Mitchell, 2008). Asimilat didapat dari proses fotosintesis yang didukung oleh klorofil. Klorofil merupakan katalisator yang ditemukan di tilakoid sebagai pigmen hijau dalam jaringan tumbuhan. Disinilah peran nitrogen dibutuhkan sebagai komponen penyusun pigmen hijau penunjang terjadinya fotosintesis. Selain klorofil, nitrogen juga termasuk salah satu komponen penyusun senyawa esensial lain seperti protein, asam amino, asam nukleat, nukleotida, dan koenzim (Suharja dan Sutarno, 2009), auksin, dan komponen bahan kering berasal dari senyawa yang terkandung dalam sitoplasma sel (Gardner, Pearce, dan Mitchell, 2008). Jika suplai nitrogen selama budidaya tanaman kurang maka degradasi berbagai jenis senyawa esensial tanaman akan terjadi dan menyebabkan proses metabolisme terhambat sehingga hasil tanaman menjadi tidak optimal.

Unsur hara kedua yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah besar adalah fosfor (P). Keberadaan fosfor sangat penting karena berhubungan dengan beberapa fungsi metabolisme tanaman, seperti transfer energi, fotosintesis, transformasi gula menjadi pati, pergerakan nutrisi dalam tanaman, dan transfer gen pembawa karakter kepada generasi selanjutnya (Dibb, 1999). Fosfor diserap dalam bentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4$  dan  $\text{HPO}_4^{-2}$ . P yang telah diserap tanaman dapat disimpan terlebih dahulu di sel akar dan dapat ditransfer langsung ke organ tanaman bagian atas (*shoot*) yang akan melangsungkan reaksi biokimia.

Fungsi P diketahui sebagai penyusun kimia adenosine difosfat (ADP) dan adenosine trifosfat (ATP). ATP dan ADP inilah yang menjadi sumber energi tanaman untuk melangsungkan reaksi biokimianya. Salah satu reaksi kimia pada tanaman adalah fotosintesis. Proses ini memanfaatkan energi cahaya yang dibantu oleh klorofil untuk membentuk  $\text{CO}_2$  dan air menjadi gula. Reaksi biokimia lain yang memerlukan bantuan energi ATP adalah pergerakan nutrisi antarsel tanaman. Jika tanaman mengalami defisiensi P, maka perkembangan organ vegetatif tanaman (*shoot*) akan lebih terpengaruhi daripada akar (*root*). Akar akan terus berkembang karena mensekresi exudat berupa enzim hidrolase seperti *oxalate* dan *citrate* yang dapat mengubah bentuk P organik menjadi P anorganik yang siap diserap oleh tanaman (Lynch, Marschner, dan Rengel, 2012).

Unsur hara makro ketiga adalah kalium (K). Kalium pada tanaman berperan dalam proses biofisika dan biokimia. Proses biofisika meliputi tekanan osmosis dan turgor yang mempengaruhi pada proses membuka-tutup stomata. Proses kedua adalah biokimia dimana K berperan dalam banyak reaksi enzimatik, seperti metabolisme pembentukan karbohidrat, protein, dan transfer energi, serta transfer pati dari daun ke organ penyimpanan cadangan seperti umbi.

Unsur kalium mempengaruhi proses fotosintesis dalam berbagai hal, terdiri atas pembentukan ATP, mengaktifkan enzim yang terlibat dalam fotosintesis, penyerapan  $\text{CO}_2$ , penyeimbang tersedianya elektron yang dibutuhkan untuk proses fosforilasi di kloroplas. Besarnya hasil produksi dan berat buah sangat dipengaruhi oleh banyaknya jumlah K pada daun. Akumulasi pati sangat bergantung pada jumlah serapan K. Laju asimilasi yang tinggi dapat diatur jika

asimilat di daun dipindahkan ke organ lain, biasanya jaringan penyimpan cadangan makanan. Selama proses pemindahan asimilat inilah K akan bergerak cepat untuk mengirimnya ke organ lain. (Song *et al.*, 2011).

### **2.3 Peran PGPR terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)**

*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* atau yang biasa disingkat PGPR ini merupakan sekelompok bakteri yang bersifat menguntungkan dan aktif mengkolonisasi rhizosfer. PGPR ini memiliki peran dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman serta perlindungan terhadap patogen tertentu. PGPR memiliki dua mekanisme dalam menstimulasi pertumbuhan tanaman. Mekanisme tersebut terjadi secara langsung maupun tidak langsung.

PGPR mengkolonisasi bagian perakaran tepatnya pada eksodermis hingga korteks. Penetrasi ini biasanya berlangsung selama 2-3 minggu dan menyebabkan korteks menjadi berair. Bagian korteks inilah yang menjadi tempat terbesar bagi terbentuknya koloni (Prakamhang, 2007 *dalam* Suriaman, 2010). Setelah berkolonisasi, bakteri mulai mampu bekerja secara aktif dalam menunjang pertumbuhan tanaman seperti memproduksi fitohormon. Salah satu hormon yang diproduksi oleh bakteri PGPR adalah auksin. Auksin disintesis dari prekursor spesifik bernama triptopan yang ditemukan dalam eksudat akar (Kundan *et al.*, 2015).

Auksin merupakan hormon yang memiliki peran dalam pembelahan, perpanjangan, perkembangan sel tanaman. Variasi produksi auksin oleh bakteri PGPR telah diteliti oleh Prakash dan Karthikeyan (2013). Hasilnya adalah bakteri PGPR mampu memproduksi auksin dengan jumlah yang bervariasi. Bakteri-bakteri tersebut antara lain *Pseudomonas* spp. (94%), *Azospirillum* spp. (80%), *Azotobacter* spp. (65%), dan *Bacillus* spp. (40%) (Kundan *et al.*, 2015). Selain auksin, bakteri dalam PGPR dapat mensintesis hormon sitokinin yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan sel. Fungsi utama sitokinin adalah perkembangan sel.

Mekanisme lain yang dilakukan oleh PGPR secara langsung adalah fiksasi nitrogen ( $N_2$ ) dan penyediaan fosfat ( $H_2PO_4$ ). Fiksasi nitrogen secara langsung

dibantu oleh *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*. Lalu penyediaan fosfat untuk tanaman juga terbantu oleh *mycorrhiza* dan mineralisasi fosfat dilakukan oleh bakteri. Proses mineralisasi ini dapat terjadi karena bakteri tersebut mensintesis senyawa asam organik yang mampu mengubah P organik menjadi P anorganik sehingga dapat diserap langsung oleh tanaman (Kundan *et al.*, 2015).

Keberadaan bakteri ini menimbulkan berbagai macam interaksi dengan tanaman. Pertama, interaksi mutualisme yang menguntungkan kedua pihak. Bentuk simbiosis ini dapat berupa struktur yang spesifik sebagai bentuk adanya interaksi seperti nodul di perakaran tanaman Fabaceae. Kedua, interaksi berupa asosiatif atau kerjasama yang melibatkan bakteri tanah untuk mengkolonisasi perakaran dan memacu pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti *plant growth promoting rhizobacteria*. PGPR ini dapat menambah nutrisi tanaman melalui fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi *photosynderophore* (Richardson *et al.*, 2009). Aplikasi PGPR ini juga berdampak pada arsitektur perakaran. PGPR dapat memodulasi perkembangan dan pertumbuhan akar melalui produksi fitohormon, metabolit sekunder, dan enzim. Dampak yang cukup terlihat adalah penurunan laju pertumbuhan akar primer dan peningkatan panjang akar lateral dan rambut akar (Vacheron, Desbrosses, Bouffaud, Touraine, Moénne-Loccoz, Muller, Legendre, Wisniewski-Dye, dan Prigent-Combaret, 2013).

Mekanisme lain yang dilakukan oleh PGPR adalah bentuk pertahanan diri dari patogen yang berpotensi mengganggu tanaman. Mekanisme tersebut muncul dalam berbagai bentuk. Cara pertama adalah produksi antibiotik dan enzim *chitinolytic*. Antibiotik ini terbentuk jika serangan fitopatogen terjadi. Namun, produksi antibiotik ini bisa merugikan karena dapat mengubah peran bakteri menjadi melawan serangan fitopatogen. Kemudian sintesis *chitinolytic* cukup menguntungkan karena keberadaannya terlibat dalam pembentukan kitin, selulosa, *1,3-glucanase*, *protease* dan *lipase* yang dapat melisis (menguraikan) bagian-bagian dinding sel fitopatogen jamur (Kundan *et al.*, 2015).

Peran PGPR sebagai bentuk pertahanan diri dari serangan patogen telah diteliti oleh Syaifuddin, Baharuddin, dan Rahim (2014). Pemberian PGPR ditambah bakteri antagonis merupakan formulasi terbaik (rata-rata 65,7%) dalam

menekan penyakit layu bakteri pada tanaman kentang. Mekanismenya adalah PGPR dan bakteri antagonis ini mengkolonisasi perakaran tanaman sehingga terlindung dari serangan patogen. Semakin banyak jumlah mikroba yang menyelubungi perakaran tanaman maka patogen akan semakin sulit masuk ke dalam jaringan tanaman.