

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perkembangan Rhizobakteri Pada MOL

Pembuatan MOL Rhizobakteri akar bambu dilakukan dengan menuangkan biang rendaman akar bambu kedalam air yang berisi bahan-bahan nutrisi Rhizobakteri, yaitu larutan gula, dedak, dan terasi. Larutan ini kemudian didiamkan selama kurang lebih 2 minggu supaya bakteri berkembang biak. Setelah 2 minggu, larutan kemudian diidentifikasi karakteristik fisik, kimia, dan mikrobiologi. Selain itu, dilakukan juga karakterisasi terhadap isolat yang teridentifikasi dalam larutan MOL. Menurut Sufianto (2014), indikator keberhasilan larutan PGPR yaitu larutan berwarna kecoklatan, pH cairan antara 6-7, suhu antara 30°C-40 °C, dan beraroma tidak menyengat. Karakteristik MOL berupa TPC, warna, pH, Suhu, dan kekentalan disajikan pada tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik MOL

MOL	Suhu (°C)	Warna	pH	TPC (Cfu*10 ⁸)	Kekentalan (%)
Ulangan 1	29,5	6/4 <i>Light Brown</i>	6,34	2960,00	18
Ulangan 2	29,5	7/4 <i>Light Brown</i>	6,32	1318,75	16
Ulangan 3	29,5	6/8 <i>Light Red</i>	6,29	25,90	12

1. Pengujian Suhu

Suhu yang diuji terhadap ketiga MOL menunjukkan kesamaan, yaitu 29,5°C. Suhu yang cenderung hangat menunjukkan bakteri aktif dalam MOL. Bakteri seperti *Azotobacter* memanfaatkan glukosa untuk memfiksasi N dan menghasilkan massa sel baru (Gardner *et al.*, 1985). Bakteri PGPR tergolong bakteri *Mesophile* sehingga hidup pada suhu 25-30°C (Palleroni, 1984).

2. Warna

Warna yang diukur secara kualitatif menggunakan *Munsell Colour Chart* menunjukkan hasil yang berbeda terhadap ketiga MOL. MOL A berwarna cenderung coklat muda 6/4, MOL B berwarna coklat muda 7/4, sedangkan MOL C berwarna lebih muda yaitu merah terang 6/8. Warna yang lebih gelap menandakan bahwa bahan makanan bakteri telah banyak terurai, sedangkan warna MOL C yang cenderung lebih terang dibanding MOL A dan B menandakan terdapat banyak bahan yang belum terurai. Dalam proses dekomposisi, nilai C/N rasio bahan organik akan menurun. Seiring dengan penurunan C/N rasio, warna bahan organik juga menjadi lebih gelap (Carlos *et al.*, 2012).

3. Kadar keasaman (pH)

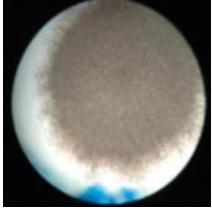
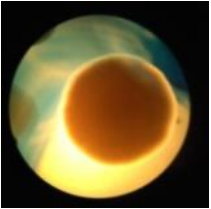
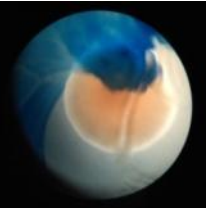
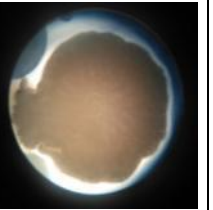
Kadar keasaman yang diukur pada ketiga MOL menunjukkan hasil yang cenderung sama. Kadar keasaman pada MOL A sebesar 6,34; MOL B sebesar 6,32; dan MOL C sebesar 6,29. Larutan yang berubah asam menandakan terdapat aktivitas mikroorganisme dekomposer. Penelitian yang dilakukan Kumari *et al.* (2008) menunjukkan bahwa produksi asam pada dekomposisi bahan organik terjadi karena aktivitas mikrobial. Asam yang dihasilkan berupa Asam Sitrat, Asam Oksalat, Asam Formiat, dan Asam Maleat. Penelitian oleh Johannes *et al.*, (2009) menunjukkan bahwa Rhizobakteri dapat hidup hingga pH 4,5.

4. Total Plate Count (TPC)

Penghitungan TPC terhadap ketiga larutan MOL menunjukkan hasil yang berbeda antar larutan. Larutan 1 menghasilkan bakteri sejumlah 2960×10^8 Cfu, larutan 2 menghasilkan bakteri sejumlah $1318,75 \times 10^8$ Cfu, sedangkan larutan 3

menghasilkan bakteri sejumlah $25,9 \times 10^8$ Cfu. Larutan MOL 3 yang menghasilkan koloni yang lebih sedikit dibandingkan larutan 1 dan 2 menandakan bahwa bakteri yang terdapat dalam MOL 3 tidak mampu memanfaatkan nutrisi yang ada dalam larutan untuk berkembang biak. Perbedaan jumlah koloni bakteri yang signifikan juga dapat diakibatkan karena sumber isolat merupakan koloni bakteri liar yang berada dalam larutan MOL akar bambu. Bakteri-bakteri liar ini kemungkinan tidak terlarut dalam jumlah yang sama pada setiap cawan petri. Dari MOL akar bambu dapat diidentifikasi 4 koloni bakteri dengan karakteristik isolat yang teridentifikasi disajikan dalam tabel 3.

Tabel 2. Karakteristik isolat teridentifikasi.

Karakteristik	Isolat A	Isolat B	Isolat C	Isolat D
Bentuk tepi	<i>Ciliate</i>	<i>Entire</i>	<i>Entire</i>	<i>Undulate</i>
Struktur dalam	<i>Coarsely Granular</i>	<i>Opaque</i>	<i>Transparent</i>	<i>Finely granular</i>
Elevasi	<i>Effuse</i>	<i>Raised</i>	<i>Raised</i>	<i>Raised</i>
Sifat gram	Positif	positif	positif	negatif
Bentuk sel	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>	<i>coccus</i>
Warna	Coklat gelap	Coklat terang	Oranye terang	coklat
Ukuran	0,15mm	0,10mm	0,10mm	0,15mm
Bentuk koloni	<i>Filamentous</i>	<i>Circular</i>	<i>Circular</i>	<i>Irregular</i>
Foto				

Berdasarkan pengamatan, pada Tabel 3, terdapat 4 isolat *Rhizobacteri* yang teridentifikasi. Isolat-isolat tersebut memiliki bentuk koloni berupa kokus, dan warna yang cenderung kecoklatan hingga kemerahan. Sifat gram yang ditunjukkan dari isolat berbeda-beda. Isolat A (lampiran 6e), B (lampiran 6c), dan C (lampiran 6d) menunjukkan sifat gram positif, sedangkan isolat D (lampiran 6f) menunjukkan sifat gram negatif. Penelitian yang dilakukan oleh Seema *et al.*

(2016) menunjukkan bahwa bakteri PGPR berbentuk kokus dengan sifat gram positif. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Kumar *et al.*(2014) menunjukkan bahwa Rhizobakteri memiliki sifat gram positif dan negatif dengan bentuk koloni memanjang (*rod*). Warna isolat bakteri PGPR bervariasi, mulai dari kemerahan hingga kecoklatan (Ragvahan *et al.*,2015). Bakteri dengan gram negatif bentuk kokus kemungkinan termasuk dalam golongan *Pseudomonas spp*, atau *Serratia spp*. Sedangkan bakteri gram positif kemungkinan termasuk dalam golongan *Bacillus spp*. Atau *Anthrobacter spp*. (Ragvahan, 2015).

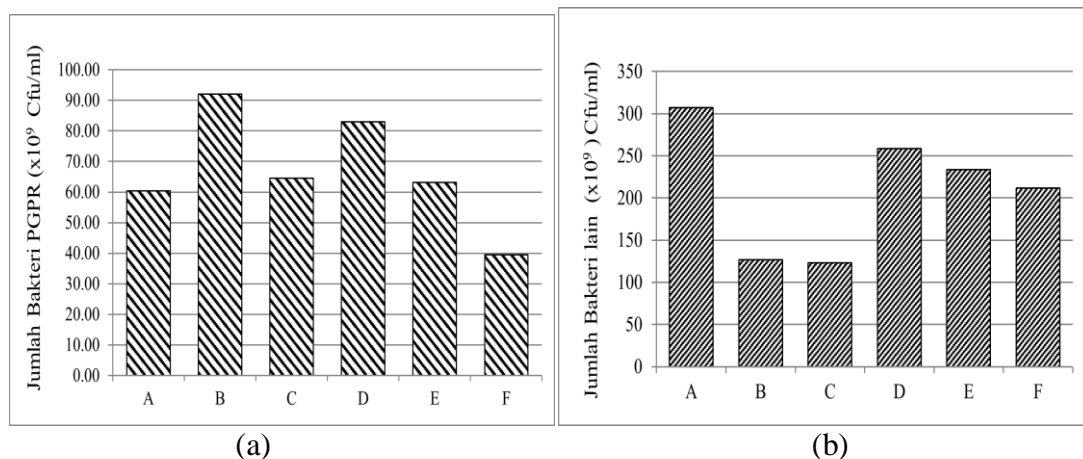
5. Kekentalan

Kekentalan yang diuji terhadap ketiga MOL menunjukkan hasil yang berbeda-beda. MOL 1 memiliki kekentalan sebesar 18%, MOL 2 sebesar 16%, dan MOL 3 sebesar 12%. MOL yang semakin kental menunjukkan populasi bakteri yang lebih tinggi. Larutan yang lebih kental juga cenderung lebih lambat untuk masuk ke dalam biji (Christina dan Carl Leopold, 1983).

2. Perkembangan Rhizobakteri

Pengamatan untuk mengetahui aktivitas PGPR dilakukan dengan cara menginokulasi bakteri dari akar tanaman korban pada minggu ke-3 setelah tanam. Pengamatan TPC dilakukan untuk mengetahui apakah PGPR yang diaplikasikan ke benih, dapat berkembang biak di lingkungan perakaran. Jumlah bakteri lain dan bakteri PGPR dapat dilihat pada gambar 1. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah bakteri dan TPC pada Gambar 1 dan 2, didapat hasil bahwa bakteri PGPR berjumlah lebih sedikit dibanding bakteri lain. Hal ini dikarenakan bakteri lain berkembang biak dalam tanah lebih banyak dibanding bakteri PGPR yang berasal dari *spermosfer* benih yang sudah diaplikasi PGPR akar bambu. Bakteri PGPR

dapat berkembang dalam rhizosfer tanaman karena mendapatkan makanan berupa karbohidrat sebagai sumber energi (Sri Mulyani, 2006). Gardner *et al.*, (1985), mengemukakan bahwa ketahanan hidup *Rhizobium* di alam sangat tergantung pada kondisi tanah, terutama pH, kelembaban, bahan organik, dan lamanya jarak antara tanaman-tanaman budidaya yang menjadi inangnya. Inokulasi *Rhizobium sp* dapat hilang karena keasaman tanah, atau adanya sejumlah besar populasi asli *Rhizobium sp* khusus yang sudah terlebih dulu ada di tanah tersebut. Gardner *et al.*, (1985) juga mengemukakan dalam bahwa hanya 5 sampai 10% nodul yang berasal dari inokulum yang dibubuhkan pada biji.



Keterangan:

- A= Perendaman 1 jam dalam 3ml/L PGPR
- B= Perendaman 6 jam dalam 3 ml/L PGPR
- C= Perendaman 12 jam dalam 3 ml/L PGPR
- D= Perendaman 1 jam dalam 6 ml/L PGPR
- E= Perendaman 6 jam dalam 6 ml/L PGPR
- F= Perendaman 12 jam dalam 6 ml/L PGPR

Gambar 1. (a) Jumlah bakteri PGPR, dan (b) Bakteri Lain.

B. Perkembangan Akar Kedelai dan Nodulasi

Fungsi akar bagi tanaman menurut Weaver (1926) adalah sebagai organ untuk penyerapan, penambahan, penyimpanan, transpor, dan pembiakan.

1. Nodulasi akar

Nodul akar terbentuk karena adanya kolonisasi akar oleh Rhizobakteri. Pembentukan nodul akar menurut Gardner *et al.*, (1985) yaitu dimulai dengan adanya deformasi bulu akar yang mungkin merupakan respons terhadap IAA yang produksinya dirangsang oleh bakteri. Kemudian pembentukan benang infeksi oleh bakteri untuk mentransfer sel-sel bakteri ke dalam korteks akar. Selanjutnya, bakteri yang telah masuk ke dalam korteks akan berkembang biak dengan mendapat nutrisi berupa gula, air dan mineral dari tanaman induk. Tanaman inang kemudian memanfaatkan N₂ yang terfiksasi oleh bakteri dalam bentuk Asam Amino, Amida, dan Ureida. Rerata jumlah nodul, efektivitas nodul, diameter dan berat nodul tersaji pada tabel 4.

Tabel 3. Rerata Jumlah nodul, berat nodul, efektivitas, dan diameter minggu ke-6, dan 9.

Konsentrasi, lama waktu perendaman	Jumlah Nodul (buah)		Berat Nodul		Efektivitas (%)		Diameter (mm)	
	Minggu		Minggu		Minggu		Minggu	
	6	9	6	9	6	9	6	9
3ml, 1 jam	1,0a	1,0a	0,020a	0,04a	33,33a	33,33a	0,50a	0,73a
3ml, 6 jam	1,0a	2,5a	0,020a	0,07a	33,33a	66,67a	0,66a	1,83a
3ml, 12 jam	1,5a	3,0a	0,030a	0,05a	33,33a	100,00a	0,50a	2,33a
6ml, 1 jam	2,5a	2,5a	0,023a	0,07a	88,67a	55,33a	1,66a	1,83a
6ml, 6 jam	1,5a	3,5a	0,040a	0,09a	33,33a	88,67a	0,66a	2,83a
6ml, 12 jam	1,0a	1,5a	0,020a	0,06a	33,33a	33,33a	0,66a	0,83a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil uji F pada taraf 5%.

a) Jumlah Nodul

Pertumbuhan jumlah nodul yang terdapat dalam tanaman tergantung pada beberapa faktor, diantaranya yaitu keasaman tanah, karakter galur Rhizobium, dan bahan organik. Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa

jumlah nodul pada tanaman kedelai yang diberi perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 6ml/L PGPR cenderung lebih tinggi dibanding perlakuan lain, sedangkan jumlah nodul terendah terdapat pada perlakuan perendaman dalam 3ml/L PGPR selama 1 jam. Berdasarkan hasil sidik ragam (lampiran 5a) dapat diketahui bahwa perendaman benih kedelai dalam larutan MOL PGPR akar bambu pada berbagai perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah nodul. Bakteri PGPR dalam perendaman benih Kedelai selama 6 jam dalam 6 ml/L MOL PGPR mampu bertahan hidup dalam tanah lebih baik dibanding perlakuan lain, sehingga mampu menginfeksi akar dan menghasilkan nodul yang lebih banyak dibanding perlakuan lain. Perendaman dalam 6 ml/L PGPR selama 6 jam juga menghasilkan diameter nodul dan berat nodul yang lebih tinggi dibanding perlakuan lain. Bakteri yang melekat dalam spermosfer benih setelah perendaman selama 6 jam dalam 6ml/L PGPR dapat memanfaatkan nutrisi dari tanaman dengan lebih baik dibanding perlakuan lain sehingga menghasilkan nodul yang lebih besar dibanding perlakuan lain. Menurut penelitian yang dilakukan Mc Adam (2018), salah satu faktor yang dapat mempengaruhi jumlah nodul adalah hormon Giberelin (GA). Giberelin pada level tertentu dapat memacu pertumbuhan nodul, namun juga dapat menghambat pertumbuhan nodul. Hormon lain yaitu Auksin (IAA) mampu memacu pertumbuhan nodul. Auksin yang merangsang pertumbuhan akar lateral juga diperkirakan berperan dalam pembentukan nodul (Downie, 2014).

b) Berat Nodul

Nodul yang dihasilkan oleh legum memiliki ukuran berbeda-beda.

Nodul yang berukuran besar cenderung lebih berat dibanding nodul yang

berukuran kecil. Berdasarkan hasil sidik ragam berat nodul (lampiran 5.b), perlakuan perendaman benih kedelai dalam berbagai lama perendaman dan konsentrasi tidak berpengaruh nyata terhadap penambahan berat nodul. Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa perlakuan perendaman dalam 6ml/L PGPR selama 6 jam memberikan hasil berat nodul cenderung lebih tinggi dibanding perlakuan lain, sedangkan berat nodul terendah terdapat pada perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 3ml/L PGPR. Berdasarkan hasil sidik ragam (lampiran 5.b), dapat diketahui bahwa perlakuan perendaman benih Kedelai dalam berbagai lama perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu tidak memberikan beda nyata terhadap berat nodul. Penelitian yang dilakukan Mc Adam (2018) menunjukkan bahwa hormon GA dapat menekan pertumbuhan bakteri pada nodul tanaman dan menyebabkan bobot nodul yang kecil dibanding nodul yang tidak terdapat GA. GA pada tanaman kacang-kacangan kemungkinan bereaksi dengan *ethylene* dan menekan pertumbuhan bakteri. Menurut Gardner *et al.*, (1985), ukuran dan bentuk nodul bervariasi tergantung pada karakteristik spesies legum.

c) Efektivitas nodul

Efektivitas nodul menandakan ada atau tidaknya aktivitas fiksasi N oleh nodul. Nodul yang berwarna merah pada bagian dalam nodul menandakan bakteri *Rhizobium sp.* yang aktif, sedangkan nodul yang berwarna gelap pada bagian dalam menandakan bakteri *Rhizobium sp.* yang non-aktif (Gardner *et al.*, 1985). Berdasarkan hasil sidik ragam (lampiran 5c dan 5d) dapat diketahui bahwa perlakuan perendaman benih kedelai dalam berbagai lama

perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu tidak memberikan pengaruh nyata. Nodul pada berbagai perlakuan cenderung menunjukkan efektivitas yang tinggi yaitu 100%, kecuali pada perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 6ml/L PGPR dengan efektivitas sebesar 55,33% dan perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 6ml/L dengan efektivitas 88,66%. Nodul aktif dapat berwarna kemerahan karena adanya enzim *Leghaemoglobin* yang memberi warna merah. Enzim *Leghaemoglobin* dihasilkan oleh bakteroid yang ada dalam nodul. Jika dalam nodul tidak terdapat bakteroid, maka tidak terdapat warna kemerahan yang dihasilkan *Leghaemoglobin*. Ketiadaan *Leghaemoglobin* dalam nodul juga dapat disebabkan karena oksidasi yang memecah senyawa *heme* dalam *Leghaemoglobin*. Oksidasi *Leghaemoglobin* dapat disebabkan karena adanya senyawa metabolit berupa Nitrit, Superoksida, dan Peroksida dalam nodul (Becana, 1991). Nodul pada suatu tanaman yang berjumlah sedikit namun memiliki efektivitas yang tinggi lebih menguntungkan dibanding nodul yang berjumlah banyak namun memiliki persentase efektivitas yang rendah. Nodul yang memiliki efektivitas rendah tidak mampu memfiksasi N secara optimal dibanding Nodul yang memiliki efektivitas tinggi. Nodul dengan efektivitas tinggi akan memfiksasi N lebih banyak karena memiliki bakteri *Rhizobium sp.* yang aktif dalam memfiksasi N atmosfer dengan bantuan *Leghaemoglobin*.

d) Diameter Nodul

Diameter nodul menandakan besar/kecilnya nodul yang diukur menggunakan jangka sorong. Berdasarkan hasil sidik ragam diameter nodul (lampiran 5e) dapat diketahui bahwa perendaman benih kedelai dalam

berbagai perlakuan lama perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu tidak memberikan pengaruh nyata terhadap diameter nodul. Berdasarkan tabel 5, dapat diketahui bahwa diameter nodul cenderung tertinggi terdapat pada perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 6ml/L PGPR yaitu 2,83mm, sedangkan perlakuan dengan diameter nodul terendah terdapat pada perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 3ml/L PGPR. Gardner *et al.*, (1985) menyatakan bahwa ukuran nodul bergantung pada karakteristik meristem spesies legum inang. Nodul yang berukuran 1,5 hingga 2 mm pada tanaman legum cenderung memiliki aktivitas fiksasi Nitrogen yang tinggi pada masa pembungaan, dan menurun setelahnya (Ryosuke, 2007). Nodul yang berukuran besar dan berjumlah banyak akan memfiksasi N lebih tinggi dibanding nodul yang berjumlah sama banyak namun berukuran rata-rata lebih kecil. Nodul yang berukuran 1,5 hingga 2 mm cenderung merupakan nodul aktif, dimana nodul yang berukuran lebih kecil dari nodul normal umumnya merupakan petunjuk adanya infeksi oleh galur *Rhizobium* yang tidak efektif. Nodul dari galur yang tidak efektif kemungkinan juga tidak mengandung *Leghaemoglobin* (Gardner *et al.*,1985). Menurut penelitian yang dilakukan Ann Hirsch (1986), salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya nodul adalah adanya gen *nif* dan *fix* dalam bakteroid *Rhizobium*. Gen-gen ini mampu mempengaruhi senesens, efektifitas, dan pemanjangan/pembesaran nodul.

2. Perkembangan Akar

Perkembangan pada akar merupakan hasil dari perpanjangan sel-sel meristem sub-apikal dan pertumbuhan meristem interkalar. Perkembangan akar

dapat dipengaruhi oleh lingkungan dan genetik. Pengamatan terhadap pertumbuhan akar dilakukan dengan parameter panjang akar, berat kering akar, dan berat basah akar yang ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 4. Rerata Panjang akar, berat segar akar, berat kering akar, dan proliferasi akar.

Konsentrasi, lama waktu perendaman	Panjang akar (cm)	Proliferasi akar (skor)	Berat segar akar (g)	Berat kering akar (g)
3ml, 1 jam	22,66b	3	83,77a	2,36a
3ml, 6 jam	29,00b	3	81,66a	2,30a
3ml, 12 jam	26,00b	4	75,66a	2,48a
6ml, 1 jam	26,33b	3	95,33a	2,57a
6ml, 6 jam	43,00a	3	78,00a	2,39a
6ml, 12 jam	24,00b	4	85,89a	2,38a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil F pada taraf 5%.

a. Panjang Akar

Panjang akar merupakan hasil perpanjangan sel-sel meristem ujung, sedangkan pelebaran akar merupakan hasil dari meristem lateral atau pembentukan kambium, yang memulai pertumbuhan sekunder dari meristem kambium (Gardner *et al.*, 2008). Penyerapan air dan mineral terutama terjadi melalui ujung akar dan bulu. Akar juga berfungsi untuk transpor bahan makanan dari dan ke daun melalui batang dan percabangan. Berdasarkan hasil sidik ragam panjang akar (lampiran 5a), dapat diketahui bahwa perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 6 ml/L PGPR akar bambu memberikan hasil signifikan terhadap peningkatan panjang akar kedelai. Perendaman benih kedelai selama 6 jam dalam 6 ml/L PGPR akar bambu terbukti efektif dalam meningkatkan panjang akar (43cm) dibanding perlakuan lainnya. Pembentukan akar dipengaruhi oleh

berbagai faktor lingkungan, yaitu: produksi zat penghambat pada ujung akar (seperti Etilen dan Sitokinin), produksi zat penggiat pertumbuhan (misal Auksin, Tiamin, Asam Nikotinat, dan Adein); dan suatu keseimbangan (interaksi) antara bahan penghambat dan penggiat (Gardner *et al.*, 1985). Paul Overvoorde (2010) menyatakan bahwa Auksin dengan dosis tertentu mampu menginisiasi pemanjangan rambut akar epidermal dan pemanjangan akar lateral. Pembentukan rambut akar merupakan bagian pembelahan sel akar yang sangat dipengaruhi oleh Auksin. Auksin merupakan salah satu zat yang diproduksi oleh bakteri PGPR (Raghavan *et al.*, 2015). Pada perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 6ml/L PGPR akar bambu, diperkirakan terdapat komposisi atau interaksi antara zat penghambat dan zat penggiat yang optimal untuk peningkatan panjang akar.

b. Proliferasi Akar

Proliferasi akar merupakan banyaknya akar lateral dan rambut akar pada suatu zona perakaran. Akar lateral berasal dari meristem yang terbentuk dalam lingkaran tepi (endodermis). Rambut akar merupakan pelebaran lateral dari sel-sel epidermis. Akar lateral menembus endodermis dan korteks setelah pembelahan dan pemanjangan sel mendorong ujung akar baru (Gardner *et al.*, 1985). Berdasarkan tabel 5, dapat diketahui bahwa perlakuan perendaman benih kedelai dalam 3 ml/L dan 6 ml/L PGPR akar bambu selama 12 jam memberikan nilai tertinggi proliferasi akar dibanding perlakuan lainnya. Menurut Gardner *et al.*, (1985) pembentukan akar lateral dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu genetik, produksi bahan penghambat, produksi bahan penggiat, dan suatu interaksi antara bahan penggiat dan penghambat pertumbuhan. Bahan penggiat pertumbuhan tanaman misalnya Auksin, Tiamin, Asam Nikotinat, dan Adenin.

Auksin merupakan salah satu bahan penggiat pertumbuhan yang diproduksi oleh bakteri PGPR (Raghavan *et al.*, 2015). Menurut Paul Overvoorde (2010), pertumbuhan rambut akar merupakan salah satu proses pembelahan sel akar yang sangat dipengaruhi oleh Auksin. Selama proses pembentukan rambut akar, sel-sel pemanjangan rambut akar didukung oleh Auksin yang terdapat dalam sel-sel epidermal.

c. Bobot Segar Akar

Berat basah akar menunjukkan penambahan bobot pada akar yang berasal dari rambut akar dan diameter akar. Bertambahnya rambut akar dan pertambahan diameter akar menunjukkan banyaknya air dan mineral yang diserap oleh akar (Wright, 1962). Berdasarkan hasil sidik ragam bobot segar akar (lampiran 5c), perlakuan perendaman benih kedelai dalam PGPR akar bambu pada berbagai konsentrasi dan lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap berat segar akar. Berdasarkan Gambar 4, perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 6 ml/L PGPR cenderung memberikan hasil tertinggi pada berat basah akar, sedangkan perlakuan perendaman selama 6 jam dalam 3 ml/L PGPR cenderung memberikan hasil terendah. Tinggi rendahnya berat segar akar tergantung pada kedalaman dan proliferasi akar. Perakaran tanaman tumbuh ke dalam tanah yang lembab dan menarik air hingga mencapai potensial air kritis (Gardner *et al.*, 1985). Berat segar akar merupakan indikator kemampuan akar tanaman untuk menyerap air. Berat segar akar juga menjadi indikator untuk biomassa akar dalam tanah (Suwanto, 2019). Proliferasi akar yang semakin banyak akan meningkatkan berat segar akar karena tanaman dapat menyerap air dari sumber yang lebih luas. Menurut Gardner, rambut-rambut akar akan memberikan permukaan yang lebih

luas untuk berhubungan dengan volume yang lebih besar dari bagian-bagian tanah untuk pengambilan mineral. Perbedaan hasil berat segar akar dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu kandungan air dalam akar dan kelembaban lingkungan (Yoav, 2005).

d. Berat Kering Akar

Berat kering mengindikasikan jumlah nutrisi atau fotosintat yang diserap oleh akar. Pengukuran terhadap berat kering diperlukan untuk mengetahui banyaknya nutrisi yang dapat diserap akar tanaman. Hasil sidik ragam terhadap berat kering akar (lampiran 5b) menunjukkan perendaman benih kedelai pada PGPR akar bambu tidak menunjukkan beda nyata pada berbagai perlakuan. Pertambahan berat kering pada akar menunjukkan banyaknya perkembangan sel pada akar. Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan akar adalah hormon Auksin (IAA). Vaadia dan Itai (1965), mengemukakan bahwa Auksin menggalakkan pertumbuhan akar tetapi hanya bila dalam konsentrasi rendah. Berat kering akar akan meningkat sesuai dengan banyaknya proliferasi akar karena proliferasi akar merupakan hasil perpanjangan sel-sel endodermis dan epidermis. Dengan bertambahnya sel-sel pada rambut akar dan akar lateral, maka berat kering akar juga bertambah.

C. Perkembangan Tanaman Kedelai

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman berlangsung secara terus-menerus sepanjang daur hidup tanaman. Perkembangan tanaman bergantung pada tersedianya meristem, hasil asimilasi, hormon dan substansi pertumbuhan lain, serta lingkungan yang mendukung. Pertumbuhan berarti peningkatan jumlah sel dan peningkatan ukuran sel tanaman (Gardner *et al.*, 1985). Kedua proses ini

memerlukan sintesis protein dan merupakan proses yang tidak dapat berbalik (*irreversible*). Pengukuran terhadap perkembangan tanaman meliputi parameter tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, berat segar tajuk, dan berat kering tajuk; yang disajikan dalam tabel 6.

Tabel 5. Rerata parameter pertumbuhan tanaman.

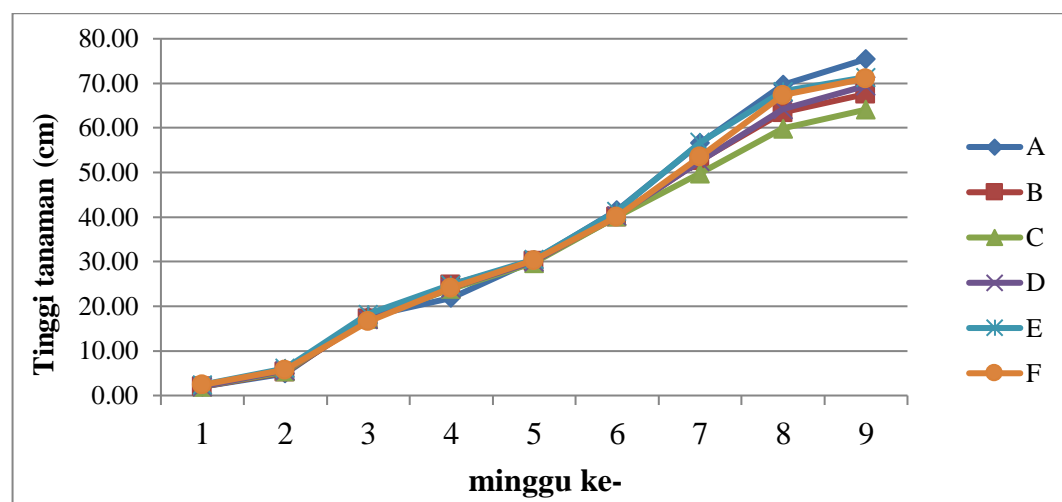
Konsentrasi, lama perendaman	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Luas Daun (mm²)	Berat Segar Tajuk (g)	Berat Kering Tajuk (g)
3ml, 1 jam	75,44a	83,78a	762a	22,99a	6,87a
3ml, 6 jam	67,61b	81,67a	662a	20,22a	5,96a
3ml, 12 jam	64,11b	75,67a	551a	16,47a	5,24a
6ml, 1 jam	69,47b	95,33a	913a	22,31a	7,26a
6ml, 6 jam	71,39b	78,00a	870a	19,73a	6,33a
6ml, 12 jam	71,11b	85,89a	725a	18,37a	5,01a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil uji F pada taraf 5%.

1. Tinggi Tanaman

Pertambahan tinggi pada tanaman merupakan hasil dari meningkatnya jumlah sel pada meristem apikal dari ujung batang. Jumlah hormon pertumbuhan dalam meristem apikal yang terbatas, mengakibatkan perlunya zat pengatur pertumbuhan dari luar (Gardner *et al.* 1985). Andrea Gallavotti (2013) mengemukakan bahwa fitohormon Auksin berperan dalam pemanjangan antar buku dan pemanjangan apikal batang. Berdasarkan hasil sidik ragam (lampiran 5d) perlakuan perendaman benih dalam 3ml/L larutan PGPR akar bambu selama 1 jam memberikan beda nyata terhadap seluruh perlakuan. Pertumbuhan tinggi tanaman merupakan hasil dari pemanjangan sel apikal dan terjadi dalam meristem interkalar. Pemanjangan sel apikal dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya yaitu zat pengatur pertumbuhan Auksin. Auksin merupakan salah satu zat yang

diproduksi oleh bakteri PGPR (Raghavan *et al.*, 2015). Menurut Morris (1996) Auksin berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tajuk tanaman, namun dalam dosis tinggi bersifat menghambat pertumbuhan dan percabangan. Diperkirakan dalam perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 3ml/L PGPR akar bambu dihasilkan Auksin dalam jumlah yang optimal oleh bakteri *Rhizobium sp* sehingga meningkatkan tinggi tajuk secara signifikan. Grafik tinggi tanaman kedelai disajikan pada gambar 2.



Keterangan:

- A= Perendaman 1 jam dalam 3ml/L PGPR
- B= Perendaman 6 jam dalam 3 ml/L PGPR
- C= Perendaman 12 jam dalam 3 ml/L PGPR
- D= Perendaman 1 jam dalam 6 ml/L PGPR
- E= Perendaman 6 jam dalam 6 ml/L PGPR
- F= Perendaman 12 jam dalam 6 ml/L PGPR

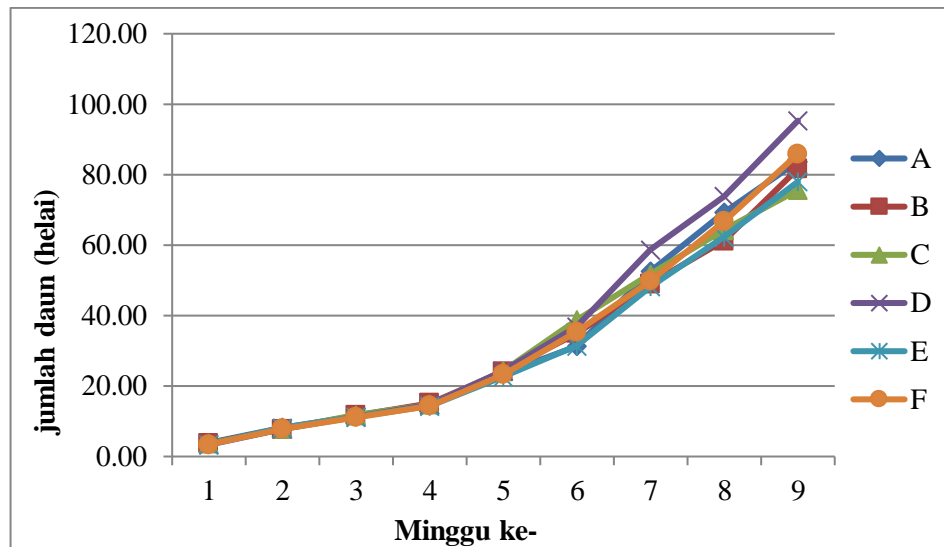
Gambar 2. Tinggi Tanaman Kedelai

Berdasarkan grafik pada gambar 2, dapat diketahui bahwa hasil terbaik tinggi tanaman kedelai terdapat pada perlakuan perendaman 1 jam dalam 3ml/L PGPR akar bambu, sedangkan hasil terendah terdapat dalam perlakuan perendaman selama 12 jam dalam 3ml/L PGPR akar bambu. Adanya perbedaan tinggi tanaman dapat disebabkan produksi fitohormon oleh tanaman atau

mikrobia. Leopold dan Thimann (1949) mengemukakan bahwa Auksin mempunyai pengaruh nyata terhadap pertumbuhan pucuk tanaman.

2. Jumlah Daun

Daun yang disokong oleh batang dan cabang merupakan pabrik karbohidrat bagi tanaman budidaya. Daun diperlukan untuk penyerapan dan pengubahan energi cahaya menjadi pertumbuhan dan menghasilkan panen melalui fotosintesis. Daun juga berperan dalam memobilisasi Nitrogen untuk pembentukan buah dengan memobilisasi N dari daun ke buah (Gardner *et al.*, 1985). Gardner juga menyatakan bahwa jumlah daun berkaitan dengan besarnya biomassa yang dihasilkan suatu tanaman. Untuk memperoleh laju pertumbuhan tanaman budidaya yang maksimum, harus terdapat cukup banyak daun dalam tajuk untuk menyerap sebagian besar radiasi matahari yang jatuh ke atas tanaman. Berdasarkan hasil sidik ragam jumlah daun (lampiran 5f), perlakuan perendaman benih dengan berbagai lama perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun. Nilai jumlah daun yang tidak berbeda nyata dapat disebabkan karena tanaman mendapatkan unsur hara yang sama. Penelitian yang dilakukan oleh Gungula (2005) menunjukkan bahwa unsur hara N berpengaruh nyata terhadap pertambahan jumlah daun. Sedangkan Tadesse (2001) menyatakan bahwa pemupukan awal berpengaruh terhadap perkembangan jumlah daun. Grafik jumlah daun Kedelai disajikan dalam gambar 3.



Keterangan:

A= Perendaman 1 jam dalam 3ml/L PGPR

B= Perendaman 6 jam dalam 3 ml/L PGPR

C= Perendaman 12 jam dalam 3 ml/L PGPR

D= Perendaman 1 jam dalam 6 ml/L PGPR

E= Perendaman 6 jam dalam 6 ml/L PGPR

F= Perendaman 12 jam dalam 6 ml/L PGPR

Gambar 3. Jumlah Daun Kedelai

Berdasarkan Grafik pada gambar 3, dapat diketahui bahwa jumlah daun tertinggi terdapat pada perlakuan perendaman selama 1 jam dalam 6 ml/L PGPR akar bambu, sedangkan jumlah daun terendah terdapat pada perlakuan perendaman 12 jam dalam 3ml/L akar bambu.

3. Luas Daun

Tanaman budidaya memerlukan penyerapan radiasi matahari secara efisien untuk fiksasi CO₂. Daun merupakan organ utama untuk menyerap cahaya dan untuk melakukan fotosintesis dari tanaman. Perkembangan luas daun pada tanaman budidaya sangat berpengaruh terhadap hasil panen terutama tanaman budidaya penghasil biji karena berat biji berasal dari fotosintesis yang terjadi setelah pembungaan (Gardner *et al.*,1985). Berdasarkan hasil sidik ragam luas daun pada lampiran 7f, tidak terdapat beda nyata pada berbagai perlakuan lama perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu terhadap luas daun kedelai. Tidak

adanya pengaruh nyata berbagai perlakuan terhadap luas daun disebabkan karena tanaman mendapatkan unsur hara dan temperatur lingkungan yang sama. Tadesse (2001) menyatakan bahwa pemupukan awal berpengaruh nyata terhadap luas daun tanaman. Tadesse juga mengemukakan bahwa temperatur lingkungan berpengaruh nyata terhadap luas daun. Luas daun berkaitan erat dengan penyerapan cahaya oleh daun. Permukaan daun merupakan organ utama tumbuhan untuk melakukan fotosintesis. Dalam budidaya tanaman penghasil biji, semakin tinggi fotosintesis, maka semakin tinggi berat biji yang dihasilkan karena berat biji berasal dari fotosintesis yang terjadi setelah pembungaan (Gardner *et al.*, 1985). Tidak adanya beda nyata luas daun dan jumlah daun dapat disebabkan karena tanaman mendapat unsur hara yang sama dan kondisi lingkungan yang sama. Kalju (1962) mengungkapkan bahwa faktor yang mempengaruhi jumlah daun dan luas daun tanaman diantaranya adalah unsur hara N.

4. Berat Segar Tajuk

Berat segar tajuk merupakan berat keseluruhan tajuk tanaman yang berasal dari fotosintat dan kadar air dalam tanaman. Berdasarkan hasil sidik ragam terhadap berat segar tajuk, tidak terdapat beda nyata pada perlakuan perendaman dengan berbagai lama perendaman dan konsentrasi PGPR akar bambu. Berdasarkan hasil sidik ragam berat segar tajuk (lampiran 5g), perlakuan perendaman benih dengan berbagai konsentrasi PGPR pada berbagai lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap berat segar tajuk. Berat segar tajuk dipengaruhi oleh banyaknya air dalam jaringan tajuk tanaman (Pratama, 2018). Pada berbagai perlakuan tidak terdapat beda nyata karena tanaman menyerap kelembaban dari lingkungan yang sama. Faktor-faktor yang

mempengaruhi pertumbuhan batang menurut Gardner *et al.*, (1985) yaitu pengatur pertumbuhan dan cahaya. Menurut Leopold dan Thimann (1949), Auksin mempunyai pengaruh nyata dalam pertumbuhan pucuk dari kuncup mahkota. Selain itu Giberelin juga dapat mengatasi kekerdilan seperti yang ditunjukkan pada kacang ercis dan jagung. Tidak adanya beda nyata antara berat segar tajuk dengan berat segar akar menunjukkan bahwa tanaman memiliki daya serap air yang sama. Hal ini juga disebabkan karena tanaman mendapat perlakuan penyiraman yang sama dan dalam kondisi kelembaban yang sama.

5. Berat Kering Tajuk

Berat kering tajuk tanaman budidaya merupakan akibat dari penimbunan hasil bersih asimilasi CO₂. Asimilasi CO₂ merupakan hasil penyerapan energi radiasi matahari dan merupakan faktor utama yang mempengaruhi berat kering total hasil panen (Gardner *et al.*, 1985). Berdasarkan hasil sidik ragam berat kering tajuk (lampiran 5i), perlakuan perendaman benih kedelai dalam berbagai konsentrasi larutan dan lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap berat kering tajuk. Kerbiriou (2012) menyatakan bahwa unsur hara N berpengaruh nyata dalam peningkatan berat kering tanaman. Pada berbagai perlakuan tidak terdapat beda nyata karena setiap tanaman mendapat pemberian unsur hara N yang sama. Selain itu, diperkirakan *Rhizobacteria sp.* dalam nodul kedelai berbagai perlakuan tidak menyuplai unsur hara N melalui fiksasi atmosfer dalam jumlah yang cukup untuk meningkatkan pertambahan berat kering tanaman secara signifikan. Berat kering tajuk merupakan keseimbangan antara penyerapan CO₂ (fotosintesis) dan pengeluaran CO₂ (respirasi). Apabila respirasi lebih besar dibanding fotosintesis, maka berat kering pada tumbuhan akan berkurang (Gardner, 1985). Asimilasi CO₂

ini merupakan hasil penyerapan energi matahari dan akibat radiasi matahari yang diabsorpsi oleh bagian-bagian tanaman. Penelitian yang dilakukan Kerbiriou (2013), menunjukkan bahwa air dan unsur hara N berpengaruh signifikan terhadap berat kering tajuk tanaman.

D. Hasil Panen Tanaman Kedelai

Produksi biji pada tanaman seringkali menjadi tujuan utama dalam produksi tanaman budidaya. Biji menjadi daerah pemanfaatan yang dominan bagi tanaman semusim. Oleh karena itu, selama pengisian biji, sebagian besar hasil asimilasi yang baru terbentuk maupun tersimpan, digunakan untuk meningkatkan berat biji. Komponen hasil panen tanaman kedelai meliputi jumlah polong per tanaman, berat biji per tanaman, dan berat 100 biji per tanaman yang ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 6. Rerata jumlah polong per tanaman, bobot 100 biji, berat biji/tanaman, dan hasil panen.

Konsentrasi, lama perendaman	Jumlah Polong per tanaman	Bobot 100 biji (g)	Berat biji/tanaman(g)	Hasil (Ton/ha)
3ml/L, 1 jam	50,22a	7,14a	11,45a	1,30a
3ml/L, 6 jam	62,56a	7,26a	13,46a	1,53a
3ml/L, 12 jam	40,89a	7,08a	9,62a	1,09a
6ml/L, 1 jam	55,44a	7,41a	12,40a	1,41a
6ml/L, 6 jam	71,33a	7,88a	16,78a	1,90a
6ml/ 12 jam	65,44a	7,74a	12,66a	1,44a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil uji F pada taraf 5%.

1. Jumlah polong per tanaman

Buah kedelai disebut “polong” dan tiap polong berisi 1-4 biji kedelai. Jumlah polong per tanaman tergantung pada varietas, jarak tanam, dan kesuburan tanah (Rukmana, 1996). Hasil produksi tanaman juga dipengaruhi oleh hasil asimilasi yang dihasilkan daun. Menurut Gardner *et al.*, (1985), hasil panen dipengaruhi

oleh pengelolaan, genotipe, dan lingkungan. Berdasarkan hasil sidik ragam jumlah polong kedelai (lampiran 5.h), perendaman benih kedelai dengan berbagai konsentrasi dan lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap jumlah polong per tanaman. Berdasarkan penelitian James E Board (2011), salah satu faktor utama yang mempengaruhi hasil polong kedelai adalah kemampuan fotosintesis tanaman. Fotosintesis mempengaruhi hasil tanaman karena 75-95% biomassa kering tanaman diperoleh melalui fiksasi CO₂ melalui fotosintesis. Perbedaan hasil jumlah polong terjadi karena tanaman memiliki kemampuan fotosintesis yang berbeda-beda. Kemampuan memfiksasi karbon dari atmosfer oleh tanaman mempengaruhi biomassa kering panen (James, 2011).

2. Bobot 100 biji

Pengukuran bobot 100 biji merupakan parameter untuk menentukan ukuran biji kedelai pada varietas atau kultivar tertentu. Karakter berat 100 biji merupakan perbandingan ukuran secara kuantitatif antara masing-masing galur (Li Ling, et al. 2014). Berdasarkan hasil sidik ragam bobot 100 biji (lampiran 5i), perlakuan perendaman benih kedelai pada berbagai konsentrasi larutan PGPR akar bambu dengan berbagai lama perendaman tidak memberikan beda nyata. Menurut David (1998), salah satu faktor utama yang mempengaruhi bobot 100 biji kedelai yaitu fiksasi N₂ dan pemupukan N. Lebih lanjut, David menyatakan bahwa Nitrogen berpengaruh signifikan terhadap berat biji kedelai pada kedelai tidak bernodul, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap kedelai bernodulasi. Kedelai yang tidak bernodulasi atau bernodul minimal, lebih responsif terhadap pemupukan N dibanding kedelai bernodulasi. Perbedaan dalam bobot 100 biji dapat diakibatkan perbedaan kemampuan tanaman dalam menyerap Nitrogen sebagaimana yang diungkapkan oleh David (1998) bahwa Nitrogen berpengaruh

signifikan terhadap berat biji kedelai. Bobot 100 biji lebih rendah dari standar karena tanaman tidak mampu menyerap N untuk pembentukan biji secara optimal. Ketidakmampuan tanaman dalam menyerap unsur N diperkirakan karena sedikitnya bintil yang terbentuk dalam akar.

3. Berat Biji Per Tanaman.

Penghitungan berat biji per tanaman dilakukan untuk mengetahui produksi biji yang dihasilkan pada satu tanaman. Peningkatan berat biji pada tanaman terjadi setelah inisiasi biji. Selama masa pengisian biji sebagian besar hasil asimilasi yang terbentuk maupun yang tersimpan, digunakan untuk meningkatkan berat biji (Gardner *et al.*, 1985). Berdasarkan hasil sidik ragam pada lampiran 7j, perlakuan perendaman benih dengan berbagai konsentrasi larutan PGPR dan berbagai lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap berat biji per tanaman. James (2011) mengungkapkan bahwa faktor utama yang mempengaruhi hasil biji kedelai adalah fotosintesis tanaman, dimana tanaman memanfaatkan CO₂ di atmosfer untuk meningkatkan biomassa tanaman.

4. Hasil Panen

Hasil panen dalam tanaman kedelai berupa biji (lampiran 6.q). Pertambahan berat dalam biji dipengaruhi dari hasil fotosintesis setelah terjadinya pembentukan biji. Hal ini disebabkan karena sebelum pengisian biji, kebanyakan hasil asimilasi digunakan untuk produksi vegetatif atau produksi bunga, sedangkan selama pengisian biji kebanyakan hasil asimilasi digunakan untuk proses tersebut (Gardner *et al.*, 1985). Gardner juga mengemukakan bahwa sumber-sumber fotosintesis memberikan sumbangan yang berbeda terhadap hasil

panen biji. Berdasarkan hasil sidik ragam hasil panen (lampiran 51), perlakuan perendaman benih kedelai dengan berbagai konsentrasi dan lama perendaman tidak memberikan beda nyata terhadap hasil panen. Hal ini terjadi karena fotosintesis yang dilakukan tanaman tidak menghasilkan biomassa yang cukup untuk meningkatkan hasil panen secara signifikan.

Bobot biji pada tanaman terutama dipengaruhi oleh hasil fotosintesis yang terjadi setelah masa pengisian biji. Gardner *et al.*, (1985) mengemukakan bahwa remobilisasi hasil asimilasi fotosintesis menyumbang hasil panen biji sebesar 25%, fotosintesis daun dan batang sebesar 45%, dan fotosintesis bongkol sebesar 30%. Remobilisasi fotosintat merupakan proses ditransportasikannya hasil asimilasi fotosintesis ke berbagai bagian tanaman.

Pada masa pengisian biji, tanaman cenderung meremobilisasi hasil asimilasi pada biji dibanding pada bagian vegetatif. Perlakuan perendaman benih dalam PGPR akar bambu tidak memberikan beda nyata terhadap seluruh parameter hasil panen terjadi karena parameter hasil panen dipengaruhi oleh hasil fotosintesis, dimana fotosintesis yang dominan terjadi di daun. Hormon pertumbuhan yang diproduksi oleh *Rhizobacter*, seperti IAA tidak berpengaruh terhadap penambahan daun ataupun luas daun (Gardner *et al.*, 1985). Penelitian yang dilakukan David (1998) mengemukakan bahwa nitrogen dalam tanaman kedelai bernodulasi tidak berpengaruh signifikan terhadap penambahan berat biji kedelai, karena nodul kedelai dan N dalam tanah memberi jumlah N yang cukup untuk tanaman memproduksi berat biji maksimum.

Perlakuan perendaman benih Kedelai dalam larutan MOL PGPR akar bambu mampu memberikan beda nyata terhadap tinggi tanaman dan panjang akar.

Penambahan panjang pada tajuk dan akar merupakan akibat dari pemanjangan meristem apikal dan sub-apikal. Salah satu faktor yang mempengaruhi pertambahan panjang batang tanaman adalah adanya hormon perangsang pertumbuhan (PGR) (Gardner *et al.*, 1985). Hormon perangsang pertumbuhan seperti Auksin dapat menggalakkan pertambahan panjang batang dan akar tanaman namun dalam konsentrasi tertentu. Fitohormon dapat dihasilkan oleh bakteri PGPR terutama *Bacillus sp.* dan *Serratia* (Khin *et al.* 2012). Bakteri PGPR yang diaplikasikan pada benih dapat tumbuh pada lingkungan rizosfer dan melepaskan Fitohormon yang memacu pertumbuhan tanaman. Selain memproduksi fitohormon, PGPR juga mampu memfiksasi N. Gardner (1985) mengemukakan bahwa pertumbuhan ujung (apikal dan sub-apikal) lebih digalakkan dengan tersedianya N dan air yang cukup. Bakteri PGPR yang diinokulasi pada benih Kedelai mampu berkembang biak di rizosfer dan memfiksasi N dari atmosfer dalam bentuk NH_3 sehingga menyediakan N yang cukup untuk pertumbuhan tanaman. Meskipun *Rhizobacteria* PGPR mampu memfiksasi Nitrogen dari atmosfer, namun jumlah tersebut tidak cukup untuk meningkatkan berat biji secara signifikan karena adanya penambahan unsur hara N, sebagaimana diungkapkan oleh David (1998) bahwa unsur hara N dalam tanaman kedelai bernodulasi tidak mempengaruhi penambahan berat biji secara signifikan.