

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertumbuhan dan Perkembangan Kedelai

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dan hormon yang diperlukan oleh suatu tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Pertumbuhan dalam arti sempit berarti pembelahan sel (peningkatan jumlah) dan pembesaran sel (peningkatan ukuran) sedangkan differensiasi seringkali dianggap sebagai bagian dari pertumbuhan sel. Perkembangan tanaman ialah suatu kombinasi dari sejumlah proses yang kompleks yaitu proses pertumbuhan dan differensiasi yang mengarahkan pada akumulasi berat kering (Gardner *et al.*, 1991).

Karakteristik kedelai (*Glycine max* L. Merrill) yang dibudidayakan di Indonesia merupakan tanaman semusim, tanaman tegak dengan tinggi 40 - 90 cm, bercabang, memiliki daun tunggal dan daun bertiga, bulu pada daun dan polong tidak terlalu padat dan umur tanaman antara 72 - 90 hari. Kedelai introduksi umumnya tidak memiliki atau memiliki sangat sedikit percabangan dan sebagian bertrikoma padat baik pada daun maupun polong (Sumarno *et al.*, 2007).

Polong kedelai pertama kali terbentuk sekitar 7-10 hari setelah munculnya bunga pertama. Panjang polong muda sekitar 1 cm. Jumlah polong yang terbentuk pada setiap ketiak tangkai daun sangat beragam, antara 1-10 buah dalam setiap kelompok. Pada setiap tanaman, jumlah polong dapat mencapai lebih dari 50, bahkan ratusan. Kecepatan pembentukan polong dan pembesaran biji akan semakin cepat setelah proses pembentukan bunga berhenti. Ukuran dan bentuk polong menjadi maksimal pada saat awal periode pemasakan biji. Hal ini kemudian diikuti oleh perubahan warna polong, dari hijau menjadi kuning kecoklatan pada saat masak (Sumarno *et al.*, 2007)

Tanaman kedelai mempunyai tipe perakaran tunggang. Pada tanah gembur akar dapat menembus hingga kedalaman 150 cm. Pertumbuhan akar tunggang lurus ke dalam tanah dan mempunyai banyak cabang akar. Pada akar lateral terdapat simbiosis bintil-bintil akar yang merupakan kumpulan bakteri *Rhizobium joponicum* pengikat N dari udara yang kemudian dapat dimanfaatkan tanaman kedelai. Bintil akar terbentuk 15-20 hari setelah tanam (Suprpto, 2004).

Sistem perakaran pada kedelai terdiri dari sebuah akar tunggang yang terbentuk dari calon akar sekunder yang tersusun dalam empat barisan sepanjang akar tunggang, cabang akar sekunder, dan cabang akar adventif yang tumbuh dari bagian bawah hipokotil. Bintil akar pertama terlihat 10 hari setelah tanam. Umumnya sistem perakaran terdiri dari akar lateral yang berkembang 10 - 15 cm di atas akar tunggang. Dalam berbagai kondisi, sistem perakaran terletak 15 cm di atas akar tunggang, tetap berfungsi mengabsorpsi dan mendukung kehidupan tanaman (Sumarno *et al.*, 2007).

Kedelai berbatang semak, dengan tinggi batang antara 30-100 cm. setiap batang dapat membentuk 3-6 cabang. Pertumbuhan batang dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe *determinate* dan *indeterminate*. Perbedaan sistem pertumbuhan batang ini didasarkan atas keberadaan bunga dan pucuk batang. Pertumbuhan batang tipe *determinate* ditunjukkan dengan batang yang tidak tumbuh lagi pada saat tanaman mulai berbunga. Pertumbuhan batang tipe *indeterminate* dicirikan bila pucuk batang tanaman masih bisa tumbuh daun, walaupun tanaman sudah mulai berbunga. Begitu juga dengan bentuk daun kedelai ada dua macam, yaitu bulat (oval) dan lancip (lanceolate) (Adisarwanto *et al.* 2005).

Daun sebagai organ fotosintesis sangat berpengaruh pada fotosintat berupa gula reduksi. Fotosintat berupa gula diproduksi sebagai sumber energi untuk tanaman (akar, batang, daun) serta diakumulasikan dalam buah, biji atau organ penimbun lain (*sink*), hasil fotosintesis yang tertimbun dalam bagian vegetatif sebagian dimobilisasikan ke bagian generatif (polong). Hasil fotosintesis dibagian vegetatif tersimpan dalam berat kering biji tanaman (Budiastuti, 2000).

Tanaman kedelai memiliki bunga sempurna, yaitu dalam satu bunga terdapat alat kelamin jantan (benang sari) dan alat kelamin betina (putik). Bunga berwarna ungu atau putih. Sekitar 60% bunga rontok sebelum membentuk polong. Di Indonesia tanaman kedelai mulai berbunga pada umur 30–50 hari (Fachruddin, 2000).

Tanaman kacang-kacangan, termasuk tanaman kedelai, mempunyai dua stadia tumbuh yaitu stadia vegetatif dan stadia reproduktif. Stadia vegetatif mulai dari tanaman berkecambah sampai saat berbunga, sedangkan stadia reproduktif mulai dari pembentukan bunga sampai pemasakan biji. Tanaman kedelai di

Indonesia yang mempunyai panjang hari rata-rata sekitar 12 jam dan suhu udara yang tinggi ($>30^{\circ}\text{C}$), sebagian besar mulai berbunga pada umur antara 5-7 minggu. Tanaman kedelai termasuk peka terhadap perbedaan panjang hari, khususnya saat pembentukan bunga. Bunga kedelai menyerupai kupu-kupu. Tangkai bunga umumnya tumbuh dari ketiak tangkai daun yang diberi nama rasim. Jumlah bunga pada setiap ketiak tangkai daun sangat beragam, antara 2-25 bunga, tergantung kondisi lingkungan tumbuh dan varietas kedelai. Bunga pertama yang terbentuk umumnya pada buku kelima, keenam, atau pada buku yang lebih tinggi.

Pembentukan bunga juga dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban. Pada suhu tinggi dan kelembaban rendah, jumlah sinar matahari yang jatuh pada ketiak tangkai daun lebih banyak. Hal ini akan merangsang pembentukan bunga. Setiap ketiak tangkai daun yang mempunyai kuncup bunga dan dapat berkembang menjadi polong disebut sebagai buku subur. Tidak setiap kuncup bunga dapat tumbuh menjadi polong, hanya berkisar 20-80%. Jumlah bunga yang rontok tidak dapat membentuk polong yang cukup besar. Rontoknya bunga ini dapat terjadi pada setiap posisi buku pada 1-10 hari setelah mulai terbentuk bunga.

Periode berbunga pada tanaman kedelai cukup lama yaitu 3-5 minggu untuk daerah subtropik dan 2-3 minggu di daerah tropik, seperti di Indonesia. Jumlah bunga pada tipe batang determinate umumnya lebih sedikit dibandingkan pada batang tipe indeterminate. Warna bunga yang umum pada berbagai varietas kedelai hanya dua, yaitu putih dan ungu.

Stadium pertumbuhan tanaman kedelai secara umum terdiri dari stadium vegetatif dan generative yaitu :

1. Stadia pertumbuhan vegetatif

Stadia pertumbuhan vegetatif dihitung sejak tanaman mulai muncul ke permukaan tanah sampai saat mulai berbunga. Stadia perkecambahan dicirikan dengan adanya kotiledon, sedangkan penandaan stadia pertumbuhan vegetatif dihitung dari jumlah buku yang terbentuk pada batang utama. Stadia vegetatif umumnya dimulai pada buku ketiga.

2. Stadia pertumbuhan reproduktif

Stadia pertumbuhan reproduktif (generatif) dihitung sejak tanaman kedelai mulai berbunga sampai pembentukan polong, perkembangan biji, dan pemasakan biji. Fase reproduktif dimulai sejak muncul bunga pertama sampai polong masak (Fachrudin, 2000). Menurut Adisarwanto *et al.* (2005), fase reproduktif kedelai dibagi menjadi delapan stadia, yaitu mulai berbunga (R1) pada 25-35 hst, pembentukan polong (R3) pada 32-50 hst, polong penuh atau maksimum (R5) pada 50-70 hst, dan biji masak siap dipanen (R8) pada 70-85 hst.

2.2 Inokulasi Rhizobium

Inokulasi ialah penambahan atau usaha pemberian inokulum yang berisi bakteri yang dapat meningkatkan N dari udara dan bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan. Bakteri ini biasanya disebut bakteri bintil akar. Karena hidup pada akar tanaman dan membentuk bintil akar. Inokulasi bakteri Rhizobium dapat dijadikan alternatif sebagai pupuk hayati untuk mengurangi penggunaan pupuk N kimia (Adisarwanto, 2000). Inokulasi Rhizobium perlu dilakukan pada tanah atau benih sebelum dilakukan penanaman.

Tujuan dari inokulasi Rhizobium Lamina (1989) ialah untuk menyediakan strain Rhizobium yang sesuai pada penanaman suatu jenis leguminoceae, karena kehadiran Rhizobium yang sesuai merupakan syarat utama untuk menjamin terbentuknya bintil akar yang efektif dan hal ini dapat dicapai jika faktor-faktor dalam tanah dan lingkungan turut mendukung. Menurut Pasaribu *et al.* (1998), tujuan inokulasi Rhizobium ialah (1) untuk introduksi bakteri Rhizobium ke lahan bukaan baru sehingga tanaman kedelai memperoleh manfaat dari simbiosis dengan Rhizobium, (2) menggantikan strain alami yang telah berkembang dalam tanah namun kurang efektif dalam penambatan nitrogen, (3) meningkatkan efektifitas penambatan N secara hayati.

Inokulasi Rhizobium mampu menjamin kondisi tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman, yaitu melalui pelepasan nitrogen yang difiksasinya dalam bentuk NH_3 ke dalam tanah, perombakan nitrogen yang diasimilasinya setelah bakteri tersebut mati ataupun hasil – hasil perombakan asam amino yang dapat membentuk amonium (Alexander, 1991). Rhizobium merupakan mikroba

penghuni tanah yang bersifat heterotrof dan tumbuh baik pada temperatur 25°C sampai 30°C. Rhizobium dapat melakukan simbiosis umumnya dengan tanaman dari famili Leguminosae. Simbiosis yang terjadi antara Rhizobium dengan tanaman legume ialah dengan terbentuknya bintil akar (nodul) (Rao, 1994).

Tanaman kedelai (*Glycine max* L.) seperti jenis leguminosae lainnya dapat mengikat nitrogen dari atmosfer dengan bantuan bakteri Rhizobium. Nitrogen yang diperlukan tanaman kedelai selain bersumber dari dalam tanah juga dari nitrogen di atmosfer melalui simbiosis dengan bakteri Rhizobium. Bakteri ini membentuk bintil akar (nodul) pada akar tanaman kedelai dan dapat menambat N dari udara. Hasil fiksasi nitrogen ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan N yang diperlukan oleh tanaman kedelai. Pada fiksasi yang efektif 50-75% dari total kebutuhan tanaman akan nitrogen tersebut dapat dipenuhi (Pasaribu *et al.*, 1998).

Keseluruhan kebutuhan nitrogen tanaman dapat dipenuhi dari fiksasi nitrogen biologis apabila nodul (bintil akar) yang efektif mengikat nitrogen terbentuk dalam jumlah cukup (Hardy dan Havelka, 1975). Hal ini dapat terjadi apabila populasi bakteri Rhizobium dari strain yang sesuai tersedia dalam tanah. Di dalam tanah terdapat berbagai macam strain Rhizobium, termasuk strain yang tidak efektif, dan jika strain Rhizobium yang tidak efektif menginfeksi tanaman, maka nodul yang dihasilkan tidak akan aktif memfiksasi nitrogen. Strain tersebut dapat tidak kompatibel (cocok) dengan varietas kedelai yang dibudidayakan dan tidak adaptif pada kondisi lingkungan di Indonesia. Kemungkinan ini semakin besar untuk inokulum yang berasal dari luar negeri yang banyak digunakan untuk menginokulasi tanaman leguminosae di Indonesia (Nurhayati *et al.*, 1998).

Fiksasi nitrogen dipengaruhi oleh efektifitas bintil akar. Bintil akar efektif akan terbentuk bila ada kesesuaian antara tanaman inang dengan Rhizobium. Bintil akar efektif ialah bintil akar yang aktif memfiksasi nitrogen dari udara, dengan ciri- ciri jaringan tengah bintil akar berwarna merah jika dibelah karena mengandung leghemoglobin (*leguminosae hemoglobin*) dan letaknya cenderung mengumpul pada leher akar di daerah sekitarnya. Sedangkan bintil akar yang tidak efektif biasanya disebabkan karena bintil akar tersebut terinfeksi oleh bakteri rhizobium yang tidak efektif, dengan ciri lebih muda karena tidak mengandung leghemoglobin (Islami dan Utomo, 1995). Bintil akar yang tidak

efektif biasanya kecil, bulat, putih dan menyebar pada hampir seluruh sistem perakaran. Sedangkan bintil akar yang efektif jumlahnya lebih sedikit, berwarna merah muda dan memanjang, terletak dekat akar- akar yang besar.

Efektivitas bakteri Rhizobium di dalam tanah ditentukan oleh banyak faktor, seperti pH tanah, viabilitas Rhizobium di lapangan dan daya saing bakteri Rhizobium itu sendiri dengan parasit bakteri yang dikenal dengan nama Rhizobiophage. Apabila ternyata bakteri Rhizobium itu sudah tidak efektif lagi, inokulasi tambahan perlu diberikan pada tanah-tanah bekas tanaman kedelai tersebut. Menurut Islami dan Utomo (1995) pertumbuhan bakteri Rhizobium menghendaki kisaran pH optimal sedikit dibawah netral hingga sedikit alkali. Pada pH yang sangat rendah akan mempengaruhi perkembangan Rhizobium dan bahkan akan menghambat proses infeksi bakteri tersebut. Agar efektif pada keadaan masam maka perlakuan inokulasi Rhizobium hendaknya diikuti dengan kapur pertanian (CaCO_3) untuk menaikkan pH tanah, mengurangi kelarutan Al dan kenaikan ketersediaan Mo.

Inokulasi Rhizobium telah banyak dilakukan di Indonesia. Namun demikian pada tanah yang pernah diinokulasi Rhizobium ternyata masih diperlukan inokulasi tambahan ketika dilakukan penanaman selanjutnya. Hasil penelitian Kris (2001) menyatakan bahwa pemberian inokulasi tambahan memberikan hasil jumlah dan bobot bintil akar total lebih baik daripada tanpa inokulasi tambahan. Tanah bekas tanaman kedelai masih mengandung bakteri Rhizobium dan dapat digunakan sebagai sumber inokulan. Tetapi perlu diperhatikan bahwa tingkat efektivitas bakteri Rhizobium di dalam tanah dapat menurun seiring dengan lamanya bakteri tersebut bertahan di dalam tanah tanpa tanaman kedelai (Joetono, 1981) Hasil penelitian Kris (2001) menyatakan bahwa bakteri Rhizobium yang diinokulasikan 1 musim yang lalu dan 2 musim yang lalu masih efektif, terbukti dengan terbentuknya bintil akar yang efektif. Namun pada berbagai parameter pengamatan dapat dilihat bahwa pada inokulasi 1 musim yang lalu lebih tinggi daripada inokulasi 2 musim yang lalu. Semakin lama bakteri Rhizobium berada di dalam tanah maka dapat menyebabkan menurunnya viabilitas, meningkatkan kemungkinan terserang bakteriofage, dan banyak yang mati oleh faktor lingkungan yang kurang menguntungkan.

2.3 Biochar

Biochar atau yang lebih kita kenal sebagai arang merupakan materi padat yang terbentuk dari karbonisasi biomasa. Biochar dapat ditambahkan ke tanah dengan tujuan untuk meningkatkan fungsi tanah dan mengurangi emisi dari biomasa yang secara alami terurai menjadi gas rumah kaca. Biochar juga mempunyai fungsi untuk mengikat karbon cukup besar (Lehmann dan Rondon, 2007). Tanah yang subur memerlukan kandungan bahan organik sebesar 2%. Arang hayati atau biochar memberikan opsi untuk pengelolaan tanah terutama sebagai penyedia karbon dan perekonstruksi. Menurut Lehmann dan Rondon (2007), semua bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah nyata meningkatkan berbagai fungsi tanah tak terkecuali retensi berbagai unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman. Biochar lebih efektif menahan unsur hara untuk ketersediaannya bagi tanaman dibandingkan bahan organik lain seperti sampah dedaunan, kompos atau pupuk kandang. Biochar juga menahan P yang tidak bisa diretensi oleh bahan organik tanah biasa.

Biochar sebenarnya ialah produk yang berupa karbon hitam yang diperoleh sebagai produk samping (padatan) dari pirolisis biomassa untuk menghasilkan energi bahan bakar. Pirolisis adalah proses termokimia dimana biomassa dikonversi melalui pemanasan dengan oksigen terbatas atau bahkan tanpa oksigen. Sifat biochar dipengaruhi oleh masukan bahan baku dan proses produksinya. Rondon *et al.* (2007) menggunakan limbah kayu eucalyptus untuk bahan baku biochar. Karakteristik biochar yang diperoleh adalah : total C (823,7 g kg⁻¹), total N (5,73 g kg⁻¹), pH (7,0), abu (0,3%), O₂ (13,7%), P-Bray (49,55), total P (580 mg kg⁻¹), total S (280 mg kg⁻¹), total Mg (1,31 g kg⁻¹), KTK (46,9 mmol kg⁻¹). Karakteristik biochar yang diperoleh dari kotoran ayam (Tagoe, Takatsugu Horiuchi, dan Matsui (2008) adalah pH (9,39), C (12,33%), total N (2,6%), total P (18,7 g kg⁻¹), total K (340 g kg⁻¹), total Ca (1,20 g kg⁻¹) dan total Mg (3,0 g kg⁻¹).

Sebagai bahan amandemen tanah, biochar telah terbukti dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Chan *et al.*, 2007). Lehmann dan Rondon (2006) melaporkan bahwa biochar juga menyediakan media tumbuh yang baik bagi berbagai mikroba tanah. Di dalam tanah, biochar menyediakan

habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Dalam jangka panjang biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Hasil penelitian Santi *et al.* (2010) menyatakan bahwa biochar memiliki keunggulan dibandingkan kompos dan gambut dalam hal kerapatan lindak, kerapatan partikel, aerasi dan kapasitas air tersedia yang tergolong tinggi. Nilai pH biochar sesuai dengan pH pertumbuhan optimal bakteri sehingga kerapatan populasi dari tiap bakteri dapat dipertahankan. Kesesuaian bakteri pemantap agregat terhadap biochar yang digunakan sebagai bahan pembawa ditunjukkan melalui daya tumbuh (viabilitas) bakteri yang cukup tinggi selama 12 bulan masa simpan.

Biochar berguna sebagai alat yang penting untuk meningkatkan keamanan pangan dan keragaman tanaman di wilayah dengan tanah yang miskin hara, kekurangan bahan organik, dan kekurangan air dan ketersediaan pupuk kimia. Biochar juga meningkatkan kualitas dan kuantitas air dengan meningkatnya penyimpanan tanah bagi unsur hara dan agrokimia yang digunakan oleh tumbuhan dan tanaman (Lehmann dan Rondon, 2007). Biochar juga dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Pencucian pupuk N dapat dikurangi secara signifikan dengan pemberian biochar tersebut ke dalam media tanam.

Biochar lebih tahan lama dalam tanah, sehingga semua manfaat yang berhubungan dengan retensi hara dan kesuburan tanah dapat berjalan lebih lama dibanding bahan organik lain yang biasa diberikan. Persistensi yang lama menjadikan biochar pilihan utama bagi mengurangi dampak perubahan iklim. Walau dapat menjadi sumber energi alternatif, manfaat biochar jauh lebih besar jika ditanamkan ke dalam tanah dalam mewujudkan pertanian ramah lingkungan.

Menurut Bambang (2012) bahan baku pembuatan biochar umumnya adalah residu biomasa pertanian atau kehutanan, termasuk potongan kayu, tempurung kelapa, tandan kelapa sawit, tongkol jagung, sekam padi atau kulit buah kacang-kacangan, kulit-kulit kayu, sisa-sisa usaha perkayuan, serta bahan organik yang berasal dari sampah kertas, sampah kota dan kotoran hewan. Bila limbah tersebut mengalami pembakaran dalam keadaan oksigen yang rendah atau

tanpa oksigen akan dihasilkan 3 substansi, yaitu; metana dan hidrogen yang dapat dijadikan bahan bakar, bio-oil yang dapat diperbaharui, dan arang hayati (biochar) yang mempunyai sifat stabil dan kaya karbon (>50%).

2.4 Kompos

Kompos diperoleh dari proses dekomposisi bahan organik. Pengomposan didefinisikan sebagai proses biokimiawi yang melibatkan jasad renik sebagai agen yang merombak bahan organik menjadi bahan yang mirip humus. Kompos dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan pembenah tanah. Kompos memiliki kelebihan dibandingkan pupuk kimiawi, yaitu mampu mengurangi kepadatan tanah, meningkatkan penyerapan hara dan kemampuan mengikat air sehingga tanah menjadi gembur dapat menyimpan air lebih lama, menahan erosi tanah, mengurangi pencucian hara serta menciptakan kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan jasad penghuni tanah seperti cacing dan mikroba tanah yang sangat berguna bagi kesuburan tanah (Aminah *et al.*, 2003).

Proses pengomposan berlangsung pada kondisi aerob dan anaerob. Pengomposan aerob merupakan pengomposan bahan organik dengan menggunakan O₂. Hasil akhir pengomposan anaerob terutama berupa CH₄ dan CO₂ serta sejumlah senyawa hasil antara yang menimbulkan bau busuk karena adanya H₂S dan sulfur organik seperti merkaptan (Simanungkalit *et al.* 2006). Proses pengomposan melibatkan bahan organik yang tidak stabil, udara dan air. Akhir pengomposan akan menghasilkan bahan organik yang stabil (seperti humus), adanya panas, gas-gas seperti CO₂ dan NH₃ serta biomasa dari mikroba.

Kompos dibuat dari bahan organik yang berasal dari bermacam-macam sumber. Dengan demikian, kompos merupakan sumber bahan organik dan nutrisi tanaman. Kemungkinan bahan dasar kompos mengandung selulosa 15-60%, enzim hemiselulosa 10-30%, lignin 5-30%, protein 5-30%, bahan mineral (abu) 3-5%, di samping itu terdapat bahan larut air panas dan dingin (gula, pati, asam amino, urea, garam amonium) sebanyak 2-30% dan 1-15% lemak larut eter dan alkohol, minyak dan lilin (Sutanto, 2002).

Kompos merupakan multi vitamin untuk tanah pertanian. Kompos akan meningkatkan kesuburan tanah, merangsang perakaran yang sehat. Kompos

memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan akan meningkatkan kemampuan tanah untuk mempertahankan kandungan air tanah. Aktivitas mikroba ini membantu tanaman untuk menyerap unsur hara dari tanah dan menghasilkan senyawa yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Aktivitas mikroba tanah juga diketahui dapat membantu tanaman menghadapi serangan penyakit melalui proses alamiah. Namun proses tersebut berlangsung lama sekali padahal kebutuhan akan tanah yang subur sudah mendesak. Oleh karenanya proses tersebut perlu dipercepat dengan bantuan manusia. Dengan cara yang baik, proses mempercepat pembuatan kompos berlangsung wajar sehingga bisa diperoleh kompos yang berkualitas baik (Murbandono, 2000).

