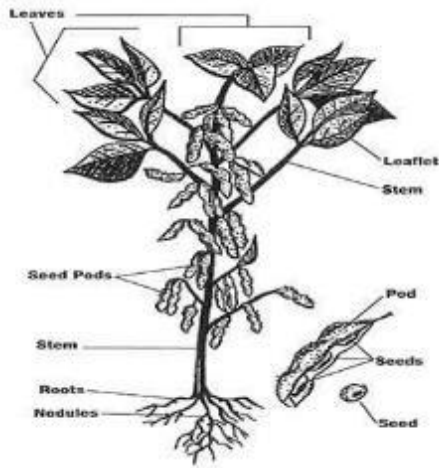


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tanaman Kedelai



Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Polyustales
Famili	: Leguminosae
Genus	: Glycine
Species	: <i>Glycine max</i> L

(Hidajat, 1985)

**Gambar 1.** Habitus tanaman kedelai  
(Ihf, 2019)

Kedelai yang dapat dibudidayakan memiliki nama botani *Glycine max* L. Tanaman kedelai merupakan tanaman semusim dengan karakteristik tegak dengan tinggi 40-90 cm, berbentuk semak, bercabang, memiliki daun tunggal dan daun bertiga, bulu pada daun dan polong tidak terlalu padat (Adie dan Ayda, 2016). Tanaman kedelai memiliki dua periode tumbuh yaitu periode vegetatif dan periode generatif. Periode vegetatif dimulai dari munculnya tanaman dipermukaan tanah sampai pada terbentuknya bunga pertama dengan masa periode 4-8 minggu (Lamina, 1989). Di Indonesia, usia kedelai dikelompokkan menjadi 5 bagian yaitu sangat genjah (>70 hari) genjah (70-79 hari), sedang (80-85 hari), dalam (86-90 hari) dan sangat dalam (>90 hari) (Adie, 2007 dalam Rahajeng dan M. Muchlish, 2013).

## 1. Morfologi

Kedelai merupakan tanaman tingkat tinggi dengan morfologi berupa akar, daun, batang, polong, dan biji.

### a. Akar

Perakaran kedelai terdiri atas akar tunggang, akar sekunder dan akar cabang (Hidajat, 1985). Pertumbuhan akar kedelai dimulai dari munculnya calon akar dari belahan kulit biji di sekitar misofil. Calon akar tersebut kemudian tumbuh ke dalam tanah, sedangkan kotiledon yang terdiri dari dua keping akan terangkat ke permukaan tanah akibat pertumbuhan yang cepat dari hipokotil (Islami dan Utomo, 1995). Beberapa data terkait perakaran kedelai tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perakaran pada kedelai secara umum

Bagian akar	Garis tengah akar (mm)	Panjang rata-rata akar rambut (panjang x garis tengah $\mu\text{m}$ )	Jumlah akar rambut per mm panjang akar
Akar tunggang	2,5	-	-
Akar serabut	0,65	110x17	606
Akar tersier	0,31	90x14	210
Akar kwarter	0,23	90x14	170

(Hidajat, 1985)

Melalui interaksi dengan bakteri *Rhizobium japonicum*, akar tanaman kedelai dapat membentuk bintil akar yang mampu menambat nitrogen. Bintil akar terbentuk pada tanaman kedelai muda setelah akar rambut pada akar utama atau akar cabang (Hidajat, 1985). Bintil akar pertama terlihat 10 hari setelah tanam dan perbesaran bintil akar berhenti pada minggu ke empat setelah terjadi infeksi bakteri. Perkembangan bakteri bintil akar dipacu oleh beberapa substansi khususnya triptofan yang dikeluarkan oleh akar kedelai. Bintil akar yang telah matang dan aktif menambat nitrogen dicirikan dengan warna merah muda yang disebabkan oleh

adanya leghemoglobin, sebaliknya bintil akar yang berwarna hijau diduga tidak aktif (Adie dan Krisnawati, 2007)

b. Batang

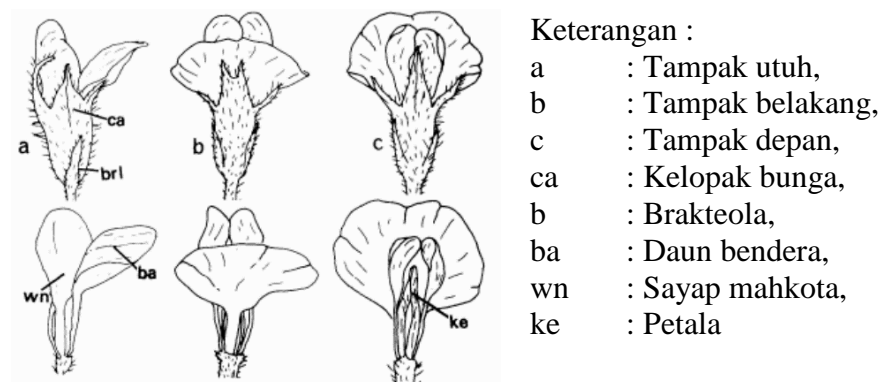
Batang kedelai berasal dari poros embrio yang terdapat pada biji yang telah masak. Bagian terpenting dari poros embrio merupakan hipokotil dan bakal akar. Pada proses perkecambahan kedelai, hipokotil merupakan bagian batang yang berkecambah mulai dari pangkal akar sampai kotiledon (Hidajat, 1985). Bagian batang di atas kotiledon yaitu epikotil yang terdiri dari dua daun sederhana, yaitu primordia daun bertiga pertama dan ujung batang (Adie dan Krisnawati, 2007). Batang kedelai dapat membentuk 3-6 cabang yang dipengaruhi oleh jarak tanam. Jarak tanam yang rapat menghasilkan jumlah cabang yang lebih sedikit ( Lamina, 1989). Batang kedelai dibedakan menjadi tipe determinat dan indeterminate. Pada batang determinat batang berukuran pendek hingga sedang, indeterminate memiliki batang yang tinggi hingga melilit (Lamina, 1989).

c. Daun

Kedelai memiliki daun yang terbagi menjadi empat tipe, yaitu: (1) kotiledon atau daun biji, (2) dua helai daun primer sederhana, (3) daun bertiga, dan 4) profila (Adie dan Krisnawati, 2007). Daun primer berupa daun tunggal, sedang daun-daun berikutnya merupakan daun bertiga (trifoliolat) namun ada kalanya berdaun empat, berlima (Hidajat, 1985). Daun, batang bunga, dan polong kedelai terdapat trikoma (bulu). Pada batang dan daun yang masih muda bulu berisi cairan, sedang ketika tua cairan tersebut akan menghilang dan berganti udara atau menjadi gepeng (Hidajat, 1985).

Pada daun terdapat stomata yang terletak pada lapisan epidermis atas dan bawah. Ukuran sel penjaga stomata berbeda ketika membuka dan menutup. Pada saat stomata tertutup, ukuran lebar kedua sel penjaga kurang lebih 12 mikron (6 mikron untuk setiap sel penjaga) dan panjang 24 mikron. Pada saat stomata terbuka, pampang total termasuk sel penjaga sekitar 16 mikron (Adie dan Krisnawati, 2007).

#### d. Bunga



Gambar 2. Struktur bunga kedelai (Adie dan Krisnawati, 2007).

Bunga kedelai berwarna ungu atau putih, termasuk bunga sempurna yang memiliki alat jantan dan alat betina. Bunga kedelai berukuran 3-7 mm, termasuk bunga papilionoidae (bunga kupu-kupu), dengan kelopak berbentuk tabung bergerigi tidak rata (Hidayat, 1985). Penyerbukan terjadi pada saat bunga masih tertutup (*kleistogamus*) sehingga kemungkinan penyerbukan silang amat kecil. Proses penyerbukan yang disusul oleh pembuahan ganda memakan waktu 8-10 jam.

#### e. Buah dan biji

Pembentukan polong kedelai berlangsung kurang lebih 21 hari (Hidayat, 1985). Bentuk polong kedelai rata atau agak melengkung dan memiliki panjang

berkisar antara 2 cm hingga 7 cm. Warna polong berubah seiring pertambahan usia. Polong muda bewarna hijau dan ditumbuhi trikoma. Warna polong matang beragam antara kuning hingga kuning kelabu coklat atau hitam. Tiap polong dapat berisi 1 hingga 5 biji (Hidayat, 1985). Biji kedelai memiliki beragam bentuk dari lonjong hingga bulat. Ukuran biji dikelompokkan menjadi 3 yaitu, besar (berat >14 g/100 biji), sedang (10-14 g/100 biji), dan kecil (< 10 g/100 biji).

## 2. Syarat tumbuh

Syarat tumbuh kedelai antara lain: tumbuh lebih optimal dengan kualitas biji yang lebih baik pada kondisi suhu udara 20-30° C; panjang hari yang sedikit, karena panjang hari yang lama menjadi faktor penyebab rendahnya tingkat produktivitas; kelembapan udara optimal yaitu 75-90%; kebutuhan air selama pertumbuhannya yaitu 350-550 mm (Adisarwanto, 2008). Selain faktor iklim, komponen lingkungan juga menjadi penentu keberhasilan usaha produksi kedelai yaitu kesuburan fisikokimia dan biologi tanah (Badan Litbang Pertanian, 2008). Kedelai dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah diantaranya alluvial, regosol, grumusol, latosol dan andosol dengan syarat tidak tergenang air yang dapat menyebabkan busuknya akar. Pada kondisi tanah asam, kedelai dapat tumbuh dengan baik dengan toleransi keasamaan tanah berkisar antara pH 5,8 - 7,0 (Haryanti dan Meirina, 2009).

## 3. Budidaya kedelai

Komponen teknologi produksi yang terdiri dari penggunaan varietas unggul yang adaptif, penyiapan lahan, waktu tanam dan cara tanam, pemupukan, pengairan, pengendalian gulma, pengendalian hama terpadu, pengeringan, panen

dan pascapanen dapat mendukung usaha peningkatan produksi kedelai (Adisarwanto, 2008).

a. Bahan tanam

Bahan tanam merupakan salah satu penjamin kualitas dan kuantitas hasil kedelai. Bahan tanam kedelai berupa benih. Benih yang baik dan bermutu tinggi memiliki syarat : a) murni dan diketahui nama varietasnya, b) memiliki daya tumbuh tinggi (> 85%) dan vigor baik, c) diperoleh dari tanaman yang masak/tua, sehat dan tidak terkena penyakit virus, d) biji sehat, bernas, mengkilat, tidak keriput, dan tidak terinfeksi cendawan dan bakteri, serta e) bersih, tidak tercampur dengan biji tanaman lain atau biji rerumputan. (Yusuf dan Harnowo, 2012). Di daerah endemik serangan lalat bibit, sebelum ditanam, benih perlu diberi perlakuan (*seed treatment*) dengan insektisida berbahan aktif karbosulfan (misalnya Marshal 25 ST) takaran 5–10 g/kg benih.

b. Persiapan lahan

Lahan dibajak 2 kali sedalam 30 cm selanjutnya dibuat saluran drainase setiap 4 m sedalam 20-25 cm lebar 20 cm untuk mencegah penggenangan air. Sebelum dilakukan kegiatan penanaman, terlebih dulu diberi pupuk dasar yang terdiri atas pupuk K. Pupuk NPK diberikan dengan takaran 75 kg Urea, 100 kg SP-36 dan 50 kg KCl per hektar (Petrokimia gresik, 2015).

c. Penanaman

Sebelum penanaman dilakukan *Seed treatment* sebagai langkah pencegahan akan serangan OPT berupa perendaman dengan pestisida bahan aktif fiproni untuk

mencegah serangan lalat kacang. Penanaman dilakukan dengan tugal, dengan jarak tanam 40 x 15 cm atau 30 x 20 cm, 2 biji/lubang.

d. Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman yang dilakukan yaitu penyiraman, penyiangan, pemupukan dan pengendalian hama dan penyakit.

1) Penjarangan

Penjarangan merupakan proses seleksi tanaman kedelai yang dilakukan pada saat tanaman berusia 2 minggu. Tanaman kedelai yang memiliki pertumbuhan baik dipertahankan sedang pertumbuhan kurang baik dicabut.

2) Pengairan / penyiraman

Umumnya budidaya kedelai tidak perlu pengairan, tetapi tanaman kedelai sangat peka terhadap kekurangan air pada awal pertumbuhan, pada usia 15–21 hari, saat berbunga (usia 25–35 hari), dan saat pengisian polong (usia 55–70 hari). Pada fase-fase tersebut tanaman harus dijaga agar tidak kekeringan (Nad.Litbang, 2009)

3) Penyiangan

Penyiangan dilakukan secara mekanik-konvensional atau manual maupun secara kimia dengan menggunakan herbisida. Penyiangan dilakukan pada usia 15, 30 dan 55 hari (Nad.Litbang, 2009).

4) Pengendalian hama dan penyakit

Pengendalian hama dilakukan menggunakan aplikasi insektisida yang berpedoman pada kondisis tanaman berusia 5-7 hari untuk lalat kacang, 16-24 hari untuk hama daun, usia 40-50 hari untuk hama daun dan polong, dan usia 60-80 hari untuk hama polong. Penggunaan insektisida harus tepat waktu, takaran dan cara

penyemprotan (Nad.Litbang, 2009). Beberapa OPT penting yang menyerang tanaman kedelai yaitu:

a) Lalat Bibit Kacang (*Ophiomya phaseoli*)

Lalat bibit menyerang sejak tanaman muncul ke permukaan tanaman hingga tanaman kedelai berusia 10 hari. Tanaman yang terserang lalat kacang ditandai dengan adanya bintik-bintik putih pada keping biji, daun pertama atau kedua (Marwoto dkk., 1991). Serangan larva *Ophiomya phaseoli* merusak batang hipokotil yang menyebabkan kematian tanaman. Pengendalian yang digunakan yaitu perendaman benih dengan insektisida bahan aktif fipronil.

b) Aphis (*Glycines matsusuaa*)

Hama aphis memiliki ukuran tubuh kecil antara 1-1,6 mm, tubuhnya lunak berbentuk seperti buah pir dan berwarna hijau agak kekuning-kuningan (Marwoto dkk., 1991). Aphis dewasa akan membentuk koloni pada tanaman inang. Pada umumnya aphis menyukai bagian muda pada tanaman inang. Selanjutnya, serangga muda (nimfa) dan imago mengisap cairan tanaman. Serangan aphis pada pucuk tanaman muda dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Hama ini menyerang tanaman kedelai muda sampai tua (Marwoto dkk., 1991).

c) Kutu kebul (*Bemisia tabaci*)

Kutu kebul merupakan hama penghisap daun. Kutu kebul dewasa memiliki tubuh berwarna putih dengan sayap jernih dengan ukuran tubuh berkisar antara 1-1,5 mm. Serangan ditandai dengan terdapatnya serangga muda (nimfa) dan dewasa yang mengisap cairan daun pada permukaan bawah daun. Selain itu, terdapatnya bercak neurotic akibat rusaknya sel-sel dan jaringan daun (Jadmiko *et al.* 2005).



Pada tanaman yang terserang kutu kebul sering tampak bewarna kehitaman, dikarenakan adanya cendawan jelaga. Ekskreta kutu kebul menghasilkan embun madu yang dapat digunakan sebagai medium tumbuh cendawan jelaga. (Marwoto dkk., 1991).

d) Penyakit Karat (*Phakopsora pachyrhizi*)

Penyakit karat daun disebabkan oleh cendawan *Phakopsora pachyrhizi*. Serangan ini di tandai dengan adanya bercak-bercak berwarna coklat kemerahan pada daun pertama. Selanjutnya, bercak-bercak tersebut berkembang ke daun-daun di atasnya. Pada umumnya, bercak bersudut banyak, berukuran sampai 1 mm (Marwoto dkk., 2013). Serangan karat daun dapat menyebabkan kehilangan hasil mencapai 90% (Sudjono dkk., 1985). Pengendalian penyakit karat daun menggunakan fungisida dengan bahan aktif mankozeb, tridiamefon, bitertanol dan difenokonazol (Marwoto dkk., 1991).

e. Panen dan pasca panen

Kedelai dipanen setelah memperlihatkan tanda antara lain, sebagian daun telah rontok, polong bewarna kuning/coklat dan mongering. Panen dimulai pada pagi hari sekitar jam 09.00 saat air embun telah hilang. Panen dilakukan dengan cara memotong pangkal batang tanaman. Penanganan pasca panen terdiri atas penjemuran brangkasan tanaman, pembijian, pengeringan, pembersihan dan penyimpanan biji (Nad.Litbang, 2009).

Salah satu komponen teknologi produksi untuk meningkatkan produksi kedelai yaitu pemupukan. Tanaman kedelai merupakan tanaman yang menghasilkan biji, sehingga unsur P sangat penting. Unsur P sangat diperlukan

untuk pembentukan biji (Tandon dan Kimmo 1993). Kekurangan unsur P dapat mengakibatkan pengisian polong tidak maksimal. Menurut Hardjowigeno (2003), fosfor (P) yang merupakan salah satu unsur hara makro esensial dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Unsur P juga berperan dalam pembentukan dan aktivitas bintil akar pada fase vegetatif tanaman (Puteri dkk., 2014).

Pada lahan yang memiliki pH rendah atau tinggi P tersedia sangat rendah oleh karena itu peningkatan P dilakukan melalui pemupukan. Putri dkk. (2014) menyatakan bahwa pemberian P dosis 0,5 g/ 10 kg tanah setara dengan 100 kg ha<sup>-1</sup> dan 1 g/ 10 kg tanah setara dengan 200 kg ha<sup>-1</sup> yang diberikan 5 kali lipat lebih efektif daripada tidak diberi P pada pertumbuhan kedelai. Selain itu, Liu and Rattan (2014) menyatakan bahwa dengan menggunakan *hydroxyapatite* nano partikel, pertumbuhan dan hasil kedelai meningkat masing-masing 33% dan 20%, dibandingkan dengan pupuk fosfor padat.

## **B. Tulang Ayam Sebagai Sumber Fosfor**

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara esensial yang berbeban penting dalam reaksi biokimiawi seperti pemindahan ion, kerja osmotik, reaksi fotosintesis dan glikolisis (Poerwidodo, 1992). Selain itu, menurut Sutarwi dkk. (2013), unsur P berperan penting dalam pembelahan sel dan pembentukan lemak, pembentukan bunga, buah dan biji, kematangan tanaman melawan pengaruh nitrogen, perkembangan akar halus dan serabut, serta peningkatan kualitas hasil tanaman. Kekurangan unsur P pada tanaman dapat menyebabkan tidak maksimalnya pertumbuhan tanaman, potensi hasil tidak tercapai dan tidak mampu melengkapi proses reproduktif yang normal (Poerwidodo, 1992)

Sumber Fosfor (P) alam dapat ditemukan pada kerak bumi yang kandungannya mencapai 0,12% P dalam bentuk batuan fosfat, endapan guano dan endapan fosil tulang (Poerwidodo, 1992). Bentuk P dari batuan fosfat yaitu (P sulit tersedia) sangat sukar larut dalam air sehingga diperlukan proses pelapukan supaya menjadi P yang mudah larut dalam air sehingga tumbuhan mampu menyerap fosfat dari dalam tanah (Utomo dkk., 2016). Penggunaan fosfat alam memiliki beberapa kendala, yaitu kadar  $P_2O_5$  total dalam fosfat alam sangat bervariasi sehingga menyulitkan dalam pengadaan, perdagangan, dan penggunaannya serta beberapa fosfat alam mengandung logam berat cukup tinggi sehingga dapat mencemari lingkungan (Litbang, 2011).

Tanah jarang yang melebihi 0,01% dari total P selain itu, P bersifat tidak mudah bergerak (*immobile*) dalam tanah. Sebagian besar bentuk fosfat terikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Pada tanah-tanah masam, fosfat akan bersenyawa dalam bentuk-bentuk Al-P, Fe-P, dan *occluded*-P, sedangkan pada tanah-tanah alkali, fosfat akan bersenyawa dengan kalsium (Ca) sebagai Ca-P membentuk senyawa kompleks yang sukar larut (Ginti, dkk., 2006). Pemberian pupuk fosfat ke dalam tanah, hanya 15-20% yang dapat diserap oleh tanaman, sisanya akan terjerap di antara koloid tanah dan tinggal sebagai residu dalam tanah (Buckman & Brady, 1956; Jones, 1982 dalam Ginting dkk., 2006). Bentuk fosfor yang diserap oleh tanaman dari dalam larutan tanah adalah anion fosfat monohidrogen ( $HPO_4^{2-}$ ) atau fosfat dihidrogen ( $H_2PO_4^-$ ), tergantung pada pH tanah.

Sumber fosfor lainnya yaitu berasal dari tulang. Berbeda dari pupuk alam, pupuk P yang berasal dari tulang bebas logam berat. Pemanfaatan tulang menjadi pupuk P masih minim. Penggunaannya sangat terbatas untuk campuran pupuk, makanan ternak, lem, dan gelatin. Akibatnya, limbah tulang tidak dimanfaatkan dan menyebabkan pencemaran lingkungan. Di Indonesia, limbah tulang tulang ayam semakin meningkat, berbanding lurus dengan peningkatan jumlah populasi ayam. Pada tahun 2016, populasi ayam ras pedaging mencapai 1,6 miliar ekor, mengalami peningkatan sebesar 6,82 % dari tahun 2015 (Kementrian Pertanian, 2016). Tulang tersusun atas senyawa organik dan anorganik dengan kandungan fosfor pada tulang berkisar 12-15% (Rasyaf, 2012). Selain itu, menurut Yildirim, (2004) Komposisi komponen kimia penyusun tulang berdasarkan persentase berat, terdiri dari 69% kalsium fosfat, 21% kolagen dan 10% air dan bahan organik lainnya.

Kandungan P pada tulang mampu menggantikan penggunaan pupuk anorganik. Berdasarkan penelitian Utami dkk. (2016), abu tulang sapi sebagai sumber Fosfor memberikan hasil yang efektif dalam menggantikan SP-36 pada budidaya tanaman jagung manis. Selian itu, penelitian Zwetsloot *et al.* (2016) menyatakan bahwa arang dari tulang dan pupuk TSP komersial terbukti memiliki tingkat efektifitas yang sama untuk pemupukan P pada tanaman jagung.

### **C. Teknologi Nano Partikel**

Teknologi nano merupakan sebuah teknologi yang berhubungan dengan benda-benda yang berukuran 1 hingga 100 nm. Partikel-partikel sangat kecil ini memiliki area permukaan yang luas dan reaktivitas tinggi. Munculnya

nanoteknologi dalam bidang pertanian telah membantu menyelesaikan permasalahan pertanian secara progresif (Shahrekizad *et al.*, 2015). Prinsip dasar nanoteknologi pada pertanian yaitu untuk memaksimalkan hasil dengan meminimalkan penggunaan input (Yanuar dan Widyawati, 2014).

Nano teknologi, pada pertanian menjadi inovasi teknologi untuk mencukupi kebutuhan nutrisi tanaman dalam bentuk pupuk nano. Janmohammadi (2016), menyatakan bahwa integrasi nanoteknologi dalam produk pupuk dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Hal ini dikarenakan, nano partikel memiliki diameter lebih kecil dari diameter lubang membran sel, oleh karena itu dapat dengan mudah melewati lubang pada membran (Asgari *et al.*, 2014). Pupuk berbasis nanopartikel memiliki kelebihan dibandingkan pupuk kimia yaitu nutrisi lepas lambat (*slow release*) dan hilangnya nutrisi dari tanah rendah. Nutrisi yang dilepas secara lambat memungkinkan tanaman untuk secara terus menerus mengambil nutrisi yang dibutuhkan seiring pertumbuhan (Aryanpour *et al.*, 2017).

Beberapa faktor yang mempengaruhi penyerapan, transportasi dan penetrasi nanopartikel pada tumbuhan yaitu sifat nanopartikel dan metode aplikasi (Pérez-de-Luque, 2017). Metode aplikasi pada pupuk nano dapat melalui akar dan melalui daun. Metode aplikasi penting untuk menentukan seberapa efektif suatu tanaman akan menginternalisasi nanomaterial, akar terspesialisasi dalam penyerapan nutrisi dan air, sedangkan daun dikembangkan untuk pertukaran gas dan menghasilkan kutikula yang menghambat penetrasi zat (Schwab *et al.*, 2015). Selain itu, pemilihan metode aplikasi didasarkan pada kondisi tanah. Metode pemupukan lewat daun dapat menjadi pilihan terbaik pada saat kondisi tanah membatasi

ketersediaan nutrisi yang digunakan dan tingkat kehilangan nutrisi yang diberikan pada tanah tinggi (Fernandez *and* Patric, 2013).

#### **D. Aplikasi Secara Foliar**

Salah satu metode pemupukan yaitu Aplikasi secara foliar. Metode ini menyuplai hara melalui daun. Proses penyerapan unsur hara oleh tanaman melalui daun yaitu, hara secara difusi masuk ke daun melalui stomata dan kutikula kemudian masuk ke dalam jaringan pembuluh didalam daun (Sarief, 1989 dalam Meiariani dkk., 2016). Beberapa faktor yang mempengaruhi penetrasi unsur hara dalam daun yaitu sifat-sifat larutan unsur hara dan kondisi lingkungan.

Konsentrasi larutan hara secara signifikan lebih tinggi dari pada konsentrasi cairan dalam organ tanaman. Konsentrasi larutan hara yang ideal untuk aplikasi foliar disesuaikan dengan faktor-faktor seperti jenis nutrisi (makro atau mikronutrien), spesies tanaman, usia tanaman, status gizi dan kondisi lingkungan (Kannan, 2010) untuk menghindari phyto-toksisitas. Phyto-toksisitas terjadi akibat aplikasi nutrisi yang memiliki konsentrasi tinggi sehingga mengakibatkan daun terbakar. Menurut Fagaria *and* Barbosa Filbo (2006), dalam 500 l air dapat digunakan pupuk P ( $H_3PO_4^-$ ) sebanyak 2-3 kg. Selain itu, ukuran molekul hara dalam larutan akan mempengaruhi laju penetrasi pupuk daun akibat mekanisme penyerapan kutikula. Proses penyerapan hara melalui stomata juga berdasarkan ukuran partikel. Partikel dengan diameter 1  $\mu m$  tidak memasuki pori stomata sedangkan partikel berdiameter 43 nm menembus ke stomata (Eichert *and* Goldbach, 2008).

Metode aplikasi foliar dipengaruhi oleh keadaan lingkungan. Menurut Novrizan (2002), dalam aplikasi pupuk secara foliar yang ideal dilakukan pada pagi dan sore hari saat terjadi pembukaan stomata. Stomata tumbuhan pada umumnya membuka pada saat hari terang, sehingga memungkinkan masuknya CO<sub>2</sub> yang diperlukan untuk fotosintesis pada siang hari dan penutupan berlangsung bertahap menjelang sore hari. Selain itu, menurut Haryanti dan Meriana (2009) penyiraman tanaman sebelum pemupukan dapat memacu optimalisasi pembukaan stomata.

Beberapa penelitian mengungkapkan hasil positif terhadap metode aplikasi lewat daun. Berdasarkan penelitian Rostami *et al.*, (2017) pemupukan daun menggunakan pupuk nano nitrogen memberikan efek positif pada karakteristik morfologi dan fisiologi dari tanaman papermint. Selain itu, Morsy *et al.*, (2017) menyatakan bahwa pemupukan daun menggunakan nano- ZnO adalah yang paling efektif dalam meningkatkan hasil serta meningkatkan kualitas tanaman dan polong pada tanaman buncis (*Phaseolus vulgaris* L.).

### **E. Hipotesis**

Integrasi nano teknologi dalam produk pupuk dianggap mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk (Janmohammadi, 2016). Akan tetapi, integrasi teknologi nano dalam produk pupuk organik belum banyak diterapkan salah satunya pada sumber P dari tulang ayam. Unsur P bergerak *immobile* pada tanah, sedangkan pemupukan secara aplikasi foliar belum banyak diterapkan pada tanaman kedelai. Maka perlu dilakukan penelitian mengenai konsentrasi pupuk nano fosfat abu tulang ayam yang tepat untuk tanaman kedelai. Mengacu pada penelitian Dhiba (2019) yang menyatakan bahwa konsentrasi nano fosfat abu tulang

sapi 0,2% berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi tanaman padi. Tanaman padi memiliki morfologi daun dan ketuhan P yang berbeda dengan kedelai. Akan tetapi, Barel (1975) menyatakan bahwa konsentrasi pemupukan fosfor secara foliar yang dianjurkan tidak lebih dari 0,5%. Peningkatan konsentrasi P pada aplikasi foliar meningkatkan kandungan nutrisi namun dapat menyebabkan daun terbakar (Fernandez *et al.*, 2015).

Oleh karena itu, hipotesis dalam penelitian ini diduga pemberian konsentrasi 0,2% nano fosfat abu tulang ayam dapat berpengaruh terhadap terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L.)