

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman penghasil minyak yang berasal dari Afrika Barat. Tanaman ini pertama kali ditanam di Indonesia oleh Bangsa Belanda dengan bibit yang berasal dari Mauritius dan Amsterdam. Bibit tersebut ditanam di Kebun Raya Bogor untuk dijadikan tanaman koleksi pada tahun 1848. Tanaman koleksi inilah yang menjadi nenek moyang dari tanaman kelapa sawit yang dibudidayakan di Asia Tenggara khususnya Indonesia dan Malaysia (Hadi, 2004).

Menurut Pahan (2008), kelapa sawit dibedakan menjadi 3 tipe yaitu:

1. Pisifera, umumnya tidak memiliki cangkang dan bunga betinanya steril sehingga sangat jarang menghasilkan buah. Kandungan minyak pada buah tanaman ini mencapai 40%.
2. Dura, memiliki cangkang dengan tebal sekitar 2—8 mm. Kandungan minyak pada buahnya sekitar 16—18% dan pada umumnya digunakan sebagai pohon induk untuk menghasilkan varietas komersial.

3. Tenera, tanaman ini merupakan hasil persilangan dari Dura dan Pisifera. Buahnya memiliki cangkang dengan tebal 0,5—4 mm dan kandungan minyaknya sekitar 22—32%.

Tanaman kelapa sawit dapat tumbuh baik pada jenis tanah podzolik, latosol, hidromorfik kelabu, alluvial atau regosol, tanah gambut, dataran pantai, dan muara sungai. Tanaman ini dapat tumbuh optimum pada tanah dengan pH sekitar 5,0—5,5 dan berdrainase baik. Lama penyinaran yang optimum untuk tanaman ini adalah 5—7 jam/hari dengan curah hujan tahunan 1.500—4.000 mm dan suhu optimum berkisar 24—28°C (Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, 2008).

Pemupukan merupakan hal yang sangat penting untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan produksi kelapa sawit. Hakim (2007) menyatakan bahwa 50% biaya produksi kelapa sawit digunakan untuk pemupukan. Oleh karena itu pemupukan yang tepat waktu dan tepat dosis harus diterapkan untuk mencapai hasil produksi yang optimal. Standar dosis pemupukan yang dianjurkan oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) terdapat pada Tabel 1.

Tabel 2. Dosis pemupukan bibit kelapa sawit (PPKS, 2009).

Umur (Minggu)	Jenis dan dosis pupuk (g/bibit)			
	Urea	NPKMg 15:15:6:4	NPKMg 12:12:17:2	Kieserite
Pembibitan Awal				
12	2g/1 air/100	2,5g	-	-
Pembibitan Utama				
14 - 15	-	2,5	-	-
16 - 17	-	5	-	-
18 - 20	-	7,5	-	-
22 - 24	-	10	-	-
26	-	-	10	-
28	-	-	10	5
30	-	-	10	-
32	-	-	10	5
34	-	-	15	-
36	-	-	15	7,5
38	-	-	15	-
40	-	-	15	7,5
42	-	-	20	-
44	-	-	20	10
46	-	-	20	-
48	-	-	20	10
50	-	-	25	-
52	-	-	25	10

Secara alami akar tanaman kelapa sawit membentuk simbiosis mutualisme dengan fungi mikoriza arbuskular (FMA) untuk menyerap unsur hara di dalam tanah. Berdasarkan penelitian Nurhalisyah (2012) pada perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur, jenis FMA yang ditemukan pada kebun pembibitan awal kelapa sawit adalah *Glomus* dan *Acaulospora*. Kemudian pada pembibitan utama kelapa sawit yang

ditemukan hanya *Glomus* saja. Sedangkan pada tanaman belum menghasilkan (TBM) yang ditemukan hanya *Acaulospora* saja.

2.2 Jarak Pagar

Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan tanaman penghasil minyak yang diperkirakan berasal dari daerah tropis di Meksiko, Amerika Tengah. Tanaman ini diintroduksi ke Indonesia oleh tentara Jepang pada saat perang dunia kedua untuk digunakan sebagai bahan bakar pesawat (Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, 2006).

Tanaman jarak pagar telah menyebar luas di daerah tropis dan subtropis. Tanaman ini tumbuh pada daerah dengan ketinggian 0—1.700 meter di atas permukaan laut atau pada suhu antara 18—35°C. Heller (1996) melaporkan bahwa tanaman ini dapat tumbuh dengan baik pada daerah dengan curah hujan 200—2.000 mm pertahun, dan pertumbuhan terbaiknya didapatkan pada daerah dengan curah hujan 900—1.200 mm pertahun (Becker dan Makkar, 1999). Suhu optimal untuk pertumbuhan tanaman ini adalah 18°C—30°C. Suhu yang terlalu rendah (<18°C) dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Sedangkan suhu yang terlalu tinggi (>35°C) dapat menyebabkan daun dan bunganya berguguran sehingga dapat menurunkan produksi buah. Tanaman ini juga dapat tumbuh optimal pada tanah dengan pH antara 5—6,5.

Pemupukan adalah salah satu kegiatan dalam pembibitan jarak pagar yang bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi bibit jarak pagar. Dengan tercukupinya kebutuhan bibit jarak pagar akan unsur hara diharapkan pertumbuhannya dapat optimal sehingga menghasilkan bibit yang berkualitas baik. Salim (2010) menganjurkan dosis pemupukan bibit jarak pagar seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 3. Dosis pemupukan bibit jarak pagar.

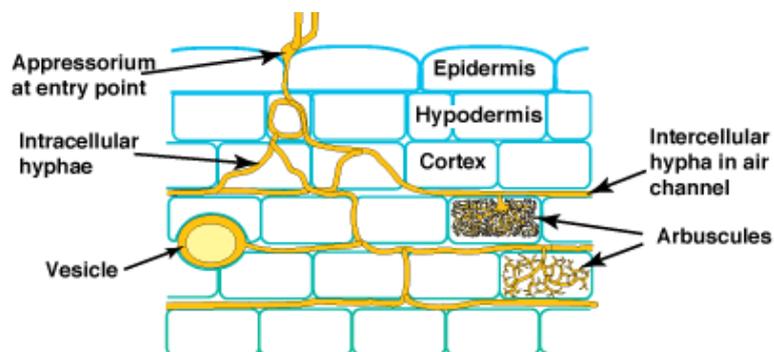
Umur Bibit (Minggu)	Dosis Pupuk (gram)		
	Urea	SP-36	KCl
1	20	20	10
2	0	0	0
3	0	0	0
4	20	0	0

Tanaman jarak pagar adalah tanaman yang secara alami dapat bersimbiosis dengan FMA. Muzakkir (2010) melaporkan bahwa jenis FMA yang ditemukan secara alami pada *rhizosfer* jarak pagar adalah *Glomus*, *Acaulospora*, dan *Gigaspora*.

2.3 Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA)

FMA merupakan salah satu jenis endomikoriza yang dapat meningkatkan kemampuan tanaman dalam penyerapan air dan unsur hara seperti fosfat, nitrogen, dan lain-lain. FMA memiliki

beberapa karakteristik yaitu perakaran inang yang terinfeksi tidak membesar, tetapi mempunyai rambut-rambut akar sehingga penampilannya tidak berbeda dengan akar-akar yang tidak terinfeksi. Karakteristik lain yang merupakan ciri khas FMA adalah adanya struktur berbentuk percabangan hifa yang disebut arbuskular dan ada juga yang membentuk struktur berbentuk oval yang disebut vesikular (Gambar 1). Jenis FMA yang membentuk arbuskular dan vesikular adalah jenis *Glomus*, *Paraglomus*, *Acaulospora*, dan *Entrophospora*, sedangkan jenis yang lain seperti *Gigaspora* dan *Scutellospora* hanya membentuk struktur arbuskular (Brundrett et al., 1996).



Gambar 1. Ilustrasi struktur FMA pada jaringan akar tanaman (Brundrett, 2008).

Secara umum proses kolonisasi FMA pada akar tanaman melalui 4 tahap yaitu (1) induksi perkecambahan spora dan pertumbuhan hifa, (2) kontak antara hifa dan permukaan akar yang menyebabkan pengenalan dan pembentukan apresorium, (3) penetrasi hifa ke dalam akar, dan (4) perkembangan struktur hifa interseleuler.

Pada tanaman yang bersimbiosis dengan FMA, penyerapan hara terutama P menjadi lebih besar karena penyerapan akar diperluas oleh miselium eksternal FMA. Kabirun (2002) melaporkan bahwa kecepatan masuknya P ke dalam hifa FMA enam kali lebih cepat daripada kecepatan masuknya P melalui rambut akar. Aldeman dan Morton (1986) melaporkan bahwa infeksi FMA pada akar tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kemampuannya untuk menyerap unsur P, Ca, N, Cu, Mn, K, dan Mg. Hal ini disebabkan adanya hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu akar sehingga jangkauan akar untuk menyerap unsur hara menjadi lebih luas.

Simbiosis FMA dengan akar tanaman juga memberi beberapa keuntungan diantaranya mikoriza dapat membantu penyerapan hara dan air melalui perluasan daerah penyerapan akar serta meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk fosfat (Sastrahidayat, 2000). Terjadinya simbiosis antara akar tanaman dan FMA sangat tergantung pada jenis FMA, tanaman inang, status tanah, serta interaksi ketiganya (Brundrett et al., 1996). Sedangkan intensitas infeksi FMA dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti pemupukan, nutrisi tanaman, pestisida, intensitas cahaya, musim, kelembaban, pH tanah, kepadatan inokulum, serta tingkat kerentanan tanaman (Fakuara, 1988). Intensitas infeksi FMA juga dipengaruhi oleh pertumbuhan dan perkembangan hifanya.

Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hifa FMA adalah sebagai berikut:

1. Oksigen, Setiadi (1996) melaporkan bahwa penurunan konsentrasi oksigen dapat menghambat perkecambahan spora FMA dan kolonisasi akar.
2. Suhu, Gunawan (1993) melaporkan bahwa suhu tanah yang tinggi umumnya dapat meningkatkan kolonisasi dan sporulasi FMA yang tinggi.
3. Cahaya, besarnya intensitas cahaya sangat menentukan jumlah FMA yang terbentuk. Hal ini disebabkan cahaya matahari berperan dalam pembentukan karbohidrat melalui asimilasi karbon yang selanjutnya akan digunakan oleh FMA sebagai sumber energi bagi pertumbuhannya (Fakuara, 1988).
4. Tingkat keasaman (pH) tanah, perkembangan spora FMA sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Setiadi (1996) menyatakan bahwa pH optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan spora *Glomus* sp antara 5,5—9,5. Sedangkan pH optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan *Gigaspora* sp sekitar 4—6.

FMA memiliki selang ekologi yang luas dan dapat ditemukan pada berbagai ekosistem seperti semak dan sabana, arid, semi arid, daerah tropika, daerah antartika, ekosistem gambut alami, hutan hujan tropika, serta padang rumput (Kartika, 2002). FMA juga

dapat diisolasi dari tanah asam hingga alkalin dengan pH tanah berkisar 2,7—9,2. Sieverding (1991) melaporkan bahwa FMA yang cocok hidup pada pH<5,0 adalah *Entrophospora columbiana*, pada pH>5,0 adalah *Glomus mosseae* dan *Gigaspora margarita*, serta pada kisaran pH 4,0—8,0 terdiri dari *Acaulospora myriocarpa*, *Acaulospora longula*, *Acaulospora morrowae*, *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus aggregatum*, *Glomus vesiforme*, dan *Scutellospora pellucida*. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa pada setiap jenis tanah dan jenis tanaman ditemukan jenis FMA yang berbeda. Hanafiah (2001) melaporkan bahwa di sawah tadah hujan di Bogor ditemukan 2 isolat *Gigaspora* dan 5 isolat *Glomus*. Pada tanah PMK bekas hutan ditemukan 4 isolat *Glomus* dan 5 isolat *Acaulospora*. Sedangkan pada tanah PMK bekas perkebunan karet ditemukan 7 isolat *Glomus* dan 2 isolat *Acaulospora* (Kartika, 2006).

2.4 Fosfat

Fosfat merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah banyak selain nitrogen dan kalium. Peranan fosfat yang paling penting adalah untuk memacu pertumbuhan generatif tanaman, memacu pertumbuhan akar, dan pembentukan sistem perakaran (Schmidt, 2000). Menurut Marschner (1995) dan Havlin et al. (1999), fungsi P pada tanaman adalah sebagai berikut:

1. Sebagai penyusun struktur makromolekul dalam asam nukleat (DNA atau RNA), nukleotida, fosfoprotein, fosfolipid, dan fosfat gula. Asam nukleat adalah senyawa yang berperan dalam pewarisan sifat dan perkembangan tanaman sehingga tanpa unsur P proses tersebut tidak akan berlangsung sempurna.
2. Sebagai salah satu unsur penyusun biomembran, yakni membentuk jembatan antara digliserida dan molekul yang lain (asam amino, amina atau alkohol), membentuk *fosfatidilkolin* yang berfungsi untuk menjaga integritas membran.
3. Sebagai sumber penyimpanan dan transfer energi dalam bentuk ATP, ADP, dan AMP. Energi yang diperoleh dari fotosintesis dan metabolisme karbohidrat disimpan dalam bentuk fosfat dan selanjutnya digunakan dalam proses pertumbuhan dan reproduksi. Energi dalam ATP/ADP terletak pada ikatan pirofosfat yang pemecahannya akan melepaskan energi yang dikenal dengan proses fosforilasi. ATP merupakan sumber energi pada hampir semua proses biologi yang memerlukan energi.
4. Mengontrol beberapa reaksi enzim kunci. Hampir semua reaksi metabolisme selalu melewati turunan fosfat. Fosfat juga berfungsi sebagai regulator reaksi biokimia yang dapat mengaktifasi atau menginaktivasi protein yang dianggap sebagai faktor kunci dalam sinyal transduksi.

5. Digunakan untuk pembentukan biji dan buah. Fosfat juga berperan dalam pertumbuhan akar dan pemasakan buah.

Menurut Lingga dan Marsono (2001), apabila tanaman kekurangan unsur hara P akan mengakibatkan daunnya terlihat tua dan tampak mengkilap kemerahan, buahnya kecil, penampilannya buruk, dan lekas matang.

Pada umumnya unsur fosfat di alam terdapat dalam tiga bentuk yaitu P anorganik terlarut, P anorganik tidak larut, dan P organik. Bentuk P organik yang sering ditemukan di dalam tanah adalah dalam bentuk fosfolipid, asam nukleat, dan fosfat inositol. Jika P organik mengalami proses mineralisasi, maka akan terbentuk H_2PO_4^- yang akan segera diikat oleh komponen tanah. Sedangkan P anorganik dapat dibedakan menjadi dua yakni; (1) P aktif, yang terdiri dari P-Ca, P-Al, P-Fe, dan (2) P tidak aktif yang terdiri dari *occlude-P* dan mineral fosfor primer (Soepardi, 1983). Fosfat bersifat tidak *mobile* dan mudah terjerap dalam liat dan logam-logam di dalam tanah seperti Al, Fe, dan Ca.

Fosfat diserap tanaman dalam bentuk H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Absorpsi ion-ion tersebut dipengaruhi oleh pH tanah di sekitar akar (Engelstad, 1997). Pada pH rendah ($\text{pH} < 5$) tanaman lebih banyak menyerap H_2PO_4^- , dan pada pH tinggi ($\text{pH} > 8$) tanaman lebih banyak menyerap HPO_4^{2-} (Hanafiah, 2005).

Menurut Jones (1982) tanaman hanya mampu menyerap 15—20% dari pupuk fosfat yang diberikan ke dalam tanah, sedangkan sisanya akan terjerap diantara koloid tanah dan tinggal sebagai residu di dalam tanah. Penyerapan P oleh tanaman sebagian besar dilakukan dengan cara difusi. Difusi merupakan mekanisme pergerakan P menuju akar karena adanya perbedaan konsentrasi. Difusi P sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor di dalam tanah yakni kadar air tanah, kapasitas penyangga P tanah, suhu, dan bentuk lintasan difusi (Havlin et al., 1999).

Gunawan (1993) mengemukakan ada beberapa mekanisme penyerapan fosfat oleh tanaman dari sumber P tidak larut yaitu:

1. Fosfat organik dapat diabsorpsi oleh tanaman bermikoriza melalui aksi enzim fosfatase. Enzim fosfatase yang dihasilkan oleh hifa yang sedang aktif tumbuh dan peningkatan aktivitas fosfatase pada permukaan akar menyebabkan P_i dibebaskan oleh fosfat pada daerah dekat permukaan sel sehingga dapat diserap melalui akar.
2. Sumber fosfat organik dapat dilarutkan oleh adanya asam-asam organik. Banyak fungi yang menghasilkan asam oksalat sehingga dapat mengkelat ion Ca atau membuang ion tersebut dari larutan tanah dalam bentuk kalsium oksalat. Asam oksalat juga dapat memacu pelepasan ion fosfat yang diabsorpsi oleh hidroksi besi dan aluminium.

3. Beberapa bakteri pelarut fosfat dan fungi tanah dapat melepaskan P ke dalam *pool* P labil di dalam tanah yang selanjutnya dapat diserap oleh tanaman bermikoriza.

Pada saat ini telah banyak beredar pupuk anorganik yang mengandung fosfat baik itu dalam bentuk pupuk tunggal ataupun pupuk majemuk. Menurut FAO (2005) pupuk yang mengandung fosfat yang paling dominan digunakan di Indonesia adalah *Triple Superphosphate* (TSP) dan *Super Phosphate* (SP-36). Pupuk TSP adalah pupuk tunggal berbentuk butiran padat dengan komponen utama berupa monokalsium fosfat. Pupuk ini memiliki rumus kimia $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ dan mengandung 45% P_2O_5 (IPNI, 2012). Pupuk TSP memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pupuk fosfat lainnya. Beberapa kelebihannya antara lain mengandung P yang sangat tinggi ($\pm 45\%$), memiliki P terlarut lebih dari 90% sehingga dapat langsung diserap oleh akar tanaman. Namun belakangan ini peran pupuk TSP mulai digantikan oleh pupuk SP-36 yang mengandung 36% P_2O_5 . Hal ini disebabkan penggunaan pupuk SP-36 dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan pupuk TSP.

2.5 Interaksi FMA dan P

Inokulasi FMA pada akar tanaman dapat mempengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara terutama P.

Hal itu disebabkan FMA mampu memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga luas daerah penyerapan hara terutama P menjadi lebih besar. FMA juga menghasilkan asam-asam organik dan enzim fosfatase sehingga mampu melepaskan P yang terjerap dalam liat, Al, Fe, dan Ca (Gunawan, 1993). Setiadi (2000) juga menyatakan bahwa inokulasi FMA pada tanaman *Acacia mangium* mampu menghemat penggunaan P sebesar 180 kg/ha/tahun.

FMA membantu akar tanaman menyerap P dari dalam tanah melalui tiga mekanisme yakni:

1. Mekanisme fisik. Infeksi FMA pada akar tanaman dapat membantu penyerapan P dengan cara memperluas permukaan serapan akar. Miselium FMA yang tumbuh memanjang dapat mengambil P yang berada di luar jangkauan akar. Pada umumnya daerah di sekitar perakaran mengalami kekosongan unsur hara terutama P atau yang lebih dikenal dengan *depletion zone*. Hayman (1983) menyatakan bahwa *depletion zone* ini terjadi karena akar tanaman menyerap P lebih cepat daripada gerakan P yang berdifusi lambat ke permukaan akar akibat kurangnya mobilitas ion-ion fosfat dalam tanah. Menurut Suciatmih (1996) panjang hifa FMA dalam tanah dapat mencapai 2,6—54 meter/gram tanah. Hal tersebut menunjukkan bahwa akar yang terinfeksi oleh FMA dapat

mengeksplorasi tanah jauh lebih besar dibandingkan akar yang tidak terinfeksi.

2. Mekanisme kimia. Menurut Hayman (1983) sekitar 95—99% P yang ada di dalam tanah terdapat dalam bentuk tidak larut sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Mosse (1981) menyatakan bahwa FMA mengeluarkan eksudat berupa anion-anion seperti poligalakturonat, sitrat, dan oksalat. Eksudat ini menyebabkan perubahan pH *rhizosfer* menjadi sekitar 6,3 sehingga P yang terikat oleh liat, Fe, dan Al dapat dilepaskan dan menjadi tersedia bagi tanaman.
3. Mekanisme fisiologis. Hayman (1983) menyatakan bahwa akar yang terinfeksi oleh FMA memiliki metabolisme energi yang lebih besar sehingga lebih aktif dalam menyerap P pada konsentrasi 10^{-7} — 10^{-6} di dalam larutan akar sehingga menjadi 10^{-3} — 10^{-2} di dalam akar tanaman. FMA juga menghasilkan berbagai jenis hormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Hormon auksin berfungsi untuk mencegah atau memperlambat proses penuaan dan suberasi akar (*feeder root*) sehingga fungsi akar sebagai penyerap unsur hara dapat diperpanjang.

Simbiosis antara FMA dan akar tanaman tidak selamanya dapat berlangsung secara efektif. Schubert dan Hayman (1978) menyatakan bahwa simbiosis tersebut dapat berlangsung efektif

apabila tanah mengalami defisiensi unsur P dan efektivitas simbiosis tersebut akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar P dalam tanah. Pernyataan tersebut juga didukung oleh Amijee et al. (1989) yang melaporkan bahwa infeksi FMA pada akar tanaman secara signifikan berkurang pada tanah yang mengandung P. De Miranda et al. (1989) juga melaporkan bahwa penambahan pupuk P pada tanah dapat menyebabkan penundaan infeksi akar oleh FMA sehingga persentase infeksi akar menjadi rendah. Menurut Swift (2004) pembentukan simbiosis mikoriza mencapai maksimum jika kadar P dalam tanah tidak lebih dari 50 *part per million* (ppm).