

II. KERANGKA PEMIKIRAN

A. Tinjauan Pustaka

1. Fosfor dalam Tanah

Fosfor merupakan unsur hara kedua yang penting bagi tanaman setelah nitrogen. Fosfor umumnya diserap tanaman sebagai ortofosfat primer (H_2PO_4) atau bentuk sekunder (HPO_4^{2-}). Fosfor kadarnya didalam tanaman lebih rendah dari N, K, dan Ca. Hal ini disebabkan retensi yang tinggi terhadap unsur P di dalam tanah menyebabkan konsentrasinya di dalam tanah larutan tanah cepat sekali berkurang (Leiwakabessy *et al.*, 2003). Tanaman memerlukan P pada semua tingkat pertumbuhan terutama pada awal pertumbuhan dan pembungaan (Rubatzky dan Yamaguchi, 1999). Apabila terjadi kekurangan P akibat retensi didalam tanah, tanaman akan menunjukkan gejala di dalam jaringan yang tua terlebih dahulu baru diangkut ke bagian bagian meristem atau jaringan yang lebih muda (Tisdale *et al.*, 1999).

Secara umum fosfat di dalam tanah dibagi dalam dua bentuk, bentuk P organik dan P anorganik. Jumlah kedua bentuk ini disebut sebagai P total. Bentuk yang tersedia bagi tanaman atau jumlah yang dapat diambil oleh tanaman hanya merupakan sebagian kecil dari jumlah yang ada di dalam tanah.

2. Morfologi Tanaman Karet

Klasifikasi tanaman Karet sebagai berikut:

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Euphorbiales

Famili : Euphorbiaceae

Sub famili : Rosidae

Genus : Hevea

Spesies : *Hevea brasiliensis* Muell. Argv

(Setyamidjaja, 1993)

Tanaman karet secara morfologi terdiri atas bagian vegetatif (akar, batang, daun, dan biji). Vegetatif (okulasi). Biji yang akan dipakai untuk bibit, terutama

untuk penyediaan batang bagian bawah harus sungguh-sungguh baik (Setyamidjaja, 1993). Morfologi tanaman karet adalah sebagai berikut:

a. Akar

Tanaman karet mempunyai akar tunggang dan akar lateral. Pada tanaman yang berumur 3 tahun kedalaman akar tunggang sudah mencapai 1,5 m. Apabila tanaman sudah berumur 7 tahun maka akar tunggangnya sudah mencapai kedalaman lebih dari 2,5 m. Pada kondisi tanah yang gembur akar lateral dapat berkembang sampai pada kedalaman 40 - 80 cm. Akar lateral berfungsi untuk menyerap air dan unsur hara dari tanah. Pada tanah yang subur akar serabut masih dijumpai sampai kedalaman 45 cm. Akar serabut akan mencapai jumlah yang maksimum pada musim semi dan pada musim gugur mencapai jumlah minimum (Basuki dan Tjasadihardja, 1995).

b. Batang

Tanaman karet merupakan pohon yang tumbuh tinggi dan berbatang cukup besar. Tinggi pohon dewasa mencapai 15-25 m. Batang tanaman biasanya tumbuh lurus dan memiliki percabangan yang tinggi. Beberapa pohon karet ada kecondongan arah tumbuh agak miring. Batang tanaman ini mengandung getah yang dikenal dengan naman lateks (Setiawan dan Andoko, 2005).

c. Daun

Daun karet berwarna hijau. Apabila akan rontok berubah warna menjadi kuning atau merah. Daun karet terdiri dari tangkai daun utama dan tangkai anak daun. Panjang tangkai daun utama sekitar 3 - 20 cm. Panjang tangkai anak daun sekitar 3-10 cm. Biasanya terdapat 3 anak daun pada setiap helai daun karet. Anak daun karet berbentuk elips, memanjang dengan ujung yang meruncing, tepinya rata dan tidak tajam (Marsono dan Sigit, 2005).

Bunga karet terdiri dari bunga jantan dan betina yang terdapat dalam malai payung yang jarang. Pada ujungnya terdapat lima taju yang sempit. Panjang tenda bunga 4 - 8 mm. Bunga betina berambut, ukurannya sedikit lebih besar dari bunga jantan dan mengandung bakal buah beruang tiga. Kepala putik yang akan dibuahi dalam posisi duduk juga berjumlah tiga buah. Bunga jantan mempunyai sepuluh benang sari yang tersusun menjadi suatu tiang. Kepala sari

terbagi dalam 2 karangan dan tersusun lebih tinggi dari yang lain (Marsono dan Sigit, 2005).

d. Buah Karet

Karet merupakan tanaman berbuah polong yang sewaktu masih muda buahnya terpaut erat dengan rantingnya. Buah karet dilapisi kulit tipis berwarna hijau dan didalamnya terdapat kulit tebal yang keras dan berkotak. Tiap kotak berisi sebuah biji yang dilapisi tempurung biji. Setelah tua warna kulit buah berubah menjadi keabu-abuan dan kemudian mengering. Pada waktunya pecah dan jatuh, bijinya tercampak lepas dari kotaknya. Tiap buah tersusun atas dua sampai empat kotak biji. Pada umumnya berisi tiga kotak biji dimana setiap kotak terdapat satu biji. Tanaman karet mulai menghasilkan buah pada umur lima tahun dan semakin banyak setiap pertambahan umurnya. (Aritonang, 1983).

Tanaman karet mulai berbuah pada umur 5 tahun. Sebelum berbuah tanaman karet mengalami luruh daun menjelang berakhirnya musim hujan, kemudian bersemi lagi dan mulai berbunga. Masa luruh daun berbeda-beda tergantung iklim setempat. Pertumbuhan dari bunga menjadi biji tua berlangsung selama 5,5 – 6 bulan. Di pulau Jawa musim masak biji jatuh pada bulan Maret sedangkan di Sumatera Utara pada bulan Oktober sampai November (Iskandar, 2014).

e. Cangkang biji karet (kulit buah)

Secara fisik cangkang buah karet memiliki ciri sebagai tumbuhan yang berlignin. Konstruksi cangkang yang keras mengindikasikan bahwa cangkang buah karet ini mengandung senyawa aktif berupa lignin. Selain pemanfaatannya yang masih kurang optimal, jika dibandingkan dengan bagian buah lainnya, bagian cangkang termasuk bagian yang mengandung lignin yang cukup banyak, sehingga bagian ini cukup potensial untuk diolah menjadi produk briket. Hal ini akan membuat cangkang buah karet menjadi lebih termanfaatkan.

Setiap pohon diperkirakan dapat menghasilkan 5.000 butir biji per tahun atau satu hektar lahan dapat menghasilkan 2.253 sampai 3 juta biji per tahun. Komposisi kimia daging biji karet terdiri dari bahan kering 92,22 % atau sekitar 15 ton biji kering per cangkang atau setara dengan 9 kg bij kering lepas

cangkang; protein kasar 19,20 %; lemak kasar 47,20 %; kadar air 8 %, serat kasar 6,00 %; abu 3,49 %; BETN 24,11 %; dan HCN 573,72 ppm. (Effendi, 2014).

f. Biji karet

Biji karet atau Para (*Hevea brasiliensis*) di Indonesia saat ini masih merupakan produk sampingan yang dapat dikategorikan belum dimanfaatkan secara maksimal karena baru sebagian kecil yang digunakan sebagai bibit. Biji karet tergolong rekalsitran. Beberapa sifat-sifat biji karet diantaranya biji tidak pernah kering di pohon tetapi akan jatuh dari pohon setelah masak dengan kadar air sekitar 35 %. Biji karet tidak tahan terhadap kekeringan dan tidak mempunyai masa dormansi dan biji karet akan mati bila kadar air dibawah 12 %. Biji karet tidak dapat disimpan pada kondisi lingkungan kering karena akan mengalami kerusakan. Daya simpan biji umumnya singkat dan kisaran suhu penyimpanan biji karet yang baik adalah 7-10 °C, karena pada suhu ini belum mengalami pembekuan sel (Sembawa, 2009).

g. Amilum

Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang. Hewan dan manusia juga menjadikan pati sebagai sumber energi yang penting.

Pati tersusun dari dua macam karbohidrat, amilosa dan amilopektin, dalam komposisi yang berbeda-beda. Amilosa memberikan sifat keras (pera) sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Amilosa memberikan warna ungu pekat pada tes iodine sedangkan amilopektin tidak bereaksi. Penjelasan untuk gejala ini belum pernah bisa tuntas dijelaskan (Winarno,2004).

3. Kelas Lereng

Menurut Suparno dan Marlina Endy (2005), Topografi adalah keadaan yang menggambarkan kemiringan lahan, atau kontur lahan, semakin besar kontur lahan berarti lahan tersebut memiliki kemiringan lereng yang semakin besar. Secara sempit, definisi topografi yang sempit khusus untuk pengaturan bentuk lahan. Jenis-jenis bentuk topografi adalah :

a. Pegunungan dan Bukit

Pegunungan adalah bentuk topografi tanah yang paling berbeda terutama karena ketinggiannya. Massa daratan ini menjulur hingga jauh dari permukaan bumi hingga ketinggian lebih dari 1.000 kaki di atas titik dasar. Bukit di sisi lain hanya menutupi ketinggian sekitar 500 hingga 999 kaki di atas pangkalan. Pegunungan dapat terjadi secara tunggal, seperti Gunung Everest di Asia karena proses vulkanisitas, atau dalam bentuk jajaran akibat proses pelipatan, seperti Pegunungan Rockies di Amerika Utara, Pegunungan Andes di Amerika Selatan, Pegunungan Alpen di Eropa, Pegunungan Ural di Rusia.

b. Lembah

Lembah adalah cekungan yang meluas di permukaan bumi yang biasanya dibatasi oleh bukit atau gunung dan biasanya ditempati oleh sungai atau aliran. Karena lembah biasanya ditempati oleh sungai, mereka juga dapat miring ke outlet yang bisa berupa sungai lain, danau atau laut. Bentuk lembah bervariasi tetapi mereka biasanya ngarai sisi curam atau dataran luas, namun bentuknya tergantung pada apa yang mengikisnya, kemiringan tanah, jenis batu atau tanah dan jumlah waktu tanah telah terkikis.

c. Dataran

Dataran adalah area luas yang relatif datar. Dataran adalah salah satu bentuk topografi yang mencakup lebih dari sepertiga wilayah daratan dunia. Dataran ada di setiap benua. Dataran terbentuk dengan berbagai cara. Beberapa dataran terbentuk ketika terjadi erosi pada tanah dan batu di tanah yang lebih tinggi oleh tenaga air dan es.

d. Dataran Tinggi

Dataran tinggi adalah bentuk lahan datar yang naik secara tajam di atas daerah sekitarnya setidaknya di satu sisi. Dataran tinggi terjadi di setiap benua dan mengambil sepertiga dari daratan Bumi. Mereka adalah salah satu dari empat bentang alam utama, bersama dengan gunung, dataran, dan bukit. Meskipun dataran tinggi berdiri di ketinggian yang lebih tinggi daripada daerah sekitarnya, mereka berbeda dari pegunungan yang rata. Beberapa dataran tinggi, seperti Altiplano di Peru selatan dan Bolivia barat, merupakan bagian integral dari sabuk gunung.

4. Ketersediaan P Tanah

Unsur P dalam tanah yang terikat dalam bentuk senyawa fosfat merupakan senyawa yang mudah tersedia bagi tanaman. Unsur P, N, dan K digolongkan sebagai unsur utama, tetapi unsur P diabsorpsi dalam jumlah kecil dibandingkan dengan unsur N dan K. Tanaman mengabsorpsi P dalam bentuk ion orthofosfat primer, $H_2PO_4^-$. Tanaman dapat juga mengabsorpsi fosfat dalam bentuk P organik.

Penelitian mengenai fosfat organik tanah masih sangat sedikit, walaupun senyawa ini merupakan fraksi yang melebihi setengah dari seluruh fosfat dalam tanah. Walaupun demikian berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka P organik tanah dapat digolongkan kedalam tiga golongan besar yaitu : 1). Asam nukleat 2). Fosfolipid 3). Inositolfosfat (Arinong, 2013). Fosfor organik di dalam tanah terdapat sekitar 50% dari P total tanah dan bervariasi sekitar 15-80% pada kebanyakan tanah. Ketersediaan P organik bagi tanaman sangat tergantung pada aktifitas mikroba untuk memineralsifikannya namun sering kali hasil mineralisasi ini segera bersenyawa dengan bagian bagian anorganik untuk membentuk senyawa yang relatif sukar laut.

Fosfat anorganik dapat diimobilisasi menjadi P organik oleh mikroba dengan jumlah yang bervariasi antara 25-100% (Havlin et al, 2005), beberapa studi menyatakan bahwa P organik mempunyai sifat dan ciri berbeda dengan karbon dan nitrogen. Pengamatan dilapangan mendapatkan bahwa nisbah dari total karbon organik dan total nitrogen terhadap total P organik bertambah dengan meningkatnya pH tanah (Arinong, 2013).

Bentuk P anorganik dapat dibedakan menjadi : 1) P aktif yang meliputi Ca-P, Al-P, Fe-P dan 2) P tidak aktif yang meliputi occluded-P, reductant-P, dan mineral P primer. Pada Tanah masam kelarutan Al dan Fe menjadi tinggi, dengan demikian, ion fosfat ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) akan segera terikat membentuk senyawa P yang kurang tersedia bagi tanaman. Mula mula senyawa ini bersifat koloidal, lambat laun menjadi kristal varisit $AlPO_4 \cdot H_2O$ (Havlin et al, 2005).

5. Kehilangan Fosfor dari Tanah

Kehilangan fosfor dari tanah dapat terjadi melalui mekanisme panen, pencucian, erosi, dan penguapan. Kehilangan fosfor yang paling utama adalah melalui mekanisme panen tergantung produksi tanaman dan jumlah sisa hasil panen yang dikembalikan ke lahan pertanian. Selain itu, kehilangan P melalui P melalui pencucian sangat kecil karena kadar fosfat di dalam larutan tanah sangat kecil walaupun terjadi drainase yang hebat sekali.

Kehilangan P melalui penguapan sampai saat ini dapat diabaikan. Sedangkan kehilangan P melalui erosi dapat terjadi didalam tanah terdapat dalam bentuk yang relatif sukar larut, karena fosfat yang diberikan dalam pupuk segera diikat oleh tanah menjadi bentuk yang sukar larut (Tisdale et al., 1999).

Fosfat mudah terverifikasi oleh Al dan Fe yang menyebabkan fosfat tidak tersedia bagi tanaman. Semakin rendah pH tanah maka semakin tinggi jumlah konsentrasi ion Al, Fe, dan Mn yang dapat larut. Akibatnya makin tinggi jumlah P yang diikat. Adanya pengikatan fosfat tersebut menyebabkan pupuk fosfat yang diberikan tidak efisien sehingga perlu diberikan dalam takaran tinggi. Pemberian pupuk fosfat ke dalam tanah hanya 15-20% yang dapat diserap oleh tanaman sedangkan sisanya akan terjebak diantara koloid tanah dan tinggal sebagai residu dalam tanah (Buckman dan Brady, 1956; Jones, 1982). Hal ini akan menyebabkan defisiensi fosfat bagi pertumbuhan tanaman.

6. Bakteri Pelarut Fosfat

Salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat dalam mengatasi rendahnya fosfat tersedia dalam tanah adalah dengan memanfaatkan kelompok mikroba pelarut fosfat yaitu mikroba yang dapat melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Tanaman menyerap fosfor dalam bentuk $H_2PO_4^{2-}$, HPO_4 lebih tersedia bagi tanaman daripada HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} . Umumnya bentuk H_2PO_4 , ketersediaan fosfor anorganik sangat ditentukan oleh pH tanah, jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik serta kegiatan jasad mikro dalam tanah (Lal, 2002).

Di dalam tanah dapat ditemukan mikroba pelarut fosfat anorganik yang jumlahnya sekitar 10^4 - 10^6 per gram tanah dan sebagian besar berada pada daerah perakaran. Satu diantara golongan mikroba pelarut fosfat dalam tanah adalah

dari golongan bakteri. Populasi mikroba pelarut fosfat dari kelompok bakteri jauh lebih banyak 6-10 dibandingkan dengan kelompok fungi. Jumlah populasi bakteri pelarut fosfat dapat mencapai 12 juta organisme per gram tanah sedangkan fungi pelarut fosfat hanya berkisar dua puluh ribu sampai dengan satu juta per gram tanah (Alexander, 1977).

Keberadaan mikroba pelarut fosfat ada yang hidup pada kondisi dari suatu tempat ke tempat yang lainnya sangat beragam. Salah satu faktor yang menyebabkan keragaman tersebut adalah sifat biologisnya. Mikroba pelarut fosfat ada yang hidup pada kondisi asam, netral, dan basa, ada yang hipofilik, mesofilik, dan termofilik, serta ada yang hidup dikondisi aerob atau anaerob.

Aktivitas mikroba tanah berpengaruh langsung terhadap ketersediaan fosfat didalam larutan tanah. Sebagian aktivitas mikroba tanah dapat melarutkan fosfat dari ikatan fosfat tak larut (melalui sekresi asam-asam organik) atau mineralisasi fosfat dari bentuk ikatan fosfat-organik menjadi fosfat anorganik. Selain tanaman, fosfat anorganik terlarut juga digunakan oleh mikroba untuk aktivitas dan pembentukan sel-sel baru, sehingga terjadi pengikatan (immobilisasi) fosfat (Santoso, 2007). Fosfat merupakan salah satu unsur makro esensial, tidak hanya bagi kehidupan tumbuhan tetapi juga bagi biota tanah. Tanah mengandung banyak komponen, salah satunya adalah berbagai macam populasi mikroorganisme, sehingga aktivitas mikroba tanah berpengaruh langsung terhadap ketersediaan fosfat di dalam larutan tanah.

Bakteri Pelarut Fosfat adalah kelompok bakteri mikroorganisme tanah yang memiliki kemampuan dalam melarutkan ion P yang terikat dengan kation tanah berupa Al, Fe, Ca, dan Mg mengubahnya ke dalam bentuk yang tersedia sehingga dengan mudah diserap tanaman. Sebagian aktivitas mikroba tanah dapat melarutkan fosfat dari ikatan fosfat tak larut (melalui sekresi asam-asam organik) atau mineralisasi fosfat dari bentuk ikatan fosfat-organik menjadi fosfat-anorganik.

Selain tanaman, fosfat anorganik terlarut juga digunakan oleh mikroba untuk aktivitas dan pembentukan sel-sel baru, sehingga terjadi pengikatan (immobilisasi) fosfat. Mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok bakteri pelarut fosfat antara lain genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Thiobacillus*,

Mycobacterium, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Escherichia*, *Brevibacterium*, *Serratia*, *Alcaligenes*, dan *Achromobacter*. Kelompok bakteri pelarut fosfat yang banyak terdapat pada lahan pertanian di Indonesia berasal dari genus *Enterobacter* dan *Mycobacterium* (Gunarto dan Nurhayati, 1994 dalam Santosa 2007).

Bakteri pelarut fosfat mempunyai kemampuan melarutkan fosfat-anorganik tak larut dengan mensekresikan asam-asam organik. Namun, dari beberapa strain bakteri, ternyata genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* mempunyai kemampuan yang tinggi dalam melarutkan fosfat (Rodríguez dan Fraga, 1999). Setiap bakteri pelarut fosfat (BPF) menghasilkan jenis dan jumlah asam organik berbeda dan ada kemungkinan satu jenis BPF menghasilkan lebih dari satu jenis asam organik. Kemampuan asam organik melarutkan fosfat menurun dengan menurunnya konstanta stabilitas ($\log K$) menurut urutan sebagai berikut: asam sitrat > oksalat > tartarat > malat > laktat > glukonat > asetat > ormat (Santosa, 2007).

Bakteri pelarut fosfat diketahui mereduksi pH substrat dengan mensekresi sejumlah asam organik seperti asam-asam format, asetat, propionate laktat, glikolat, fumarat dan suksinat. Penggunaan bakteri pelarut fosfat dapat mensubstitusi sebagian atau seluruhnya kebutuhan tanaman akan pupuk P, tergantung pada kandungan P tanahnya dan memberikan hasil yang positif terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Asam-asam organik yang dihasilkan oleh BPF sangat berperan dalam pelarutan fosfat sukar larut dalam medium maupun dalam tanah melalui mekanisme antara lain: kompetisi anion-ortofosfat pada tapak jerapan, perubahan pH medium, pengikatan logam membentuk logam organik dan chelate oleh ligan organik (Setiawati, 2008).

7. Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri pelarut fosfat (BPF) dapat diisolasi dari tanah yang kandungan fosfatnya rendah terutama di sekitar perakaran tanaman. Hal ini karena bakteri pelarut fosfat menggunakan fosfat dalam jumlah sedikit dan mampu

memanfaatkan fosfat tidak tersedia untuk keperluan metabolismenya (Alexander, 1977).

Adanya pelarutan fosfat oleh mikroba pelarut fosfat, maka fosfat tersedia dalam tanah meningkat dan dapat diserap oleh akar tanaman. Media selektif yang umum digunakan untuk mengisolasi dan memperbanyak mikroba pelarut fosfat adalah media agar pikovskaya yang berwarna putih keruh karena mengandung P^{3+} , Fe^{2+} , Ca atau Mg tidak larut seperti kalsium fosfat. Ciri terisolasinya bakteri pelarut fosfat pada media pikovskaya adalah terbentuknya zona bening di sekitar bakteri. Zona bening mencirikan bahwa bakteri tersebut mampu membebaskan fosfat dari kalsium fosfat yang digunakan dalam media pikovskaya tersebut.

B. Kerangka Konsep

Karakteristik unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan produksinya ditentukan oleh kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara seperti unsur N, P, dan K. Sebagian besar perkebunan karet pada tanah ultisol dengan ketersediaan unsur hara yang rendah. Menurunnya ketersediaan hara dari dalam tanah dapat menjadi faktor utama yang mempengaruhi produktivitas tanah, sehingga penambahan unsur hara dalam tanah melalui proses pemupukan sangat penting dilakukan agar memperoleh hasil produksi pertanian yang menguntungkan.

Lahan pertanian yang dilakukan dengan pemupukan kimia yang intensif umumnya mempunyai kadar P tanah tinggi sebagai konsekuensi dari penggunaan pupuk fosfat yang terus menerus akan mengakibatkan terakumulasinya P dalam tanah dan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri tanah yang dapat melarutkan fosfat sehingga dapat diserap oleh tanaman, selain meningkatkan fosfat dalam tanah juga dapat berperan pada perbaikan pertumbuhan akar tanaman dan meningkatkan serapan hara. Bakteri pelarut fosfat berfungsi dalam melarutkan fosfat yang dalam bentuk terikat menjadi tersedia, meningkatkan fosfat tersedia, memperbaiki pertumbuhan tanaman dan meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat, untuk itu perlu dilakukan kajian bakteri pelarut fosfat pada beberapa kelas lereng di lahan karet di Desa Rabak Kecamatan Sengah Temila Kabupaten Landak.