

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Molibdenum (Mo) sebagai Unsur Hara Tanaman

Unsur hara biosfer secara terus menerus akan diperbaharui dengan daur ulang, sehingga unsur hara tersebut dapat selalu disuplai keberadaannya. Perpindahan unsur hara tanaman bersifat 2 arah, unsur hara memasuki tanaman sebagai unsur atau ion - ion dan akhirnya akan kembali ke lingkungan sebagai unsur - unsur melalui biodegradasi oleh mikroorganismenya. Berdasarkan asalnya, unsur hara dapat dibedakan menjadi 2 yaitu unsur hara yang berasal dari bahan organik dan unsur hara yang berasal dari bahan anorganik (Gardner dkk., 1991).

Berdasarkan kuantitasnya, unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dapat dibedakan menjadi 2 yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro (Kimball, 1991). Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah banyak, sedangkan unsur hara mikro hanya dibutuhkan dalam jumlah sedikit (Tjitrosomo, 1987).

Menurut Gardner dkk. (1991) ada 2 kriteria yang digunakan untuk menentukan suatu unsur adalah esensial, yaitu (1) suatu unsur dinyatakan esensial apabila tumbuhan gagal tumbuh dan gagal melengkapi daur hidupnya dalam kondisi medium tanpa unsur tersebut, dibandingkan dengan pertumbuhan dan reproduksi normal dalam kondisi medium yang mengandung unsur tersebut, (2)

suatu unsur dinyatakan esensial apabila unsur tersebut merupakan penyusun metabolit yang diperlukan, seperti belerang (S) dalam asam amino metionin.

Molibdenum (Mo) merupakan unsur hara yang paling sedikit dibutuhkan oleh tanaman, namun sangat esensial bagi tanaman legum. Mo berasal dari pelapukan sejumlah mineral yang meliputi MoS_2 (tereduksi), kompleks oksida seperti CaMoO_4 , dan bentuk terhidrasi. Mo diserap dari dalam tanah dalam bentuk ion Molibdat (MoO_4^{2-}) yang terutama ada dalam larutan tanah dalam konsentrasi rendah, yaitu 2×10^{-8} M sampai 8×10^{-8} M. Kandungan Mo rata-rata untuk tanah pertanian adalah 2 ppm per hektar tanah (Gardner dkk., 1991). Di Australia dan Selandia Baru, keasaman tanah dapat dikurangi dengan cara pengapuran. Pengaruh utama dari proses pengapuran ialah meningkatkan ketersediaan Mo dalam tanah. Jika di dalam tanah tersedia beberapa gram Mo per hektar tanah, maka kapur yang diperlukan jauh lebih sedikit (Tjitrosomo, 1987).

Kandungan Mo dalam daun selalu kurang dari 1 ppm per gram berat kering. Mo dapat diserap dalam jumlah yang lebih tinggi tanpa memberikan efek toksik pada tanaman. Range normal pada tanaman yaitu 0,34 - 1,5 ppm (Jones, 1991).

Menurut Gardner dkk. (1991) manfaat Mo adalah sebagai karier elektron antara tahap teroksidasi dan tahap tereduksi pada aktivitas enzim nitrit reduktase dan nitrat reduktase. Selanjutnya Loveless (1983) menambahkan bahwa Mo merupakan bagian dari enzim nitrat reduktase yang mengkatalisis reduksi nitrat menjadi nitrit.

Mo juga berfungsi sebagai penyusun enzim Nitrogenase yang berperanan sebagai akseptor elektron dan donor elektron di dalam reduksi nitrogen menjadi

amonias. Enzim Nitrogenase tersebut berfungsi sebagai katalisator dalam proses fiksasi N_2 oleh *Rhizobium* untuk membentuk bintil akar pada tanaman leguminoceae (Devlin & Witham, 1983).

Secara fisiologis, defisiensi Mo menyebabkan terjadinya klorosis pada urat daun, yang terjadi pada daun tua kemudian meluas ke daun muda (Salisbury & Ross, 1995). Gejala defisiensi Mo meliputi penyakit ujung cambuk (*whiptail*) dan kematian ujung cabang pada bunga kol dan brokoli (Gardner dkk., 1991). Gejala penyakit ujung cambuk (*whiptail*) yaitu daun pada awalnya menunjukkan bercak - bercak halus secara kasar, tepi daun menjadi kelabu dan lemah, dan pada akhirnya berwarna coklat. Jaringan daun akan layu dan yang tersisa hanya sekat - sekat daun dan sedikit lembaran kecil dari helaian daun, yang memberikan penampilan seperti suatu cambuk atau ekor (Devlin & Witham, 1983). Selanjutnya Izhisuka (1978), dan Anonim (1995) menambahkan bahwa tanaman leguminoceae yang kekurangan Mo akan menunjukkan adanya perubahan warna daun dari hijau menjadi hijau kekuningan, daun berkeriput dan mengering, dan tanaman menjadi tumbuh kerdil. Gardner dkk. (1991) menambahkan bahwa defisiensi Mo dapat diatasi dengan cara penambahan kapur ke tanah atau dengan penambahan Na_2MoO_4 .

B. Morfologi, Taksonomi, dan Manfaat Kacang Tanah

Kacang tanah (*Arachis hypogaea* Linn.) merupakan tanaman palawija yang membentuk polong di dalam tanah. Kacang tanah merupakan tanaman perdu, tinggi mencapai 0,6 - 0,9 m, memiliki daun majemuk tersebar dengan 4 anak daun yang berbentuk oval, memanjang atau bulat telur terbalik, bunga dalam bulir,

berbunga sedikit, daun pelindung pada pangkal kelopak panjang dan sempit, tabung kelopak berbentuk tangkai, bendera berbentuk lingkaran, kuning cerah, lunas jauh lebih pendek daripada sayap, kuning pucat, dasar bunga setelah pembuahan berbentuk tangkai memanjang dan mendorong bakal buah ke dalam tanah, polongan memanjang tanpa sekat antara, biji 1 - 5 berwarna merah muda sampai merah tua (Steenis, 1988).

Anonim (1997) menyatakan bahwa kacang tanah mempunyai susunan perakaran sebagai akar tunggang. Akar ini mempunyai akar - akar cabang yang lurus. Akar cabang mempunyai akar - akar yang bersifat sementara dan berfungsi sebagai alat penghisap. Seiring dengan meningkatnya umur tanaman, akar - akar tersebut kemudian mati, sedangkan akar yang tetap hidup adalah akar yang permanen. Akar permanen ini akhirnya mempunyai akar cabang lagi yang berfungsi sebagai penghisap. Kadang - kadang polongpun mempunyai alat penghisap, yaitu bulu akar yang menempel pada kulitnya. Bulu akar ini berfungsi sebagai alat penghisap zat makanan dari dalam tanah. Selanjutnya Susilo (1991) menambahkan bahwa pada bagian akar kacang tanah terdapat pertumbuhan bintil akar, yang merupakan ciri khusus pada tanaman yang termasuk dalam keluarga Leguminoceae.

Menurut Ashley (1984), pertumbuhan kacang tanah sejak penanaman sampai masak membutuhkan waktu 80 - 200 hari, tergantung pada varietas dan juga tergantung pada lingkungan di sekitarnya. Tanaman kacang tanah berbunga kira - kira umur 4 - 6 minggu setelah ditanam. Kecepatan munculnya bunga meningkat sampai maksimum dan kemudian menurun lagi, sementara beban buah

meningkat dan tanaman mendekati pemasakan. Kurva waktu untuk produksi bunga dapat diselingi oleh periode terbentuknya bunga dalam jumlah yang relatif sedikit. Pembentukan bunga dalam jumlah yang sangat banyak terjadi setelah hujan. Kerontokan bunga yang merupakan sifat khas tanaman leguminoceae lain seperti kacang hijau, nampaknya tidak terjadi pada kacang tanah, bahkan ketika suhu harian pada saat teduh mencapai 45°C, seperti yang terjadi di sebelah barat jalur pantai Libia pada musim panas.

Menurut Soemarno (1987), kedudukan taksonomi kacang tanah menurut para ahli botani adalah sebagai berikut :

- Divisio : Spermatophyta
- Sub Divisio : Angiospermae
- Classis : Dicotyledoneae
- Ordo : Polypetales
- Famili : Leguminoceae
- Sub Famili : Papilionoideae
- Genus : *Arachis*
- Species : *Arachis hypogaea* Linn.

Menurut Suprpto (1997), kacang tanah di Indonesia dapat dibedakan menjadi 2 yaitu varietas lokal dan varietas unggul. Varietas unggul lebih diutamakan ditanam karena kualitas bijinya baik, hasilnya tinggi, dan tahan terhadap hama serta penyakit, terutama penyakit layu (*Pseudomonas solanacearum*). Beberapa varietas unggul yang ada di Indonesia antara lain varietas gajah, macan, banteng, kijang, rusa, dan anoa. Ciri - ciri varietas gajah

adalah mempunyai batang dan daun yang berwarna hijau, bunga berwarna kuning, ginofora berwarna ungu, biji berwarna merah muda, tipe pertumbuhan tegak, umur berbunga 30 hari, kadar protein 29 %, kadar lemak 48 %. Selain itu juga bersifat tahan terhadap penyakit layu, peka terhadap penyakit karat dan bercak daun. Anonim (1997) menambahkan bahwa kacang tanah varietas gajah mempunyai kulit biji berwarna merah jambu, polongnya berlekuk jelas, urat polong agak kasar, dan umur rata - rata 100 - 110 hari.

Manfaat tanaman kacang tanah sendiri bermacam - macam, antara lain sebagai bahan baku pembuatan oncom, bahan baku pembuatan minyak kacang tanah, sedangkan daunnya digunakan sebagai makanan ternak (Heyne, 1950; Steenis, 1998).

C. Bintil Akar dan Peranannya dalam Fiksasi N₂

Kebutuhan nitrogen untuk pertumbuhan tanaman dapat diperoleh dengan 2 cara yaitu dengan reduksi nitrat dan fiksasi biologis dengan bantuan bakteri pengikat N. Pada reduksi nitrat, nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-), namun sebagian besar tanaman lebih banyak menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (Noggle & Fritz, 1979).

Menurut Bidwell (1974), reduksi nitrat menjadi nitrit dikatalisis oleh enzim Nitrat Reduktase (NR), sedangkan reduksi nitrit menjadi amonia dikatalisis oleh enzim Nitrit Reduktase (NiR).

Sumber nitrogen kedua yang dibutuhkan oleh tanaman berasal dari fiksasi biologis yang berlangsung secara simbiosis dengan bakteri pengikat N (Salisbury & Ross, 1995). Tanaman kacang tanah mempunyai kemampuan untuk memenuhi

kebutuhan nitrogen melalui bakteri penambat N_2 udara tanpa penambahan pupuk N. Hal ini disebabkan oleh adanya bintil akar pada akar tanaman kacang tanah yang mampu bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* untuk mengikat nitrogen bebas (Rao, 1994). Asosiasi simbiosis tersebut bersifat species spesifik (Devlin & Witham, 1983). Selanjutnya Rao (1994) menambahkan bahwa dalam asosiasi simbiosis tersebut tanaman legum berfungsi sebagai inang, yaitu menyediakan tempat bagi *Rhizobium* dalam bintil akarnya dan energi untuk mengikat N_2 .

Nitrat ataupun N_2 bebas yang diikat kemudian akan diasimilasikan oleh tubuh tanaman dan dipergunakan untuk sintesis asam - asam amino, protein, enzim - enzim, asam nukleat dan senyawa organik lain, seperti klorofil (Noggle & Fritz, 1979).

Menurut Ashley (1984), bintil akar pada tanaman kacang tanah lebih kecil dibandingkan bintil akar beberapa legum yang lain. Morfologi bintil akar tanaman kacang tanah adalah halus, bulat, dan seringkali pipih mendatar sepanjang akar pokok dan akar samping.

Menurut Bidwell (1974) dan Rao (1994), proses pembentukan bintil akar pada tanaman Leguminoceae dimulai dengan adanya pengeluaran zat organik oleh akar yang berfungsi untuk menarik *Rhizobium* sebagai respons. Bakteri ini akan mengeluarkan hormon IAA (*Indole - 3 Acetic Acid*) ke daerah perakaran sehingga menyebabkan rambut akar menggulung. Benang infeksi dapat ditemukan dalam rambut akar ini. Pada saat benang infeksi masuk ke dalam sel - sel korteks akar, benang ini bercabang - cabang dan kemudian bergerak intraselular. Bersamaan dengan itu bakteri dibebaskan ke dalam suatu jaringan musilagen (sel tetraploid)

pada korteks akar yang merangsang sel untuk melakukan kegiatan meristematik yang tinggi. Hal ini berakibat terbentuknya daerah - daerah yang terdiferensiasi dengan jelas menunjukkan korteks bintil yang diploid dan zona infeksi pusat yang tetraploid, yang memiliki penghubung vaskular dengan sistem perakaran induk. Dengan demikian bintil akar terbentuk sebagai akibat pembelahan sel meristematis secara berulang - ulang. Bakteri penginfeksi akan bertambah besar, dan berubah bentuknya dari *coccus* menjadi bakteroid. Pada fase inilah *Rhizobium* akan aktif mengikat N_2 udara. Tumbuhan menyumbang fotosintat sebagai sumber energi dan karbon bagi bakteri, sebaliknya bakteri akan menyediakan amonium sebagai hasil fiksasi N_2 . Perubahan bentuk *Rhizobium* menjadi bakteroid selalu disertai dengan adanya perubahan biokimia yang menghasilkan sistem enzim yang dibutuhkan untuk fiksasi N_2 . Pada saat inilah leghemoglobin dihasilkan. Efektivitas asosiasi simbiosis dapat diketahui dengan mengambil bintilnya pada periode awal pembungaan, kemudian bintil tersebut dibelah dan diamati warnanya. Bintil yang efektif berukuran besar dan mempunyai warna merah cerah di bagian dalam. Pigmen merah ini merupakan leghemoglobin yang menunjukkan adanya fiksasi N_2 secara aktif (Rao, 1994). Arstanto dkk. (1993) menambahkan bahwa bintil akar yang efektif berukuran besar dan terletak di perakaran tanaman bagian atas, sebaliknya bintil akar yang tidak efektif ukurannya kecil dalam jumlah banyak dan tersebar merata di seluruh perakaran inangnya. Leghemoglobin di dalam bintil akar mempunyai hubungan langsung dengan N_2 yang difiksasi oleh leguminoceae.

Leghemoglobin merupakan hemoprotein dengan kerangka heme yang melekat pada suatu rantai peptid. Leghemoglobin mempunyai afinitas yang tinggi terhadap O_2 , dan berfungsi sebagai karier O_2 karena O_2 sangat penting untuk transpor elektron pada Rhizobium. Leghemoglobin berfungsi sebagai pengendali O_2 yang diperlukan untuk mengaktifkan enzim Nitrogenase karena enzim tersebut sangat peka terhadap O_2 . Leghemoglobin mempertahankan tingkat O_2 yang optimal untuk fiksasi N_2 dan pembentukan ATP, serta mempertahankan tingkat O_2 bebas yang sangat rendah untuk respirasi bakteroid (Rao, 1994).

Menurut Arstanto dkk. (1993) perkembangan bintil akar mulai terlihat pada umur 10 - 14 hari setelah penanaman pada kondisi rumah kaca dan media bebas N, sedangkan pada kondisi lapangan biasanya terlihat pada umur 21 - 28 hari setelah waktu tanam. Perkembangan bintil akar yang maksimum ditentukan oleh berat dan volumenya, dan terjadi di akhir fase pembungaan.

Banyaknya bintil akar yang terbentuk tergantung pada genotip, lokasi dan tipe tanah, tetapi biasanya terdapat bintil yang cukup sehingga tidak perlu penambahan nitrogen anorganik (Ashley, 1984).

Rao (1994) menambahkan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan bintil akar, yaitu : (1) Kondisi tanah yang sangat basah atau sangat kering akan menghambat pembintilan akar, (2) Nitrogen terkombinasi, hal ini dapat dilihat dari penyemprotan tanaman dengan urea akan mencegah pembintilan dan menghambat fiksasi N_2 oleh Rhizobium, (3) Konsentrasi ion hidrogen dalam tanah. Dalam hal ini, tanaman leguminoceae kurang subur jika ditumbuhkan pada tanah asam karena dalam kondisi asam Rhizobium tidak dapat tumbuh. Tanah

yang asam menyebabkan berkurangnya pengambilan Mo oleh akar legum sehingga menurunkan aktivitas perbintilan. Keasaman tanah dapat dinetralkan dengan penambahan kalsium karbonat ataupun amonium nitrat, (4) Nutrisi, salah satunya adalah pemberian pupuk super fosfat akan meningkatkan jumlah bintil akar dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Menurut Ashley (1984), jumlah bintil akar akan meningkat dengan kenaikan molibdenum, belerang dan fosfor dalam tanah. Lebih lanjut, Icrisat (1980) meneliti bahwa pembintilan dihambat bila tanah sangat basah atau sangat kering dan berkurang bila kacang tanah ditanam bersama juwawut. Pemberian nitrogen tidak banyak meningkatkan hasil biji. Jumlah nitrogen mineral yang besar akan merangsang pertumbuhan vegetatif dan mengorbankan produksi bunga.

Menurut Bidwell (1974), reduksi nitrogen (N_2) menjadi amonia (NH_3) dikatalisis oleh enzim Nitrogenase. Reaksi reduksi ini selalu membutuhkan elektron, dan menghasilkan ion hidrogen. Elektron dapat diperoleh melalui transpor elektron dalam rantai respirasi dan fotosintesis. Rao (1994), menambahkan bahwa reaksi reduksi nitrat mempunyai 2 langkah penting. Langkah yang pertama adalah aktivasi elektron oleh donor yang tepat atau ADP, sedangkan langkah kedua adalah reduksi substrat.

Pada langkah pertama, kebutuhan energi untuk reduksi nitrat diperoleh dari fosforilasi oksidatif dalam bentuk ATP. ATP dibutuhkan dalam sistem transfer elektron dari protein Fe melalui Fe-Mo menuju ke reaksi reduksi (Devlin & Witham, 1983). Piruvat berfungsi sebagai donor elektron maupun sebagai sumber energi. Piruvat dalam reaksi *fosforoclastik* akan membentuk asetil fosfat yang

dengan adanya ADP akan membentuk ATP. Senyawa pereduksinya adalah protein pembawa elektron yang memiliki daya reduksi kuat yaitu feredoksin dan flavodoksin. Oleh karena semua mikroorganisme yang mampu melakukan fiksasi N_2 mengandung enzim hidrogenase, maka enzim tersebut akan mengkatalisis transfer elektron dari piruvat atau hidrogen ke feredoksin atau flavodoksin.

Langkah kedua, yaitu reduksi substrat. Enzim nitrogenase terdiri dari 2 komponen, yaitu protein Fe-Mo (BM 220.000 - 270.000), dan protein Fe (BM 55.000 - 66.800), yang dihubungkan oleh belerang (S). Mo berperan sebagai akseptor elektron dan donor elektron di dalam reduksi N_2 menjadi amonia. Reaksi pertama dalam reduksi nitrogen adalah pembentukan suatu kompleks linear N_2 dengan Fe dan nitrogenase. Kemudian diikuti oleh transfer elektron dari Mo yang menghasilkan diimida yang distabilkan oleh ikatan hidrogen dari protein dan ikatan logam hidrogen. Adanya penambahan elektron lebih lanjut akan menghasilkan hidrazin yang diikuti dengan pemecahan ikatan N - N sehingga menghasilkan 2 molekul NH_3 . Amonia ini kemudian digunakan dalam pembentukan asam amino yang pada akhirnya akan membentuk protein.

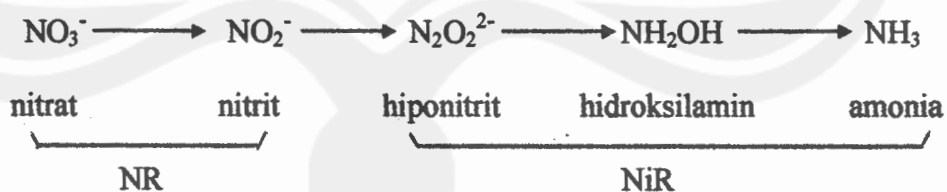
D. Aktivitas Enzim Nitrat Reduktase

Enzim adalah biokatalisator yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasinya. Enzim merupakan unit fungsional dari metabolisme sel yang bekerja dengan urutan - urutan yang teratur. Enzim mengkatalisis ratusan reaksi bertahap yang menguraikan molekul nutrien, reaksi yang menyimpan dan mengubah energi kimiawi, dan yang membuat makromolekul sel dari prekursor sederhana (Lehninger, 1975).

Salah satu unsur yang sangat dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman adalah nitrogen. Sebagian besar tanaman menyerap unsur N dalam bentuk ion NO_3^- , amonium, senyawa nitrogen seperti asam amino dan urea dari dalam tanah. Nitrat (NO_3^-) merupakan senyawa nitrogen yang paling besar ketersediaannya dan paling mudah diserap oleh akar (Bidwell, 1974).

Devlin & Witham (1975) menyatakan bahwa di dalam jaringan tanaman, nitrat direduksi menjadi nitrit, yang kemudian akan segera berubah menjadi amonium. Amonium merupakan sumber N organik untuk membentuk asam amino, protein, dan senyawa N lainnya, yang selanjutnya digunakan sebagai bahan untuk mensintesis komponen sel. Selanjutnya Noggle & Fritz (1979) menambahkan bahwa proses reduksi nitrat menjadi nitrit yang kemudian berubah menjadi amonium, merupakan reaksi awal dari metabolisme nitrat oleh tanaman.

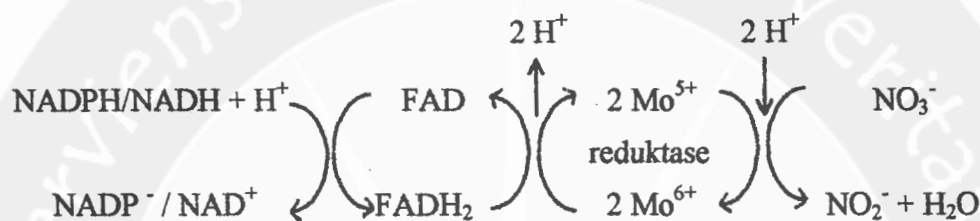
Menurut Bidwell (1974), reduksi nitrat menjadi nitrit dikatalis oleh enzim Nitrat Reduktase (NR). Kemudian nitrit akan direduksi menjadi hiponitrit ($\text{N}_2\text{O}_2^{2-}$), yang selanjutnya akan direduksi menjadi hidroksilamin (NH_2OH), dan diubah menjadi amonia (NH_3) oleh enzim Nitrit Reduktase (NiR).



Gambar 1. Reduksi nitrat menjadi nitrit oleh enzim Nitrat Reduktase dan reduksi nitrit menjadi amonia oleh enzim Nitrit Reduktase (Bidwell, 1974).

Menurut Devlin & Witham (1975), Noggle & Fritz (1979), Bidwell (1974), Nitrat Reduktase merupakan enzim yang digolongkan sebagai

molibdoflavoprotein, karena mengandung molibdenum dan koenzim Flavin Adenin Dinukleotida (FAD), yang berfungsi sebagai pembawa elektron. FAD dan Mo berfungsi sebagai karier elektron dari NADH₂ ke NO₃⁻ tereduksi. NADPH / NADH berfungsi sebagai donor elektron. Jalur transfer elektron dari NADPH atau NADH melalui FAD dan Mo serta proses asimilasinya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Jalur transfer elektron dari NADH atau NADPH melalui FAD dan Molibdenum serta proses asimilasinya (Devlin & Witham, 1975; Bidwell, 1979; Noggle & Fritz, 1979)

Mekanisme reaksi reduksi nitrat berlangsung setelah NADH atau NADPH teroksidasi, kemudian elektron yang dihasilkan oleh FAD dirangkaikan pada reduktase yang mengandung Mo (Bidwell, 1979). Elektron dan proton akan dilepas dari NADPH ke FAD dan menghasilkan FAD tereduksi (FADH₂). Elektron dan proton kemudian terlepas kembali dari FADH₂ ke Mo teroksidasi dan menghasilkan Mo tereduksi, yang melepaskan elektron dan proton ke nitrat dan mereduksi nitrat tersebut menjadi nitrit. Hasil akhir dari reduksi nitrat adalah amonia (NH₃) yang merupakan bagian penting dalam pembentukan asam amino (Noggle & Fritz, 1979).

Pengukuran enzim nitrat reduktase dilakukan secara kuantitatif dengan mengetahui harga Konstanta Michaelis Menten (K_m) dari masing - masing substrat dan kofaktor, pH optimal dan pengukuran prosedur analisa yang tepat untuk mengukur ANR (Lehninger, 1975).

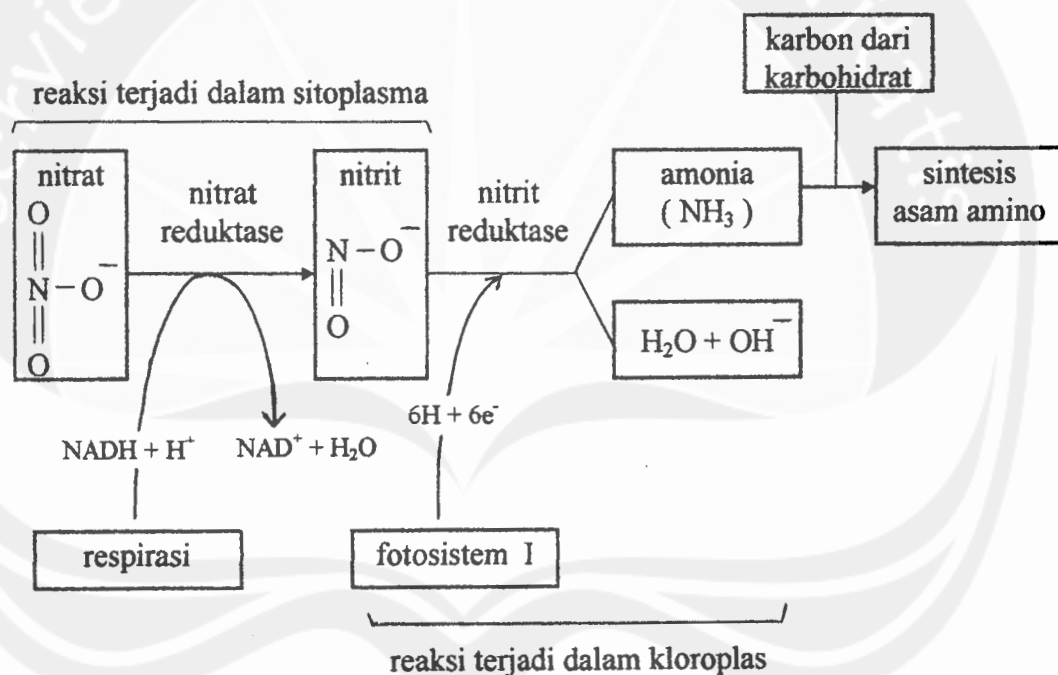
Menurut Hartiko (1983), ANR dapat dinyatakan dalam mikromolekul nitrit per gram jaringan bahan setiap waktu (jam). Selain itu dapat pula dinyatakan sebagai jumlah NO_2^- (mikromol) per berat basah (miligram) per waktu (jam).

Lebih lanjut, Hartiko (1983) menambahkan bahwa pengukuran ANR merupakan pendekatan secara enzimatik yang dapat dilakukan untuk menentukan daya produksi, karena enzim ini merupakan kunci pertama bagi jalur sintesis senyawa - senyawa nitrogen organik yang mempunyai aspek penting untuk siklus hidup suatu tanaman.

ANR berkorelasi positif dengan hasil, berat protein dan komponen fisiologi yang lain. ANR daun berhubungan dengan protein daun yang terlarut dan akumulasi nitrogen dalam kedelai. Reduksi NO_3^- yang akhirnya membentuk amonia, menyediakan nitrogen organik untuk pembentukan asam amino protein dan senyawa nitrogen yang lain diperlukan untuk sintesis komponen sel (Hartiko, 1983).

Proses reduksi NO_3^- oleh tumbuhan dapat terjadi pada akar dan daun (Noggle & Fritz, 1979), serta kuncup daun dan tunas batang (Bidwell, 1974). ANR terbesar terjadi pada daun yang telah berkembang penuh, tidak terlalu tua dan tidak terlalu muda.

Pada penelitian tingkat selular, banyak dikemukakan bahwa terdapat beberapa kemungkinan lokasi nitrat reduktase dalam sel. Ada yang menyatakan bahwa nitrat reduktase terletak di dalam sitoplasma (Noggle & Fritz, 1979), antara lain pada dinding luar kloroplas (Guerrero *et al*, 1981). Diperkirakan bahwa nitrat reduktase terletak pada membran sel, dinding luar kloroplas, apparatus golgi dan plasma sel (Hartiko, 1983). Menurut Devlin & Witham (1975), Bidwell (1974), enzim nitrit reduktase terdapat di dalam kloroplas.



Gambar 3. Skema umum untuk reduksi nitrat dan reduksi nitrit (Devlin & Witham, 1975)

E. Pengaruh Molibdenum terhadap Pertumbuhan Tanaman, Pembentukan Bintil Akar, dan Aktivitas Nitrat Reduktase Tanaman Kacang Tanah

Menurut Sutarto dan Pasaribu (1988), Molibdenum merupakan unsur esensial bagi tanaman kacang - kacangan, karena dapat membantu fiksasi nitrogen

udara. Demikian pula pemupukan Mo dapat memperbaiki pertumbuhan vegetatif tanaman. Pemupukan Mo pada kacang tanah berpengaruh terhadap peningkatan tinggi tanaman pada fase berbunga, luas daun, kadar klorofil daun, jumlah polong bernas per tanaman, bobot 100 biji, dan hasil panen.

Penyediaan Mo yang cukup, sangat penting untuk mempercepat fiksasi nitrogen secara simbiotik pada tanaman legum yang membentuk bintil akar, dan merangsang kegiatan memfiksasi nitrogen oleh jaringan bintil. Fiksasi nitrogen oleh alfalfa dan semanggi putih pembentuk bintil dalam kultur medium dapat dipercepat dengan penambahan molibdenum. Hal ini juga telah ditunjukkan dalam eksperimen di lapangan dengan menanam semanggi pada tanah tanpa adanya nitrogen terkombinasi (Rao, 1994). Selanjutnya Izhisuka (1978) menegaskan kembali bahwa ketidakhadiran Mo menyebabkan bakteri simbiotik yang terdapat pada akar legum tidak dapat mengikat nitrogen udara sehingga menghambat pembentukan bintil akar. Tanah yang asam menyebabkan berkurangnya pengambilan Mo oleh akar legum sehingga menurunkan aktivitas perbintilan. Selanjutnya, Ashley (1984) menambahkan bahwa jumlah bintil akar meningkat dengan kenaikan Mo, belerang, dan fosfor dalam tanah.

Menurut Kimball (1991), Mo secara mutlak diperlukan untuk fiksasi nitrogen, namun jumlah yang diperlukan teramat sedikit. Satu ons Mo yang disebar di atas 1 ha lahan pertanian di Australia ternyata cukup untuk memulihkan kesuburan selama lebih dari 10 tahun.

Range normal pada tanaman yaitu 0,34 - 1,5 ppm. Range terendah untuk unsur Mo pada tanaman kacang adalah 0,4 - 0,6 ppm, dan di atas 0,6 ppm

merupakan jumlah yang sudah lebih dari cukup (*sufficient*) (Jones, 1991). Tingkat kritis pada daun palma minyak adalah 0,1 - 1 ppm (Gardner dkk., 1991).

Berdasarkan penelitian Sutarto dan Pasaribu (1988), pemupukan Mo pada tanaman kedelai akan memacu perkembangan *Rhizobium japonicum* yang berpengaruh langsung terhadap pengikatan N₂, kandungan protein dalam biji, serta produksi polongnya. Namun penambahan di atas batas kebutuhan dapat menurunkan proses pembintilan, jumlah N total, serta produksi polongnya. Hal ini didukung oleh Yunda dan Mora (1981), yang meneliti tentang pengaruh pemberian Mo terhadap jumlah N total, dan produksi polong pada semanggi putih.

Berdasarkan hasil penelitian Abdulrahman (1983), pemberian Mo pada tanaman kedelai mempunyai korelasi yang positif terhadap jumlah bintil akar, pertumbuhan vegetatif, jumlah polong, N total dalam jaringan tanaman, hasil dan peningkatan status N dalam tanah.

Aktivitas Nitrat Reduktase (ANR) dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor - faktor tersebut dapat dibagi menjadi 2 yaitu faktor luar dan faktor dalam.

Faktor dalam meliputi umur, jenis, hormon, energi pereduksi, struktur anatomi daun. Srivastava (1975) menyatakan bahwa tingkat pertumbuhan tanaman mempengaruhi ANR. ANR pada umur kecambah adalah rendah, dan meningkat selaras dengan bertambahnya umur tanaman, yang akan mencapai maksimum bila tanaman mencapai umur masak (dewasa), dan kemudian turun lagi bila tanaman mengalami penuaan. Adanya inhibitor yang mengganggu proses fotosintesis maupun respirasi juga akan menghambat ANR yang disebabkan oleh

karena energi pereduksi yang dibutuhkan untuk aktivitas enzim terganggu pembentukannya. Selain itu adanya reaksi metabolisme lain yang menggunakan energi pereduksi NADH / NADPH akan menghambat ANR secara kompetitif (Bidwell, 1974).

Hormon giberelin akan memacu aktivitas nitrat reduktase karena hormon tersebut memacu pembentukan protein (Bidwell, 1974).

Struktur anatomi organ, terutama daun berpengaruh terhadap aktivitas nitrat reduktase. Pengaruh ini disebabkan struktur anatomi berhubungan dengan umur, pertukaran gas, dan distribusi bahan dan hasil metabolisme. Devlin & Witham (1975) menyebutkan bahwa pada organ yang tua ANR berjalan lambat karena pemasukan nitrat terganggu dengan adanya penebalan dinding sel dan menurunnya kadar dan jumlah sitoplasma.

Faktor luar yang mempengaruhi aktivitas nitrat reduktase yaitu nutrisi, temperatur, kelembaban, cahaya, kecepatan angin, pH. Menurut Hartiko (1983), nitrat reduktase merupakan enzim yang aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. ANR mempunyai hubungan dengan jenis tumbuhan dan kondisi lingkungan, sehingga bila digunakan sebagai parameter di dalam penelitian lapangan akan dapat memberikan hasil yang akurat, terlebih lagi nitrat reduktase aktivitasnya dikendalikan secara genetik.

Sinar matahari akan mempengaruhi kenaikan temperatur dan penurunan kelembaban lingkungan, hal ini akan memacu pertukaran gas dalam daun dan di luar daun. Travis dkk. (1970) menyatakan bahwa cahaya memacu pembentukan

protein sitoplasma, sehingga dengan bertambahnya sitoplasma maka ANR akan meningkat.

Kandungan air yang optimal di dalam sel akan meningkatkan ANR, sedangkan tekanan air yang terlalu tinggi di dalam tanah akan menurunkan ANR, karena penyerapan nitrat oleh akar menjadi berkurang (Morilla dkk., 1973 dalam Hartiko, 1983).

Mo merupakan salah satu unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, terutama untuk ANR. Bila kekurangan unsur Mo, ANR akan terhambat, demikian juga dengan unsur Fe dan Cl (Hewitt, 1975), sedangkan pemberian KNO_3 sebagai substrat lebih memacu ANR dibandingkan pemberian $NaNO_3$ (Hartiko, 1983).

F. Budi Daya Tanaman secara Hidroponik

Cara bercocok tanam tanpa tanah lazim disebut kultur hidroponik. Istilah ini berasal dari kata Yunani, *hydro* yang artinya air, dan *ponos* yang berarti kerja, sehingga artinya adalah kerja air. Cara bercocok tanam ini memang memakai air yang mengandung nutrisi untuk pertumbuhan tanaman. Ada juga yang menyebut cara budi daya ini nutrikultur karena kerjanya menggunakan unsur hara esensial bagi tanaman (Sarwono, 1995).

Menurut Prihmantoro dan Indriani (1995), media tanam kultur hidroponik harus memenuhi persyaratan sebagai berikut : dapat menyerap dan menghantarkan air, tidak mempengaruhi pH air, tidak berubah warna, dan bersifat porus. Media tanam kultur hidroponik dapat dibagi menjadi 2 yaitu media tanam anorganik dan organik.

Media tanam anorganik adalah media tanam yang sebagian besar komponennya berasal dari benda mati seperti batu, kerikil, dan pasir, yang tidak menyediakan zat nutrisi bagi tanaman. Bahan - bahan tersebut memiliki pori - pori makro dan mikro yang hampir seimbang sehingga sirkulasi udaranya cukup baik, dan tidak mengalami pelapukan dalam jangka pendek (Nicholis, 1986).

Media tanam organik adalah media tanam yang sebagian besar komponennya terdiri dari organisme hidup seperti bagian - bagian tanaman (daun, batang, kulit kayu), yang menyediakan unsur - unsur hara bagi tanaman. Bahan - bahan tersebut memiliki pori - pori makro dan mikro yang hampir seimbang sehingga sirkulasi udaranya cukup baik. Daya serap airnya juga cukup tinggi. Bahan organik tersebut akan mengalami pelapukan, sehingga terjadi proses dekomposisi oleh mikroorganisme yang akan menghasilkan CO_2 , H_2O , dan mineral. Mineral yang terlepas merupakan sumber hara bagi tanaman. Sebelum bahan media tanam mengalami proses dekomposisi perlu ditambah unsur hara sebagai zat nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Sarwono, 1995).

Media pasir mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah mudah diperoleh, harga tergolong sedang, dan dapat dipakai berulang - ulang setelah dibersihkan lagi. Kekurangannya yaitu berat, porositas kurang, dan perlu disterilkan (Prihmantoro dan Indriani, 1995). Pasir bersifat mudah basah dan cepat kering. Ukuran substrat kurang dari 3 mm. Setiap 100 gram pasir mampu menyimpan air 18 - 19 gram, jika hanya menyimpan 4 - 5 gram per 100 gram pasir maka tanaman akan layu (Sarwono, 1995). Pasir dapat dengan mudah

mengalirkan kelebihan larutan. Namun, oleh karena pasir tidak dapat menahan air, maka frekuensi penyiramannya harus lebih besar (Dwiragupti, 1993).

Sterilisasi pasir dapat dilakukan dengan cara direbus, disangrai, atau dicuci dengan air. Cara pencucian lebih praktis sehingga banyak dipakai oleh masyarakat (Prihmantoro dan Indriani, 1995).

Menurut Nicholis (1986), tanaman kacang - kacangan membutuhkan lebih sedikit nitrogen daripada tanaman lain, karena merupakan tanaman yang dapat mengatur nitrogen bahkan benar - benar memproduksinya.

Pemberian unsur hara sangat penting dalam sistem hidroponik karena dalam medianya tidak terkandung zat hara yang dibutuhkan tanaman. Berbeda dengan penanaman di tanah. Tanah sendiri telah mengandung zat hara sehingga pemupukan hanya bersifat tambahan. Jadi pemberian nutrisi untuk tanaman hidroponik harus sesuai dengan jumlah dan macamnya serta diberikan secara kontinyu (Prihmantoro dan Indriani, 1995).

Selanjutnya Sarwono (1995) menambahkan bahwa kebutuhan unsur hara pada budi daya hidroponik diberikan dalam bentuk larutan yang bahannya dapat berasal dari bahan organik maupun anorganik, yang didistribusikan lewat permukaan media tanam atau akar tanaman. Unsur hara tersebut harus diberikan dalam jumlah yang cukup dan kepekatan yang tepat. Jumlah yang cukup menyangkut terpenuhinya setiap unsur yang dibutuhkan dan dapat tersedia setiap saat, sedangkan kepekatan yang tepat menyangkut pada konsentrasi larutan yang akan diserap tanaman.

Menurut Sarwono (1995), Prihmantoro dan Indriani (1995), serta Dwiragupti (1993), unsur hara yang diperlukan tanaman hidroponik dapat dibedakan atas 2 kelompok, yaitu unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, seperti nitrogen (N), fosfat (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Unsur hara mikro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit, seperti ferrum / besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), boron (B), cuprum / tembaga (Cu), dan molibdenum (Mo).

Tahun 1840 Justus von Leibig mengemukakan bahwa tanaman membutuhkan zat - zat mineral tertentu dari dalam tanah untuk menunjang pertumbuhannya. Semenjak itu diketahui bahwa tanaman membutuhkan zat karbon dalam jumlah besar, selain hidrogen dan oksigen yang diambilnya langsung dari udara atau dari air tanah. Tanaman juga membutuhkan zat - zat penting seperti fosfor, kalium, dan kalsium dari dalam tanah. Percobaan pertama nutrikultur dilakukan oleh Ian Boussigault, seorang sarjana Perancis pada tahun 1850. Ia mencoba menanam beberapa tanaman pada bak - bak berisi pasir kwarsa sebagai media tanam. Media tanam tersebut disiram air yang mengandung nutrisi untuk tanaman. Julius von Sachs pada tahun 1860 dan Knops pada tahun 1865 juga melakukan percobaan serupa. Mereka menumbuhkan tanaman langsung pada media air yang berisi nutrisi bagi tanaman atau di pasir yang diberi larutan garam - garaman tertentu. Akar tanaman pada penanaman di air tersebut akan langsung terendam di dalam air, sehingga cara bercocok tanamnya disebut kultur air atau hidroponik (Sarwono, 1995; Dwiragupti, 1993). Dwidjoseputro (1994)

menambahkan bahwa penanaman di air, sedikit kurang memuaskan karena kesukaran memberikan O_2 kepada akar yang benar - benar membutuhkan udara guna melakukan fungsinya. Penanaman di pasir pun membawa kesukaran, yaitu sukarnya untuk membersihkan pasir dari elemen yang tidak diharapkan, sedangkan mengenai ventilasinya cukup baik karena di sela - sela butir pasir ada cukup udara. Garam - garam yang dilarutkan di dalam air murni, oleh Sachs dan Knop, guna penanaman di air dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Garam - garam yang dilarutkan di dalam air murni oleh Sachs dan Knop

LARUTAN SACHS		LARUTAN KNOP	
Garam	g / l	Garam	g / l
KNO_3	1,0	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$	0,8
$Ca_3(PO_4)_2$	0,5	KNO_3	0,2
$MgSO_4 \cdot 7 H_2O$	0,5	KH_2PO_4	0,2
$CaSO_4$	0,5	$MgSO_4 \cdot 7 H_2O$	0,2
$NaCl$	0,25	$FePO_4$	Sedikit sekali
$FeSO_4$	sedikit sekali		

(Dwidjoseputro, 1994)

Tanaman yang diberi larutan garam - garam tersebut ternyata dapat tumbuh baik. Namun, dengan tidak adanya mikroelemen maka tanaman tidak akan mengalami pertumbuhan yang optimal.

Hoagland pada tahun 1948 memberikan ramuan yang berbeda karena dalam ramuan ini mengandung unsur hara makro dan unsur hara mikro (Dwidjoseputro, 1994; Mohr & Schopper, 1995), seperti yang tercantum dalam tabel 2.

Tabel 2. Garam - garam yang dilarutkan di dalam air murni oleh Hoagland

Garam	g / l
Ca(NO ₃) ₂ . 4 H ₂ O	1,18
KNO ₃	0,51
KH ₂ PO ₄	0,14
MgSO ₄ . 7 H ₂ O	0,49
Feri-tartrat	0,005

(Dwidjoseputro, 1994; Mohr & Schopper, 1995)

Selanjutnya Noggle & Fritz (1989) menambahkan bahwa supaya lebih praktis maka suplai besi (Fe) untuk larutan unsur hara dapat menggunakan Fe-EDTA. Penambahan 1 ml Fe-EDTA mengandung 5 mg Fe per ml larutan nutrien. Satu liter larutan nutrien menyediakan 5 ppm besi (Fe). Bidwell (1974) menyatakan bahwa larutan nutrien untuk pertumbuhan tanaman di laboratorium dapat menggunakan FeCl₃ sebanyak 0,62 mmol / liter. Dengan demikian larutan nutrien untuk tanaman dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan. Hal ini ditegaskan kembali oleh Devlin & Witham (1983), bahwa manipulasi sederhana pada formula kompleks dapat memudahkan untuk mengetahui dan mempelajari gejala defisiensi yang disebabkan oleh kekurangan suatu elemen tertentu.