

BAB XI

FIKSASI DAN METABOLISME NITROGEN

Kompetensi Dasar:

1. Setelah mengikuti perkuliahan, mahasiswa mampu menjelaskan pengertian fiksasi nitrogen.
2. Setelah mengikuti perkuliahan, mahasiswa mampu menuliskan bakteri bakteri yang mampu melakukan fiksasi nitrogen.
3. Setelah mengikuti perkuliahan mahasiswa mampu menjabarkan proses fiksasi nitrogen.
4. Setelah mengikuti perkuliahan, mahasiswa mampu menjelaskan proses reduksi nitrat.

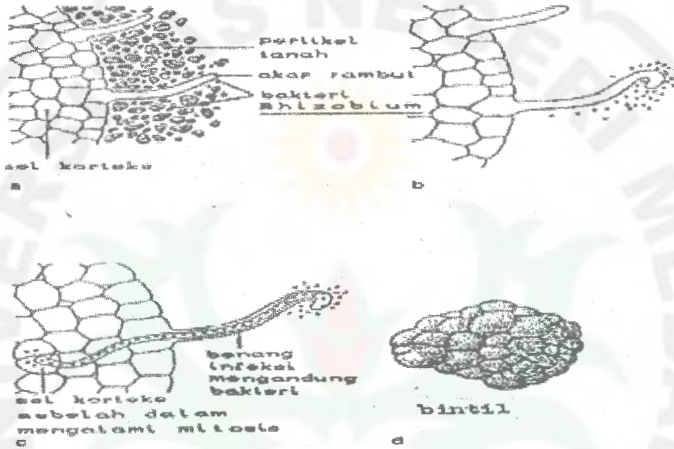
Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang menggabungkan nitrogen bebas dengan unsur lain secara kimia yang disebut *penambatan nitrogen*. Salah satu caranya ialah melalui kegiatan organisme bersimbiosis yang dapat mengubah nitrogen dari atmosfer menjadi amonia (kebalikan dari denitrifikasi).

Pemfiksasi N_2 utama adalah bakteri tanah yang hidup bebas, **Cyanobakteri** (ganggang hijau-biru) yang bebas hidup pada permukaan tanah atau dalam air. Cyanobakteri yang bersimbiosis dengan jamur pada lumut kerak, paku, lumut hati, lumut jantung, serta bakteri atau mikroba lain yang berasosiasi secara simbiosis dengan akar, terutama tumbuhan polong-polongan. Beberapa spesies tumbuhan bukan polong-polongan yang melakukan fiksasi N_2 pada akarnya telah diidentifikasi.

Pada polong-polongan yang berperan adalah spesies bakteri dari genus *Rhizobium*. *Rhizobium* adalah bakteri yang bertahan sebagai saprofit

dalam tanah hingga menginfeksi akar rambut atau merusak sel epidermis. Respon rambut akar oleh invasi *Rhizobium* biasanya adalah mengelilingi bakteri dengan struktur seperti benang yang disebut benang infeksi, namun pada beberapa polong-polongan benang tersebut tidak terdeteksi.



Gambar 1. Perkembangan bintil akar dalam tanaman kacang kedelai. a dan b bakteri *Rhizobium* yang mengadakan kontak dengan akar rambut yang peka, membelah dan setelah berhasil menginfeksi rambut akar, menyebabkan rambut akar melengkung. c. benang infeksi yang mengandung bakteri yang sedang membelah, termodifikasi dan tampak sebagai bakteroid. d bintil matang. (Purwaningsih.Sri., 2005)

Jika polong-polongan ditumbuhkan pada tanah yang steril, tumbuhan tersebut tidak akan membentuk bintil akar, dan pertumbuhannya hanya akan dapat dipertahankan dengan penambahan pupuk nitrogen dari luar. Akan tetapi jika tanaman tersebut ditumbuhkan pada tanah yang tidak steril dan kemudian terbentuk bintil akar, tanaman akan tumbuh normal tanpa harus diberi pupuk nitrogen dari luar.

Namun tidak semua polong-polongan mampu membentuk bintil akar. Jenis-jenis Leguminosae hanya 88% yang telah terbukti memiliki bintil akar dan sejumlah tumbuhan yang bukan polong-polongan yang memiliki bintil akar dan berisi jasad renik penghambat nitrogen yang bersimbiosis.

Metabolisme Nitrogen

Sebagian besar tumbuhan mengandung 1 - 25 % Nitrogen dari berat keringnya. Nitrogen dalam tumbuhan terdapat dalam bentuk antara lain asam amino, protein, amida, klorofil, alkaloida dan basa nitrogen (Purin dan Pirimidin).

Nitrogen yang terdapat dalam atmosfer bumi lebih kurang 80 %, di tanah hanya sedikit terkandung Nitrogen.

Walaupun di atmosfer banyak mengandung nitrogen, suplay untuk organisme terutama tumbuhan sering kurang karena hanya mikro organisme tertentu saja yang mampu mengasimilasi molekul Nitrogen dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan tumbuhan. Mikroorganisme ini terdiri atas 4 tipe utama yaitu :

- 1) Mikroorganisme yang hidup dalam akar tumbuhan tertentu dan membentuk bintil akar. Misal, akar tumbuhan polong-polongan dengan rhizobium sebagai simbiannya; akar bukan polong-polongan seperti *Alnus*, *Myrica* sebagai simbiannya adalah Actinomycetes.
- 2) Bakteri tanah Heterotrof tertentu yang hidup bebas, misalnya *Clostridium pasteurianum* (anaerob) dan *Azotobacter* (aerob).
- 3) Bakteri berfotosintesis, misalnya *Rhodospirillum rubrum*.
- 4) Beberapa ganggang hijau berfotosintesis, misalnya *Nostoc*, *Anabaena* dan *Oscillatoria*.

Nitrogen yang terdapat dalam tanah sebagian besar berupa organik hasil pembusukan organisme (tumbuhan, hewan dan lain lain), sedangkan lainnya berasal dari pelarutan bantuan, air hujan (dalam bentuk Nitrat dan Amonia) serta aktivitas dari gunung berapi.

Sebagian besar tumbuhan menyerap Nitrogen dalam bentuk tertentu dari dalam tanah. Bentuk-bentuk N yang tersedia bagi tumbuhan dapat dibagi menjadi empat kelompok, yaitu Nitrat, Amonia, Nitrogen organik dan molekul Nitrogen.

Sangat sedikit tumbuhan, (bakteri dan ganggang tertentu) mampu menggunakan keempat bentuk Nitrogen itu. Meskipun sebagian besar tumbuhan menggunakan nitrat, beberapa tumbuhan dapat mengasimilasi amoniak dan bentuk-bentuk Nitrogen organik tertentu.

A. Anabolisme

A.1. Pembentukan Nitrogen

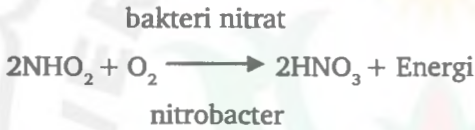
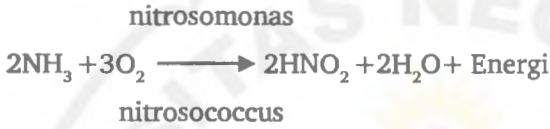
➤ Amonifikasi

Terjadi karena pembongkaran asam amino oleh mikroorganisme.

➤ Nitrifikasi

Terjadi karena pertolongan bakteri-bakteri nitrit dan bakteri-bakteri nitrat.

Dengan proses sebagai berikut :



A.2. Tempat Pembentukan Nitrat

Akar beberapa tumbuhan dapat mensintesis semua nitrogen organik yang diperlukan dari NO_3^- , misalnya akar polong-polongan. Jadi tempat pembentukan nitrat berlangsung di akar. Jumlah NO_3^- dan Nitrogen organik di xilem bergantung pada keadaan lingkungan bahkan tumbuhan biasa yang tidak mengangkut NO_3^- akan melakukannya jika dalam tanah tersedia dalam jumlah sangat banyak. Pada keadaan tersebut, reduksi NO_3^- di akar tidak mampu mengimbangi pengangkutannya ke batang.

B. Katabolisme

B.1. Proses Reduksi Nitrat

Proses keseluruhan reduksi NO_3^- menjadi NH_4^+ bergantung pada energi.

Dengan reaksi :



Reduksi nitrat terjadi dalam dua reaksi yang berbeda, yang dikatalisis oleh enzim yang berlainan. Reaksi pertama dikatalisis oleh nitrat reduktase (NR), enzim yang mengangkut dua elektron dari NADPH, atau pada beberapa spesies dari NADPH. Hasilnya berupa nitrit (NO_2^-), NAD^+ (atau NADP^+) dan H_2O :



Reaksi ini terjadi dalam sitosol di luar setiap organela. NR terdiri dari dua sub unit rantai polipeptida yang kembar, masing-masing disandi oleh inti sel. NR yang mengandung FAD, besi dalam gugus prostetik heme, dan molibdenum, yang kesemuanya selanjutnya tereduksi dan teroksidasi sejalan dengan pengangkutan elektron dari NADPH ke atom nitrogen dalam NO_3^- .

B.2. Proses Reduksi Nitrit

Reaksi kedua dari keseluruhan proses reduksi nitrat adalah pengubahan nitrit menjadi NH_4^+ . Nitrit yang ada di sitosol akibat kerja reduktase nitrat diangkut ke dalam kloroplas di daun atau ke dalam proplastid di akar yaitu tempat reduksi selanjutnya menjadi NH_4^+ berlangsung, yang dikatalisis oleh nitrit reduktase. Di daun reduksi NO_2^- menjadi NH_4^+ memerlukan 6 elektron yang diambil dari H_2O pada sistem pengangkutan elektron non siklik kloroplas.



Selama pengangkutan elektron ini, cahaya mendorong pengangkutan elektron dari H_2O ke feredoksin (Fd) kemudian feredoksin tereduksi menyediakan 6 elektron yang digunakan untuk mereduksi NO_2^- menjadi NH_4^+ . Pada reaksi 1.2 penggunaan bersih 2H^+ terjadi selama keseluruhan proses reduksi menjadi NH_4^+ . Reaksi 1.1 dan 1.3 menunjukkan perlunya 3 molekul H_2O untuk menyediakan 6 elektron yang dibutuhkan pada feredoksin tereduksi (2 elektron dari tiap H_2O yang dipecah oleh energi cahaya), walaupun dua H_2O juga merupakan produk dari reaksi ini secara keseluruhan.

Efisiensi Tanaman C4 dan C3 terhadap Nitrat

Untuk memproduksi hasil, tanaman sangat tergantung kepada enzim fotosintesis. Hal yang tidak menguntungkan bagi produksi tanaman adalah salah satu protein utama pada daun yang mengandung Nitrogen itu adalah enzim fotosintesis rubisko. Apabila enzim tersebut dihidrolisis oleh proteinase, aktivitas fotosintesis akan menurun selama pembentukan buah dan biji pada semua tanaman.

Bagi tumbuhan di tanah yang miskin nitrogen, hidrolisis protein dan pengangkutan nitrogen ke biji sangat penting bagi produksi biji. Molekul

klorofil juga hilang dari daun saat protein dirombak, dan nitrogen di dalam molekul tersebut kemungkinan diangkut ke organ reproduktif. Pada tanaman sereal dan tumbuhan setahun lainnya yang tidak menambat N_2 , pengangkutan nitrogen dari bagian vegetatif ke biji kadang - kadang lebih besar dibandingkan dengan yang berlangsung pada tumbuhan kacang, walaupun bijinya mengandung protein dalam persentase yang lebih rendah, misalnya daun gandum dapat kehilangan sampai dengan 85 % nitrogennya (dan fosfat dalam persentase yang sama) sebelum mati.

Pengalihan nitrogen yang tinggi dari organ vegetatif ke bunga dan biji ini diikuti dengan penurunan laju pengambilan nitrogen tanah, yang terjadi pada awal pertumbuhan reproduktif. Jadi, gandum dapat menyerap 90 % nitrogen (dan fosfat) yang diperlukan untuk pematangan selama separuh pertama umurnya.

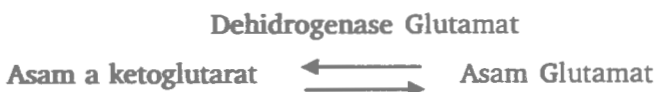
Perlu diingat bahwa, pengangkutan nitrogen dari organ vegetatif terjadi sebagian akibat perombakan rubisko. Perombakan ini lebih menghambat pertumbuhan pada tumbuhan C-3 dibandingkan dengan tumbuhan C-4, sebab tumbuhan C-4 mengandung enzim rubisko hanya 10 % dari yang terdapat pada tumbuhan C-3. sel mesofil tumbuhan C-4 tidak mengandung rubisko.

Aminasi

Aminasi adalah peristiwa penggabungan gugusan amin (NH_2) pada suatu substrat yang memerlukan pertolongan enzim. Asam glutamat memegang peranan penting dalam penyusunan asam amino.

Asam amino disintesis menurut dua cara, yaitu reaksi aminasi dan reaksi transaminasi. Aminasi yaitu peristiwa penggabungan gugusan amin (NH_2) kepada suatu substrat yang memerlukan pertolongan enzim. Didalam penyusunan asam amino, asam glutamat memegang peranan penting. Hal ini terbukti dari suatu percobaan dengan tanaman tomat yang diberi $(NH_4)_2SO_4$, dimana N radio aktif (N^{15}). Setelah 12 jam, maka kebanyakan N^{15} terdapat didalam asam glutamat dan sedikit yang berada pada asam-asam amino yang lain.

Orang menyangka bahwa asam glutamat itu terbentuk karena reaksi asam amino a ketoglutarat dengan NH_3 , yang mana peristiwa ini memerlukan pertolongan enzim dehidrogenase glutamat serta koenzim DPN. Berikut ini akan ditunjukkan persamaan reaksinya :

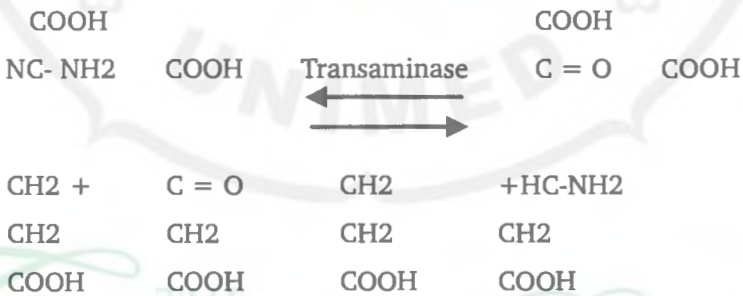


Peristiwa ini terkenal sebagai aminasi yang reduktif. Tidak mustahil pula, kalau aminasi dari asam oksaloasetat akan menghasilkan asam aspartat, sedang aminasi dari asam piruvat akan menghasilkan alanin. Proses ini dapat berlangsung bersama-sama dengan proses pembongkaran pada proses (lingkaran krebs).

Transaminasi

Transaminasi adalah suatu asam amino yang kehilangan gugusan amin akibat berpindahnya amin ke molekul lain, sehingga molekul yang terakhir terganti menjadi asam amino.

Adakalanya asam amino kehilangan gugusan amin dikarenakan amin itu berpindah ke molekul lain, sehingga molekul yang terakhir inilah berganti menjadi asam amino. Peristiwa ini disebut transaminasi. Transaminasi ditemukan pada kecambah sejenis gandum, dimana asam glutamat dan asam oksaloasetat berubah menjadi asam ketoglutarat dan asam aspartat. Pemindahan amin dari asam glutamat ke asam aspartat ditolong oleh enzim transaminase. Beberapa transaminase memerlukan bantuan koenzim berupa pospat piridosa yang berasal dari piridoksin, suatu vitamin dari B kompleks.



Asam Glutamat, Asam Oksaloasetat, Asam α Ketoglutarat, Asam Aspartat

Selanjutnya dapat dibuktikan, bahwa alanin, fenilalanin, valin, leusin dan asam aspartat itu terbentuk karena transaminasi. Percobaan dengan menggunakan C yang radio aktif menunjukkan betapa eratnya hubungan penyusunan asam amino dengan fotosintesis. Bila suatu tanaman berklorofil secara terputus-putus disinari, maka terbentuklah olehnya karbohidrat dan alanin serta beberapa asam amino lainnya yang masing-masing mengandung C yang radio aktif tersebut.

Tugas :

- 1 Jelaskan pengertian fiksasi nitrogen !
- 2 Tuliskan minimal 3 bakteri yang mampu melakukan fiksasi nitrogen
- 3 Uraikan secara ringkas proses fiksasi nitrogen !
- 4 Buatlah skema proses reduksi nitrat ?

GLOSARIUM

Aminasi:

Aminasi adalah peristiwa penggabungan gugusan amin (NH_2) pada suatu substrat yang memerlukan pertolongan enzim.

Transaminasi:

Suatu asam amino yang kehilangan gugusan amin akibat berpindahannya amin ke molekul lain,

Amonifikasi:

Asam amino yang sudah terbentuk dikonversi menjadi ammonia (NH_3).

Nitrifikasi:

Proses oksidasi ion amonium menjadi nitrat (NO_3^-) yang dilakukan oleh bakteri autotrof.

Denitrifikasi:

Proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N_2), untuk menyelesaikan siklus nitrogen.