

# Buk J

*by Afri rona Diyanti*

---

**Submission date:** 26-Nov-2023 07:33PM (UTC-0800)

**Submission ID:** 2239148370

**File name:** BAB\_5,\_revisi.docx (935.42K)

**Word count:** 8304

**Character count:** 52007

## BAB 5.

# Peranan Hara N Bagi Pertumbuhan & Hasil Tanaman

## 5.1 Unsur N sebagai hara makro

Unsur hara N termasuk unsur yang dibutuhkan dalam jumlah paling banyak sehingga disebut unsur hara makro primer. Umumnya unsur Nitrogen menyusun 1-5% dari berat tubuh tanaman. N-Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan N-Amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) adalah dua bentuk utama N yang diserap tanaman; namun kedua bentuk tersebut tidak banyak tersedia di ekosistem pertanian dan alam (Crawford dan Forde 2002). Untuk mencapai tingkat produksi tanaman yang cukup dan memenuhi kebutuhan pangan global, aplikasi pupuk lebih dari  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  pupuk N diberikan setiap tahun pada tanaman. Oleh karena itu, permintaan global akan pupuk N terus meningkat (Schroeder dkk. 2013). Sumber unsur N dapat diperoleh dari bahan organik, mineral tanah, maupun penambahan dari pupuk organik. Namun input pupuk N yang berlebihan dan penerapan metode pemupukan yang tidak tepat mengakibatkan rendahnya efisiensi penggunaan N (NUE), dimana 50–70% pupuk N yang diberikan hilang ke lingkungan sekitar sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius, seperti kerusakan tanah, pengasaman dan eutrofikasi air (Guo dkk. 2010; McAllister dkk. 2012; Kissel dkk. 2020).

Nitrogen adalah salah satu unsur hara esensial dalam fisiologi tumbuhan. Ini memainkan peran penting dalam berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Berikut adalah beberapa peran utama nitrogen dalam fisiologi tumbuhan antara lain;

1. Nitrogen adalah komponen utama dalam struktur protein. Protein adalah molekul yang sangat penting dalam sel tumbuhan, berperan dalam berbagai fungsi biologis seperti pembentukan enzim, pigmen, dan sebagainya. Tanpa nitrogen, tumbuhan tidak dapat mensintesis protein yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangannya.
2. Aktivitas Fotosintesis: Klorofil, pigmen hijau dalam tumbuhan yang mendukung proses fotosintesis, mengandung nitrogen dalam strukturnya. Klorofil memungkinkan tumbuhan untuk menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi makanan melalui fotosintesis. Oleh karena itu, nitrogen mendukung proses fotosintesis yang sangat penting dalam pertumbuhan tumbuhan.
3. Sintesis DNA dan RNA: Nitrogen juga diperlukan untuk sintesis asam nukleat, seperti DNA dan RNA. Asam nukleat ini adalah molekul penting dalam penyimpanan dan transmisi informasi genetik dalam tumbuhan. Tanpa nitrogen, tumbuhan tidak dapat menyusun materi genetik yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangannya.
4. Pembentukan Vitamin dan Hormon: Beberapa vitamin dan hormon tumbuhan, seperti sitokinin, mengandung nitrogen dalam struktur mereka. Hormon-hormon ini

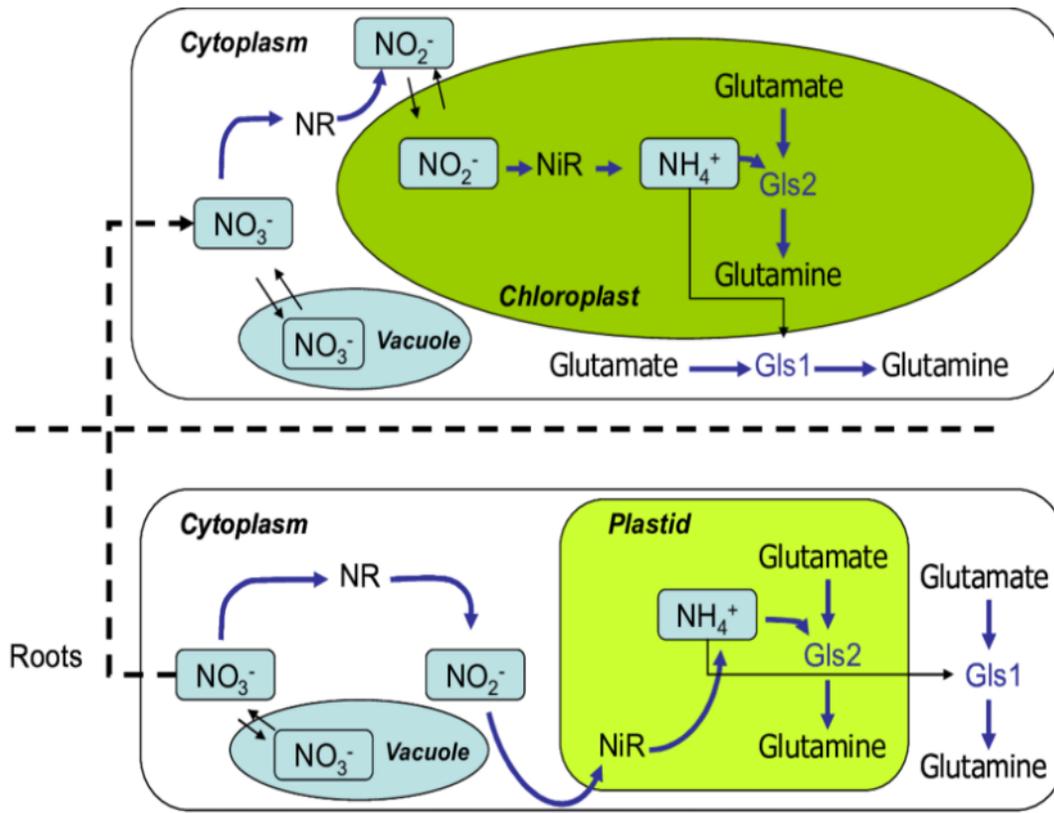
memengaruhi pertumbuhan, pembungaan, dan perkembangan akar serta pertumbuhan tunas tumbuhan.

5. Penyimpanan Energi: Tumbuhan juga menggunakan nitrogen dalam pembentukan senyawa penyimpanan energi seperti amino dan nukleotida. Senyawa ini dapat digunakan untuk menyimpan energi yang akan digunakan untuk pertumbuhan masa depan atau dalam situasi ketika sumber daya eksternal terbatas.
6. Membentuk Pigmen dan Enzim: Nitrogen juga diperlukan dalam pembentukan berbagai pigmen dan enzim yang terlibat dalam proses biokimia tumbuhan. Misalnya, klorofil adalah pigmen yang mengandung nitrogen, dan enzim seperti nitrat reduktase terlibat dalam metabolisme nitrat.

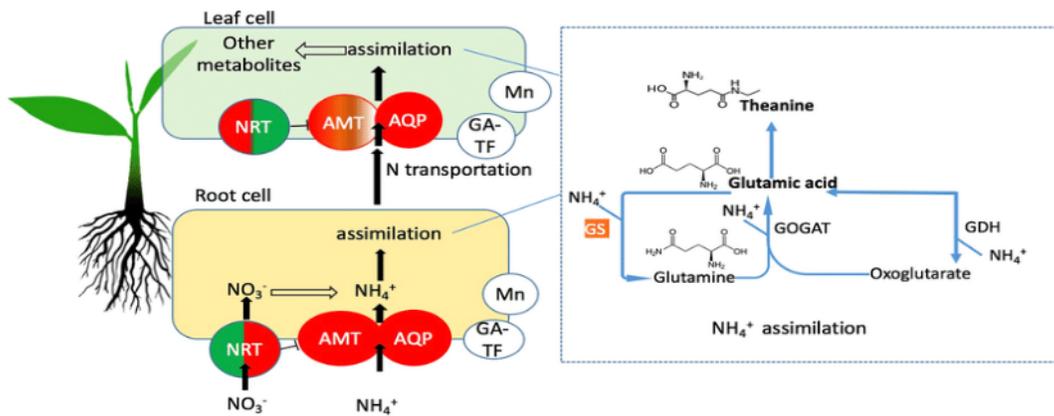
Tanaman legume mampu mengambil  $N_2$  dari atmosfer dengan bantuan *Rhizobia sp.* Hanya sedikit Nitrogen (N) tanah yang digunakan oleh tanaman legume. N-organik dalam tanaman akan segera diubah menjadi asam-asam amino dan akhirnya dirangkai menjadi protein. Protein sel-sel vegetative sebagian besar lebih bersifat fungsional daripada struktural dan bentuknya tidak stabil sehingga selalu mengalami pemecahan dan reformasi. Sebagai pelengkap bagi perannya dalam sintesa protein. Nitrogen (N) merupakan bagian tak terpisahkan dari molekul klorofil dan oleh karena pemberian Nitrogen (N) yang cukup menghasilkan pertumbuhan vegetatif yang subur dan warna daun hijau gelap. Pemberian Nitrogen (N) yang berlebihan dalam lingkungan tertentu dapat menunda fase generatif tanaman dan bahkan tidak terjadi sama sekali. Secara fungsional, nitrogen juga penting sebagai penyusun enzim yang sangat besar perannya dalam proses metabolisme tanaman, karena enzimnya tersusun dari protein.

## 5.2 Bentuk-bentuk N yang diserap oleh tanaman

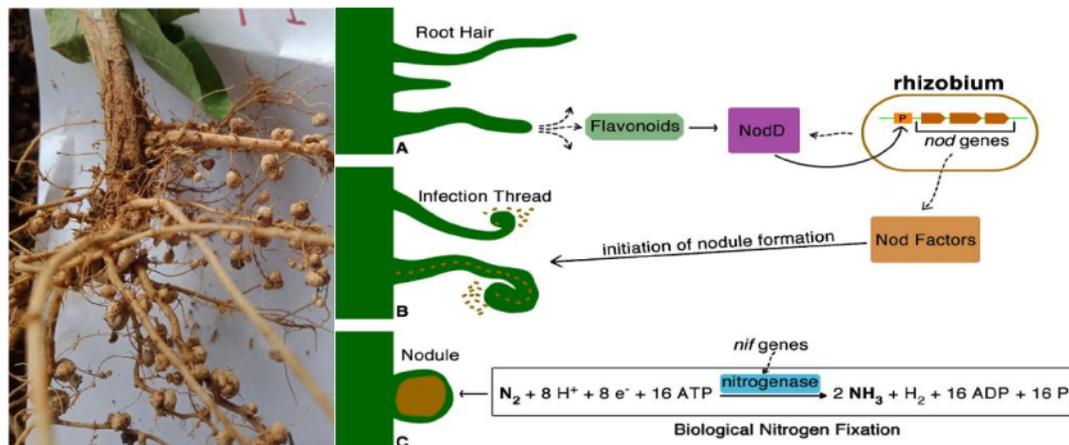
Nitrogen (N) yang merupakan penyusun utama protein, relative tidak tersedia bagi tanaman walaupun molekul nitrogen menduduki 80% dari total unsur di atmosfer. Pada umumnya, nitrogen di atmosfer secara kimiawi bersifat "innert" dan tidak bisa langsung digunakan oleh tanaman. Sebagai pengganti tanaman harus bergantung pada sejumlah kecil senyawa Nitrogen (N) yang terdapat dalam tanah, terutama yang berbentuk ion  $NO_3^-$  dan  $NH_4^+$  (gambar 1, 2), selanjutnya fiksasi hayati pada berbagai jenis organism, baik organism yang hidup bebas (free organism living) maupun simbiosis antara jasad renik dan tanaman tinggi terutama jenis legume (kacang-kacangan) (Gambar 3). Tanaman non-legume biasanya menyerap Nitrogen (N) dari dalam tanah dalam bentuk nitrat ( $NO_3^-$ ) atau ammonium ( $NH_4^+$ ), dimana pada kebanyakan tanah pertanian. Ion  $NO_3^-$  merupakan bentuk Nitrogen (N) yang paling banyak diserap tanaman, karena ion tersebut merupakan produk akhir dari perombakan nitrifikasi oleh mikroba di dalam tanah dalam suasana aerob.



Gambar 1. Skema dari serapan hara Nitrat yang disederhanakan



Gambar 2. Serapan hara N dan asimilasi N di akar dan pada daun teh hitam (Sumber Li et al., 2017).



Gambar 3. Bintil akar pada tanaman Kedelai dan mekanisme fiksasi N pada perakaran tanaman (Sumber: [Edi et al., 2023](#); [Laranjo et al., 2014](#)).

### 5.2.2. Metabolisme N tanaman sebagai respon terhadap ketersediaan N rendah dan pertumbuhan tanaman

Pada tanaman, proses metabolisme N melibatkan penyerapan, transportasi, asimilasi, dan pemanfaatan untuk biosintesis asam amino dan pada akhirnya untuk pertumbuhan. Setiap langkah-langkah ini mungkin diatur sedikit berbeda, yang mengarah ke perbedaan metabolisme N dan kinerja tanaman dengan persyaratan ekologis yang berbeda. Pada tanaman herba, proses metabolisme N didokumentasikan dengan baik (Gambar 4), yang dapat berfungsi sebagai model konseptual untuk mengatasi metabolisme N spesies poplar yang berbeda sebagai respons terhadap ketersediaan N yang rendah. Pada proses serapan N,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  dalam larutan tanah adalah dua bentuk N anorganik utama yang diserap tanaman. Meskipun kedua ion tersebut dapat digunakan oleh tanaman, ion energik, fitur biokimia, dan molekuler  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  adalah berbeda untuk metabolisme, menyebabkan fluks bersih yang berbeda kedua ion pada permukaan akar dan  $\text{NH}_4^+$  atau  $\text{NO}_3^-$  preferensi tanaman ([Jackson et al., 2008](#); [Patterson et al., 2010](#)).

Menggunakan Pelabelan  $^{15}\text{N}$ , menunjukkan bahwa beberapa tanaman berkayu lebih memilih  $\text{NH}_4^+$  ([Rennenberg dkk., 2009](#)); [Luo et al., \(2012\)](#), memberikan pemahaman yang lebih baik tentang proses elektrofisiologi  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ . Akuisisi. Fluks bersih  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  digabungkan dengan aktivitas membran plasma (PM)  $\text{H}^+$ -ATPase pada akar halus *Populus popularis*. Namun, perbandingan fluks  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  pada permukaan akar spesies poplar dengan perbedaan besar pertumbuhan hilang. Fluks  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  dimediasi oleh berbagai pihak pengangkut amonium (AMT) dan nitrat (NRT). Beberapa AMT dan NRT telah dijelaskan secara fungsional di *Arabidopsis thaliana* ([Wang et al., 2012](#)). Misalnya, kelimpahan transkrip AtAMT1;1 sangat meningkat sebesar kelaparan  $\text{N}$  dan dikurangi pada pasokan  $\text{NH}_4^+$  di akar *Arabidopsis*. Beberapa anggota NRT seperti AtNRT1;1,

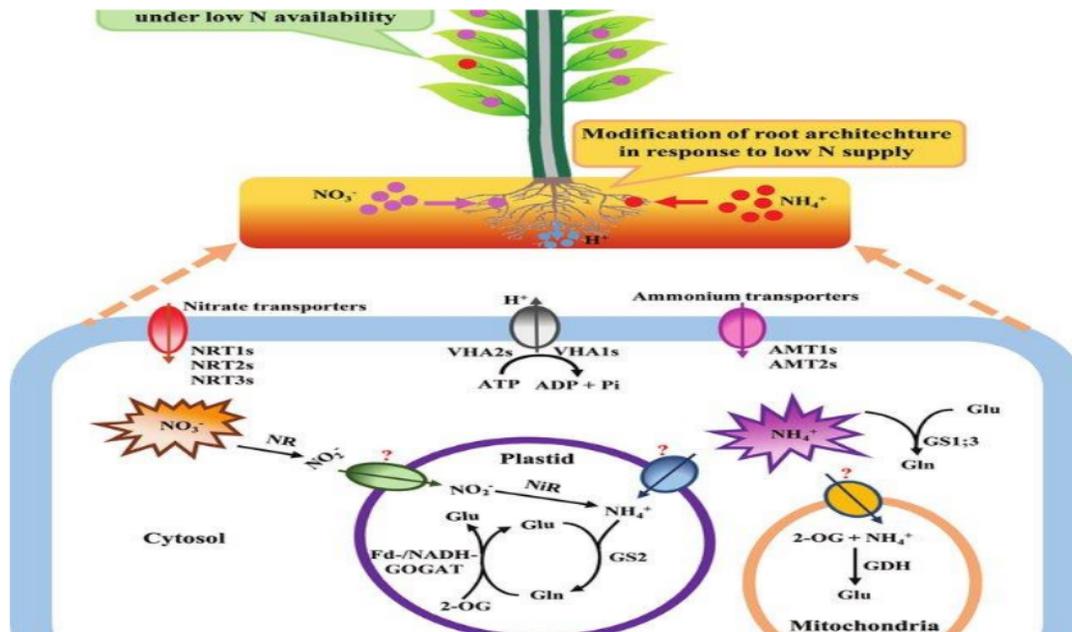
AtNRT1;2, AtNRT2;1, dan AtNRT3;1 memainkan peran penting dalam serapan dan sinyal  $\text{NO}_3^-$  (Wang dkk., 2012). Di dalam genom *P. trichocarpa*, terdapat 14 (AMT) yang diduga didokumentasikan, sedangkan sedikit yang diketahui tentang anggota NRT. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa transkrip pengangkut poplar yang diduga (mis. AMT1;2, AMT1;6, AMT2;1, NRT1;1, NRT1;2, NRT2;4B, NRT2;4C, NRT3.1B, dan NRT3.1C) responsif terhadap fluktuasi lingkungan dalam kondisi N yang tidak dibatasi (Li dkk., 2014).

Namun, masih belum diketahui bagaimana regulasi transkripsionalnya pengangkut ini merespons pembatasan pasokan N pada spesies poplar yang berbeda. Setelah serapan ke akar, sejumlah besar  $\text{NH}_4^+$  bisa berasimilasi secara lokal dan sisanya ditranslokasi ke daun atau bagian tanaman lainnya, padahal hanya dalam jumlah terbatas  $\text{NO}_3^-$  diasimilasi di akar dan sebagian besar  $\text{NO}_3^-$  diangkut ke daun. Dalam asimilasi proses,  $\text{NO}_3^-$  diubah menjadi  $\text{NH}_4^+$  oleh nitrat reduktase (NR) dan nitrit reduktase (NiR). Kemudian,  $\text{NH}_4^+$  dapat diasimilasi dengan glutamin yang dikatalisis oleh glutamin sintetase (GS).

Pembentukan glutamat membutuhkan glutamin dan 2-oksoglutarat dalam reaksi yang dikatalisis oleh glutamat sintase (GOGAT). Selain itu, glutamat dapat disintesis oleh glutamat dehidrogenase (GDH) di bawah konsumsi  $\text{NH}_4^+$  dan 2-oksoglutarat (McAllister dkk., 2012). Sangat sedikit yang diketahui mengenai tanggapan enzimnya terhadap pasokan N yang rendah pada spesies poplar yang berbeda. Meskipun tanaman hutan seringkali tumbuh di daerah yang miskin unsur hara tanah (Johnson, 2006; Rennenberg et al., 2009), terkait penelitian N pada pohon terutama membahas efek pemupukan tetapi kurang untuk mengungkap respons terhadap N-terbatas (Cooke dan Weih, 2005; Rennenberg dkk., 2009; Lukac dkk., 2010; Millard dan Grelet, 2010). Baru-baru ini, kami menemukan bahwa pertumbuhan, karbon, dan fisiologi N, dan sifat kayu dari *Populus alba* × *Populus glandulosa* (Pg) yang tumbuh cepat, yang umumnya tumbuh di tanah yang relatif subur, menunjukkan ketahanan yang lebih kuat terhadap kayu, responsif terhadap pemupukan N dibandingkan dengan pertumbuhan lambat *P. popularis* (Pp) yang sering dijumpai pada tanaman yang kekurangan unsur hara tanah (Li et al., 2014). Tanggapan yang berbeda dianggap berasal untuk memprioritaskan alokasi sumber daya pada daun dan mempercepat proses fisiologis N pada Pg yang tumbuh cepat di bawah level pemberian N yang lebih tinggi.

Nitrat merupakan sumber N yang dominan pada tanah dengan pH tinggi, sedangkan  $\text{NH}_4^+$  dominan pada tanah dengan pH rendah. Di dalam tanah, konversi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_3^-$  melalui nitrifikasi, sebuah proses dua langkah, dimediasi oleh mikroorganisme. Amonium dalam tanah awalnya dioksidasi menjadi hidrosilamina dan kemudian menjadi  $\text{NO}_2^-$ , umumnya oleh bakteri pengoksidasi amonia (BPA). Selanjutnya,  $\text{NO}_2^-$  dapat dioksidasi menjadi  $\text{NO}_3^-$  melalui aksi bakteri pengoksidasi nitrit (BPN). Spesies BPA seperti *Nitrosomonas sp.* dianggap sebagai mikroorganisme tanah utama yang memediasi langkah oksidasi pembatas laju awal, sementara *Nitrobacter sp.* dianggap sebagai organisme utama yang memfasilitasi konversi  $\text{NO}_2^-$  menjadi  $\text{NO}_3^-$  [Hayatsu et al., 2008; Coskun et al., 2017]]. Pertumbuhan dan aktivitas bakteri nitrifikasi berkurang secara substansial pada pH rendah,

dan sebagai hasilnya, sedikit nitrifikasi diperkirakan terjadi pada kondisi pH rendah seperti pada budidaya blueberry [Hu et al., 2014].



Gambar 4. konsep Model dari metabolisme N pada kondisi ketersediaan N rendah (This figure was uploaded by [Changhui Peng](#))

Model konseptual metabolisme N pada tumbuhan. Dalam proses serapannya,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  memasuki sitosol melalui amonium (AMTs) dan pengangkut nitrat (NRTs), masing-masing, digabungkan dengan membran plasma  $\text{H}^+$ -ATPase (VHA). Setelah serapan di akar,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  dapat ditranslokasi ke daun atau bagian lain tanaman. Dalam proses asimilasi,  $\text{NO}_3^-$  diubah menjadi  $\text{NH}_4^+$  oleh sitosol nitrat reduktase (NR) dan reduktase nitrit plastida/kloroplastik (NIR). Selanjutnya,  $\text{NH}_4^+$  dapat diasimilasi dengan glutamin (Gln) dikatalisis oleh isoenzim glutamin sintetase (GS) baik di plastid atau sitosol. Gln dalam plastid dengan 2-oxoglutarate (2-OG) selanjutnya dapat dikonversi menjadi glutamat (Glu) oleh glutamat sintase yang bergantung pada Fd atau NADH (Fd/NADH-GOGAT). Selain itu, di mitokondria,  $\text{NH}_4^+$  dapat diasimilasikan ke Glu dengan glutamat dehidrogenase (GDH). Senyawa N yang disintesis menyediakan prekursor asam amino, protein, dan metabolit mengandung N lainnya yang dapat dimanfaatkan oleh pertumbuhan tanaman. Pada tingkat sel, N Metabolisme tanaman dapat dipengaruhi oleh rendahnya ketersediaan N dari luar. Pada tingkat tumbuhan, ciri-ciri akar, aktivitas fotosintesis, dan daun properti dapat diubah sebagai respons terhadap pasokan N yang rendah (gambar ini tersedia dalam warna di JXB online).

Baru-baru ini, beberapa organisme lain, terutama archaea pengoksidasi amonia (APA), telah terbukti memfasilitasi oksidasi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  (Konneke et al., 2005). Faktanya, APA mungkin merupakan organisme dominan yang mampu mengoksidasi amonia di sebagian besar tanah (Leininger et al., 2006; Lehtoveirta-Morley, 2011). Selain itu, rasio APA terhadap BPA lebih tinggi pada pH yang lebih rendah, dan kemungkinan besar mereka bersaing untuk mendapatkan ketersediaan amonia yang sangat terbatas [Hu et al., 2014]. Akibatnya, telah diusulkan bahwa APA cenderung memainkan peran utama sebagai nitrifier

pada tanah yang miskin unsur hara, serta tanah masam yang dilengkapi dengan urea. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa nitrifikasi dapat terjadi dan berkontribusi terhadap ketersediaan  $\text{NO}_3^-$  di tanah masam, seperti yang digunakan untuk produksi blueberry. Misalnya, penerapan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  pada 'Bluecrop' yang ditanam di tanah pada pH 4,8 menghasilkan nitrifikasi substansial yang berkurang secara signifikan namun hanya sementara dengan penerapan bersama inhibitor nitrifikasi, dicyandiamide (DCD), yang menghambat oksidasi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  (Throop et al., 1998).

Pabrik telah mengembangkan dua sistem serapan  $\text{NO}_3^-$  agar dapat beradaptasi dengan lebih baik terhadap fluktuasi ketersediaan  $\text{NO}_3^-$  di dalam tanah: sistem transportasi afinitas tinggi (HATS) yang bekerja pada tingkat  $\text{NO}_3^-$  eksternal yang rendah, sedangkan sistem transportasi afinitas rendah (LATS) yang beroperasi pada tingkat  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi (Crawford dan Forde, 2002). Uji sistem serapan tersebut telah dicobakan pada tanaman Arabidopsis. Pada Arabidopsis, ada dua famili pengangkut, yaitu pengangkut nitrat 1 atau pengangkut peptida (NRT1/PTR/NPF) dan pengangkut nitrat 2 (NRT2), berperan dalam serapan  $\text{NO}_3^-$  oleh akar (Wang et al. 2018). Pada tanaman Arabidopsis, NRT1.1 (juga dikenal sebagai CHL1 atau NPF6.3), merupakan pengangkut pertama yang diidentifikasi dalam serapan  $\text{NO}_3^-$  oleh akar dan bertanggung jawab atas sebagian besar serapan  $\text{NO}_3^-$  dengan afinitas rendah pada kondisi pertumbuhan yang cukup  $\text{NO}_3^-$ . Dari penelitian tersebut diketahui bahwa > 75% serapan  $\text{NO}_3^-$  dengan afinitas tinggi pada tanaman juga disumbangkan oleh NRT1.1. Perbedaan serapan  $\text{NO}_3^-$  antara mutan NRT1.1/2.1/2.2 dan NRT2.1/2.2 menunjukkan bahwa NRT1.1 berkontribusi ~ 12% serapan  $\text{NO}_3^-$  afinitas tinggi di Arabidopsis (Ye et al. 2019). Peralihan dari mode afinitas rendah ke mode afinitas tinggi NRT1.1 diatur oleh fosforilasi NRT1.1 pada residu T101 (Liu dan Tsay 2003). Ho dkk. (2009) menemukan bahwa protein kinase yang berinteraksi seperti kalsineurin B, CIPK23, bertanggung jawab atas fosforilasi sebagai respons terhadap isyarat  $\text{NO}_3^-$  yang rendah, yang mana prosesnya memerlukan tindakan CBL9. NRT1.2 adalah pengangkut NRT1 lainnya yang diekspresikan dalam sel epidermis dan rambut akar; ia juga menyerap  $\text{NO}_3^-$  dari tanah, meskipun ia hanya terlibat langsung dalam serapan  $\text{NO}_3^-$  dengan afinitas rendah (Huang dkk. 1999). Skema pengangkut membran yang terlibat dalam serapan akar nitrat dan amonium di *Arabidopsis thaliana*. Diagram tersebut mewakili sel akar yang diidealkan, dengan mengabaikan diferensiasi perkembangan. Jalur sinyal utama yang mengatur ekspresi dan aktivitas biokimia dari pengangkut ini juga disertakan. Protein dikelompokkan sebagai sistem transpor afinitas tinggi (HATS) atau sistem transpor afinitas rendah (LATS), berdasarkan afinitasnya terhadap substrat. Kontribusi pengangkut terhadap serapan N digambarkan dengan lebar garis padat. NRT1.1 adalah HATS dan LATS, bergantung pada fosforilasi oleh kompleks CIPK23-CBL. Garis magenta menunjukkan regulasi negatif (Lawlor et al., 2002).

Sebaliknya, pasokan  $\text{NH}_4^+$  dilaporkan meningkatkan penyerapan Fe, karena penyerapan  $\text{NH}_4^+$  menginduksi pelepasan  $\text{H}^+$  dari sel dan mengasamkan rhizosfer (Mengel dan Geurtzen 1988; Kosegarten dkk. 1999). Baru-baru ini, Coletto dkk. (2021) melaporkan bahwa serapan kelebihan  $\text{NH}_4^+$  oleh akar juga mempengaruhi homeostasis Fe di Arabidopsis

melalui mekanisme yang tidak diketahui. Hal ini didasarkan pada perubahan ekspresi gen yang diamati sebagai respons terhadap penyerapan dan defisiensi Fe pada pasokan  $\text{NH}_4^+$  yang tinggi dibandingkan dengan pasokan  $\text{NO}_3^-$ . Jika dampak ini ada, efek  $\text{NH}_4^+$  pada homeostasis Fe mungkin sebagian tidak tergantung pada regulasi pH; Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mendukung hipotesis ini.

Khususnya, beberapa penelitian menemukan bahwa konsentrasi Fe pada daun yang mengalami klorosis sama dengan atau (dalam beberapa kasus), lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi pada daun hijau (Kosegarten dkk. 1999; López-Millán dkk. 2000). Hal ini menunjukkan bahwa selain pembatasan perolehan Fe oleh akar, mungkin ada mekanisme lain yang berperan dalam klorosis defisiensi Fe terkait  $\text{NO}_3^-$ . Sampai saat ini, berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa efek  $\text{NO}_3^-$  yang menginduksi klorosis mungkin berhubungan dengan inaktivasi Fe fisiologis dalam apoplas daun, karena  $\text{NO}_3^-$  menghasilkan pH apoplastik yang tinggi (Hoffmann dkk. 1994; Kosegarten dan Englisch 1994; Mengel dkk. 1994). Selain itu, klorosis defisiensi Fe tidak dapat diatasi dengan mengganti  $\text{NO}_3^-$  dengan  $\text{NH}_4^+$ ; berbeda dengan  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  mengasamkan apoplas daun tanpa pasokan Fe dari luar (Mengel dan Geurtzen 1988; Kosegarten dkk. 1999; López-Millán dkk. 2000). Oleh karena itu, pH apoplastik yang diatur oleh N mungkin memainkan peran penting dalam respon defisiensi Fe. Secara khusus, mungkin terdapat pusat yang mengatur pH apoplastik dengan memodulasi keseimbangan antara serapan  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ , sebagai respons terhadap defisiensi Fe. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji hipotesis ini dan mengidentifikasi kandidat potensial yang terlibat dalam jalur ini.

## 5.2 Peranan N dalam melindungi tanaman terhadap cekaman lingkungan

Tumbuhan hidup di lingkungan yang dinamis dan kompleks yang seringkali mengandung sumber cekaman (Zhu 2016). Karena tumbuhan adalah organisme sesil, mereka tidak dapat memilih lingkungan pertumbuhannya, dan terbatas dalam beradaptasi dengan lingkungan tersebut. Meskipun N merupakan unsur hara makro yang penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, N juga terkait erat dengan adaptasi tanaman terhadap berbagai pemicu cekaman abiotik. Misalnya, persaingan atau koordinasi antara  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  dan ion lain di seluruh plasmalemma, mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap pemicu cekaman seperti garam, kekurangan (defisiensi) kalium (K), dan keracunan (toksisitas) logam berat; tanaman dengan ketahanan rendah memerlukan lebih banyak pupuk dibandingkan dengan tanaman dengan ketahanan tinggi (Zhu 2016). Karena N dianggap sebagai unsur hara yang paling penting bagi pertumbuhan tanaman dari sudut pandang kuantitatif, tanaman telah mengembangkan strategi yang efisien untuk mengelola kadar N sebagai respons terhadap berbagai pemicu cekaman yang kompleks (Nacry dkk. 2013). Memahami interaksi antara N dan cekaman abiotik pada tanaman sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk N, sekaligus menjaga keseimbangan antara penerapan

dan dampak buruk dari cekaman abiotik. Pemahaman ini penting untuk meningkatkan sistem pertanian modern dan mengembangkan praktik pertanian berkelanjutan. Peran nitrogen dalam adaptasi tanaman terhadap cekaman kemasaman ( $H^+$ ) dan alkali. Tinjauan ini secara singkat merangkum proses serapan  $NO_3^-/NH_4^+$  pada tanaman dan membahas peran kedua bentuk N ini dalam kaitannya dengan berbagai pemicu cekaman abiotik, termasuk defisiensi unsur hara lainnya, pH yang tidak menguntungkan, cekaman ionik, dan kekeringan.

### 5.2.1 Peranan N tanaman terhadap gangguan cekaman Kemasaman tanah

Tanah masam tersebar luas, mencakup sekitar setengah dari lahan subur di dunia (Kochian dkk. 2015). Tanah masam dengan konsentrasi  $H^+$  yang tinggi bersifat sangat beracun, sehingga menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Schubert dan Mengel 1990; Luchi dkk. 2007). Kandungan  $H^+$  di tanah masam juga terkait dengan banyak faktor cekaman lainnya, seperti keracunan aluminium ( $Al^{3+}$ ) dan defisiensi P-anorganik (Sawaki dkk. 2009; Kochian dkk. 2015). Aktivitas manusia selalu meningkatkan keasaman tanah, khususnya penggunaan pupuk N termasuk urea dan pupuk yang mengandung ammonium ( $NH_4^+$ ) (Guo dkk. 2010; Kissel dkk. 2020). Alkalisasi rhizosfer akibat serapan nitrat ( $NO_3^-$ ) sangat penting untuk melawan tekanan proton ( $H^+$ ). Pendapat ini didukung oleh Fang dkk. (2016) yang mengamati peningkatan serapan  $NO_3^-$  dengan cekaman  $H^+$  melalui peningkatan regulasi spesifik aktivitas NRT1.1 (pengangkut nitrat 1); Hal ini pada gilirannya mengurangi tekanan  $H^+$  dengan meningkatkan pH di rhizosfer. Sebaliknya, meskipun cekaman  $H^+$  juga menstimulasi ekspresi NRT lain, fungsi penggangguannya gagal mengurangi toleransi terhadap cekaman  $H^+$ . Hal ini mungkin terjadi karena NRT1.1 bertanggung jawab atas sebagian besar pengangkutan  $NO_3^-$  (Wang dkk. 2018; Fang dkk. 2021). Khususnya, pertumbuhan mutan *nlp7*, yang mengganggu deteksi  $NO_3^-$  sementara menunjukkan tingkat aktivitas penyerapan  $NO_3^-$  yang normal (Castaings et al. 2009; Marchive et al. 2013), serupa dengan pertumbuhan tanaman Col-0 pada pH rendah. Selain itu, pertumbuhan mutan *chl1-9*, yang mengganggu aktivitas serapan  $NO_3^-$  tetapi menunjukkan deteksi  $NO_3^-$  yang normal (Ho dkk. 2009), jauh lebih rendah dibandingkan tanaman Col-0 dan mirip dengan NRT1.1-null. mutan (Fang dkk. 2016). Temuan ini menunjukkan bahwa aktivitas transpor  $NO_3^-$ , berlawanan dengan sinyal  $NO_3^-$ , menstimulasi resistensi  $H^+$ . Baru-baru ini, Ye dkk. (2021) menemukan bahwa pola ekspresi spasial NRT1.1 terkait pH rendah pada akar Arabidopsis memerlukan tindakan faktor transkripsi tipe  $C_2H_2$ , STOP1. Mutan NRT1.1 dan *stop1*, dan mutan ganda NRT1.1 *stop1*, menunjukkan fenotip serupa yang hipersensitif terhadap pH rendah. Hal ini menunjukkan bahwa STOP1 dan NRT1.1 berfungsi pada jalur yang sama dalam toleransi  $H^+$ . Uji molekuler menunjukkan bahwa STOP1 secara langsung mengaktifkan NRT1.1 dengan mengikat promotornya, sehingga meningkatkan serapan  $NO_3^-$  pada NRT1.1. Hal ini meningkatkan NUE tanaman dan menciptakan pH yang menguntungkan di rhizosfer untuk

pertumbuhan akar dengan menurunkan konsentrasi  $H^+$ . CIPK23 yang mengatur afinitas serapan  $NO_3^-$  pada NRT1.1 melalui fosforilasi pada residu T101 (Ho dkk. 2009), juga merupakan gen target utama STOP1 (Tian dkk. 2021). Selain itu, transpor  $NH_4^+$  yang dikendalikan oleh STOP1-CIPK23 dapat mengasamkan rhizosfer jika hanya  $NH_4^+$  yang disuplai. Namun, baik serapan  $NH_4^+$  maupun  $NO_3^-$  yang dimediasi oleh STOP1-CIPK23, tidak menghasilkan perubahan signifikan dalam hal toleransi  $H^+$  (Ye et al. 2021). Oleh karena itu, modul STOP1-NRT1.1 kemungkinan berfungsi sebagai mekanisme utama adaptasi tanaman terhadap lingkungan asam. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menjelaskan bagaimana akar menghindari akumulasi  $H^+$  berlebih di sitoplasma, setelah menstimulasi serapan  $NO_3^-$  yang digabungkan dengan  $H^+$  oleh NRT1.1.

Cekaman keasaman selain disebabkan tingginya kandungan  $H^+$  di dalam tanah juga disebabkan keberadaan kelarutan  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  yang tinggi. Ghulamahdi, et. al., (2023) membuktikan bahwa galur jagung yang toleran cekaman abiotis berupa pH rendah, kelarutan Al dan Fe tinggi hasil seleksi langsung di lahan pasang surut memiliki kemampuan yang baik untuk mempertahankan kandungan klorofil a, memiliki kadar  $CO_2$  intraseluler yang tinggi, laju transpirasi tinggi, stomata yang lebih panjang, dan jumlah akar yang lebih banyak pada cekaman Fe menggunakan teknik kultur hara. Galur toleran dari hasil seleksi di lahan pasang surut sulfat masam memiliki ciri mampu mempertahankan kehijauan daun, memiliki pertambahan tinggi tanaman dan pertambahan panjang daun yang lebih panjang pada cekaman Al menggunakan teknik kultur hara. Galur toleran hasil seleksi langsung di lahan pasang surut memiliki kemampuan yang baik untuk mempertahankan kandungan klorofil a, memiliki kadar  $CO_2$  intraseluler yang tinggi, laju transpirasi tinggi, stomata yang lebih panjang, dan jumlah akar yang lebih banyak pada cekaman Fe menggunakan teknik kultur hara. Galur toleran dari hasil seleksi di lahan pasang surut sulfat masam memiliki ciri mampu mempertahankan kehijauan daun, memiliki pertambahan tinggi tanaman dan pertambahan panjang daun yang lebih panjang pada cekaman Al menggunakan teknik kultur hara.

Jamilah (2006) telah membuktikan bahwa cekaman Al dan Fe pada lahan kering masam, Ultisol pada tanaman jagung yang diamati pada 45 hari setelah tanam. Pada Gambar 5. menunjukkan bahwa serapan hara N tanaman jagung yang ditanam pada Ultisol mengalami cekaman. Sumber N yang digunakan sebagai pupuk pada tanaman jagung tersebut antara lain dari *Chormolaena odorata* (*C.odorata*), *Gliricidia sepium* (*G.sepium*), dan Urea. Dosis N yang diaplikasikan untuk tanaman jagung sama semua sebanyak  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Akan tetapi karena gangguan fisiologi tanaman yang tumbuh pada Ultisol hapludult, mengakibatkan tanaman jagung tidak berkembang sempurna saat 45 hari setelah tanam. Cekaman  $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  sangat dominan mempengaruhi metabolisme tanaman jagung tersebut. Pertumbuhan yang paling kerdil diumpai pada tanaman yang mendapatkan sumber N berasal 100% dari pupuk Urea ( $(NH_2)_2CO$  ( $N_3$ ) yang mengandung (46%N), nampak lebih kerdil dibandingkan tanaman jagung yang mendapat pupuk N dari berbagai sumber pupuk hijau atau kombinasi Urea dan pupuk hijau baik itu *C.odorata* maupun *G.sepium*. Bahkan pertumbuhan tanaman jagung lebih bagus apabila diberikan N berasal dari ( $N_1$ ) 100% *C.odorata* atau ( $N_2$ ) *G.sepium*, dibandingkan ( $N_4$ ) 50% *C.odorata* + 50% Urea atau ( $N_5$ ) 50% *G.sepium* +50% Urea. Tanaman yang mendapatkan perlakuan  $N_1$ , daun masih bertahan hijau mulai dari daun teratas hingga daun paling bawah, hal ini berbeda dibandingkan tanaman yang mendapatkan perlakuan  $N_4$  dan  $N_5$ .



Gambar 5. Pertumbuhan tanaman jagung saat 45 hst yang mendapatkan hara N dari berbagai sumber N pada hapludult

Keterangan gambar: N<sub>1</sub>, N sumber *C.odorata*; N<sub>2</sub>, N sumber *G.sepium*; N<sub>3</sub>, N sumber Urea; N<sub>4</sub>, 50% sumber *C.odorata* dan 50% N Urea; N<sub>5</sub>, 50% N sumber *G.sepium* + 50% N Urea. (Sumber; Jamilah, 2006).

## 5.2.2 Peranan N tanaman terhadap gangguan cekaman alkalinitas tanah

Tanah yang mengalami alkalinisasi tersebar luas di seluruh bumi, dimana terdapat > 434 juta ha tanah alkalin di dunia (Wang dkk. 2008) dan > 70% tanah di timur laut Tiongkok bersifat basa (Kawanabe dan Zhu, 1991). Cekaman alkali dapat menghambat serapan dan asimilasi NO<sub>3</sub> pada tanaman (Yang et al. 2007; Yang et al. 2008; Wang et al. 2011; Wang et al. 2012). Berdasarkan analisis proteomik berbasis tag massa fisiologis dan tandem, Zhao et al. (2019) menemukan bahwa peningkatan serapan dan asimilasi N meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman alkali, namun mekanisme yang mendasarinya masih belum jelas. Sampai saat ini, hanya ada sedikit penelitian mengenai mekanisme yang mendasari adaptasi tanaman terhadap cekaman asam atau basa. Hal ini mungkin terjadi karena kedua bentuk cekaman tersebut secara konsisten disertai dengan cekaman lain yang tidak menguntungkan, seperti keracunan Al<sup>3+</sup> pada tanah masam dan cekaman garam pada tanah basa; inilah permasalahan yang menarik perhatian penelitian. Memang benar, cekaman asam dan basa, berbeda dengan cekaman yang menyertainya, terbukti mempunyai efek merusak pada tanaman (Yang dkk. 2008; Wang dkk. 2011; Ye dkk. 2021). Oleh karena itu, menentukan mekanisme interaksi antara nutrisi N dan tekanan pH yang tidak menguntungkan mungkin sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman di bawah tekanan pH yang tidak menguntungkan dan membantu dalam memahami tekanan yang menyertainya.

### 5.2.3 Peranan N tanaman terhadap gangguan cekaman ionik

#### Cekaman amonium

Meskipun  $\text{NH}_4^+$  merupakan salah satu sumber N yang dominan di banyak ekosistem alami, kelebihan  $\text{NH}_4^+$  bersifat racun bagi tanaman (von Wirén dkk. 2000; Britto dan Kronzucker 2002). Dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh di lingkungan dengan kandungan  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi, tanaman yang tumbuh dalam kondisi dengan kandungan  $\text{NH}_4^+$  yang tinggi menunjukkan beberapa gejala toksisitas yang berbeda, seperti sistem perakaran yang terhambat dan klorosis daun (Britto dan Kronzucker 2002; Li dkk. 2014). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa ekskresi  $\text{H}^+$  dan penekanan serapan kation secara umum merupakan kontributor utama terhadap gangguan pertumbuhan akibat konsentrasi  $\text{NH}_4^+$  yang tinggi. Menariknya, gejala keracunan  $\text{NH}_4^+$  dapat dikurangi melalui kehadiran sejumlah kecil  $\text{NO}_3^-$  secara bersamaan (Roosta dan Schjoerring 2007; Hachiya dkk. 2011). Peran  $\text{NO}_3^-$  dalam mengurangi keracunan  $\text{NH}_4^+$  sebagian disebabkan oleh peningkatan pH di rhizosfer dan stimulasi serapan kation selama serapan  $\text{NO}_3^-$  (Hachiya dkk. 2011; Hachiya dan Noguchi 2011). Yang mengejutkan, mutan NRT1.1-null di Arabidopsis menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap  $\text{NH}_4^+$  tinggi dibandingkan tanaman tipe liar, hal ini menunjukkan bahwa NRT1.1 mengurangi toksisitas  $\text{NH}_4^+$ , tidak bergantung pada serapan  $\text{NO}_3^-$ . Jian dkk. (2018) mengusulkan bahwa toksisitas  $\text{NH}_4^+$  terkait dengan proses pensinyalan yang dimediasi NRT1.1 (pengangkut nitrat 1) karena titik mutan NRT1.1P492L chl1-9 menunjukkan gejala yang mirip dengan tanaman tipe liar dalam kondisi  $\text{NH}_4^+$  tinggi. Data eksperimen tambahan diperlukan untuk memperjelas sinyal pasti yang dikontrol oleh NRT1.1 dalam toleransi  $\text{NH}_4^+$ . Penjelasan lain yang masuk akal mengenai peran  $\text{NO}_3^-$  dalam menangkal keracunan  $\text{NH}_4^+$  adalah bahwa ia menghambat serapan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) melalui kompetisi antara  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$ . Kehadiran  $\text{NH}_4^+$  meningkatkan penyerapan  $\text{Cl}^-$  untuk menjaga keseimbangan muatan di akar; proses ini dihambat secara signifikan oleh  $\text{NO}_3^-$  (Liu et al. 2020). Selain sebagai pengangkut  $\text{NO}_3^-$ , NRT1.1 juga menunjukkan permeabilitas  $\text{Cl}^-$  pada Arabidopsis dan sistem oosit *Xenopus* (Wen dkk. 2017; Liu dkk. 2020). Oleh karena itu, peningkatan toleransi  $\text{NH}_4^+$  pada mutan NRT1.1 mungkin terkait dengan berkurangnya kapasitas serapan  $\text{Cl}^-$  pada kondisi  $\text{NH}_4^+$  tinggi bila dibandingkan dengan tanaman tipe liar.

#### Cekaman garam

Tingkat cekaman garam yang tinggi berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman dan produktivitas tanaman. Dalam beberapa dekade terakhir, telah diketahui secara luas bahwa penghambatan penyerapan nutrisi melalui persaingan antara natrium dan ion nutrisi lainnya merupakan kontributor utama terhadap tingginya tekanan garam (Tang et al. 2011;

Hessini et al. 2013). Aplikasi  $\text{NO}_3^-$  telah terbukti meningkatkan serapan akar dan pemuatan  $\text{Na}^+$  di xilem, sehingga meningkatkan penghambatan akar akibat salinitas (Álvarez-Aragón dkk. 2016; Álvarez-Aragón dan Rodríguez-Navarro 2017). Berdasarkan data kinetik serapan  $\text{Na}^+$  yang bergantung pada  $\text{NO}_3^-$  pada berbagai konsentrasi  $\text{Na}^+$ , Álvarez-Aragón dan Rodríguez-Navarro (2017) mengusulkan bahwa  $\text{Na}^+$  dapat diangkut bersama dengan  $\text{NO}_3^-$ . Meskipun pengangkutan bersama  $\text{Na}^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  juga telah dijelaskan dalam *Zostera marina* dan *Suaeda physophora* (García-Sánchez dkk. 2000; Yuan dkk. 2010), pengangkut yang terlibat belum teridentifikasi. Pengangkut nitrat seperti NRT1.1 mungkin terlibat dalam jalur ini karena  $\text{Na}^+$  kekurangan sebagian pada mutan NRT1.1-null hanya dengan adanya  $\text{NO}_3^-$ , jika dibandingkan dengan tanaman tipe liar (Álvarez-Aragón dan Rodríguez-Navarro 2017).

Beberapa penelitian menemukan bahwa  $\text{NH}_4^+$  memperburuk cekaman garam lebih besar dari  $\text{NO}_3^-$ ; Hal ini hanya terlihat pada sejumlah spesies tertentu termasuk kacang polong (*Pisum sativum* L.), poplar (*Populus simonii*), dan gandum (*Triticum aestivum* L.) (Lewis dkk. 1989; Frechilla dkk. 2001; Meng dkk. 2016). Dalam sebuah penelitian baru-baru ini, Liu dkk. (2020) menemukan bahwa ketika  $\text{NH}_4^+$  menjadi satu-satunya sumber N, hilangnya fungsi NRT1.1 meningkatkan toleransi cekaman garam pada tanaman. Penyelidikan lebih lanjut mengungkapkan bahwa kelebihan  $\text{Cl}^-$ , dibandingkan dengan  $\text{Na}^+$ , mungkin bertanggung jawab atas hipersensitivitas terhadap garam pada Arabidopsis tipe liar, dengan  $\text{NH}_4^+$  sebagai satu-satunya sumber N (Liu et al. 2020). Konsisten dengan temuan ini, AtNRT1.1 dan homolognya ZmNPF6.4 memiliki permeabilitas  $\text{Cl}^-$  dalam sistem oosit *Xenopus*; aktivitasnya diamati sangat dihambat oleh  $\text{NO}_3^-$  (Wen dkk. 2017). Liu dkk. (2020) juga menunjukkan bahwa fungsi mengganggu NRT1.1 pada mutan NRT1.1 mengurangi laju masuknya  $\text{Cl}^-$  transmembran pada Arabidopsis yang diberi perlakuan  $\text{NH}_4^+$ . Oleh karena itu, peningkatan serapan  $\text{Cl}^-$  oleh NRT1.1 pada tanaman tipe liar mungkin merupakan mekanisme untuk menginduksi hipersensitivitas garam pada tanaman dalam kondisi  $\text{NH}_4^+$  tinggi. Meskipun AtNRT1.1 secara spesifik mengenali  $\text{NO}_3^-$  dan klorat ( $\text{ClO}_3^-$ ) yang memiliki struktur serupa (Parker dan Newstead 2014), hasil ini menimbulkan pertanyaan tentang bagaimana AtNRT1.1 mengenali substrat  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$  yang berbeda secara struktural. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menjelaskan sepenuhnya bagaimana NRT1.1 menyeimbangkan serapan  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$  sebagai respons terhadap tekanan garam berdasarkan konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  di lingkungan.

### Cekaman Logam Berat

Kontaminasi logam berat pada tanah telah menjadi masalah lingkungan yang kritis karena dampak ekologisnya yang merugikan. Kadmium adalah salah satu logam berat paling beracun di lingkungan. Penelitian telah menunjukkan bahwa penerapan  $\text{NH}_4^+$  meningkatkan serapan Cd dibandingkan dengan penerapan  $\text{NO}_3^-$ ; hal ini mungkin disebabkan oleh penurunan pH tanah (Florjin dkk. 1992; Sarwar dkk. 2010; Zaccheo dkk. 2006). Peningkatan serapan Cd  $\text{NH}_4^+$  juga dapat dikaitkan dengan interaksi  $\text{NH}_4^+$  dengan pektat dan protein, serta polimerisasi dinding sel pada akar *Kandelia obovata* (Chai et al. 2018). Sebaliknya,

beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa serapan Cd ditingkatkan oleh  $\text{NO}_3^-$  pada banyak spesies, seperti Arabidopsis, padi, umbi kentang, dan lobak (Eriksson 1990; Maier dkk. 2002; Hassan dkk. 2008; Sarwar dkk. 2010). Dalam sistem hidroponik, Xie et al. (2009) menemukan bahwa tanaman *Thlaspi caerulescens* yang diberi perlakuan  $\text{NO}_3^-$  mengakumulasi lebih banyak Cd dibandingkan tanaman yang diberi perlakuan  $\text{NH}_4^+$ , meskipun pH larutan  $\text{NH}_4^+$  lebih rendah. Luo dkk. (2012) melaporkan bahwa dalam budidaya hidroponik dengan buffer pH, tanaman yang diberi perlakuan  $\text{NO}_3^-$  mengakumulasi lebih banyak Cd dibandingkan tanaman yang diberi perlakuan  $\text{NH}_4^+$ , dimana peningkatan regulasi serapan Fe bertanggung jawab atas akumulasi Cd yang difasilitasi  $\text{NO}_3^-$ . Dalam sistem tanah, Jalloh et al. (2009) menunjukkan bahwa tanaman padi yang diberi  $\text{NO}_3^-$  memiliki konsentrasi Cd lebih tinggi dibandingkan tanaman yang diberi  $\text{NH}_4^+$ . Temuan ini menunjukkan bahwa, selain mengubah pH di rizosfer,  $\text{NO}_3^-$  dapat mengatur serapan Cd pada tanaman, melalui pengangkut  $\text{NO}_3^-$ ; potensi ini telah didukung oleh bukti-bukti selanjutnya. Mao dkk. (2014) mengungkapkan bahwa dengan adanya  $\text{NO}_3^-$ , gangguan fungsional NRT1.1 mengurangi serapan Cd melalui mekanisme sinergis yang melibatkan serapan  $\text{NO}_3^-$  secara simultan, sehingga meningkatkan toleransi Cd. Dalam sebuah penelitian baru-baru ini, Guan dkk. (2021) menemukan bahwa NRT2.1 berkontribusi besar dalam memfasilitasi serapan Cd dalam kondisi  $\text{NO}_3^-$  rendah dengan mengendalikan serapan  $\text{NO}_3^-$ , lebih lanjut menyatakan bahwa serapan  $\text{NO}_3^-$  memperburuk dampak buruk cekaman Cd pada tanaman.

Selain serapan  $\text{NO}_3^-$ , resistensi Cd pada tanaman juga berhubungan dengan alokasi  $\text{NO}_3^-$ . Misalnya, NRT1.8, yang menghilangkan  $\text{NO}_3^-$  dari pembuluh xilem, sangat terstimulasi oleh cekaman  $\text{Cd}^{2+}$ ; gangguan NRT1.8 meningkatkan sensitivitas tanaman terhadap cekaman  $\text{Cd}^{2+}$  yang bergantung pada  $\text{NO}_3^-$  (Li dkk. 2010). Sebaliknya, NRT1.5 yang mengangkut  $\text{NO}_3^-$  ke dalam xilem, sangat diturunkan regulasinya oleh tekanan  $\text{Cd}^{2+}$ ; dengan demikian, ia mempertahankan  $\text{NO}_3^-$  di akar dan berkontribusi terhadap toleransi  $\text{Cd}^{2+}$  dalam mekanisme yang mirip dengan NRT1.8 (Chen dkk. 2012). Hal ini menunjukkan bahwa toleransi tanaman terhadap cekaman  $\text{Cd}^{2+}$  diatur oleh realokasi  $\text{NO}_3^-$  ke akar, yang dimediasi oleh NRT1.8 dan NRT1.5. Pola ekspresi NRT1.8 dan NRT1.5 yang kontras sebagai respons terhadap cekaman mungkin disebabkan oleh persilangan antara jalur pensinyalan etilen (ET) dan asam jasmonat (JA) (Zhang dkk. 2014). Ekspresi NRT1.5 dan NRT1.8 yang diatur oleh NRT1.1 pada akar juga dapat berkontribusi pada detoksifikasi  $\text{Cd}^{2+}$  (Gojon dan Gaymard 2010). Jian dkk. (2019) menemukan bahwa NRG2 beroperasi di bagian hilir NRT1.1 untuk mengatur alokasi  $\text{Cd}^{2+}/\text{NO}_3^-$  dan toleransi tekanan Cd. Faktor-faktor penting yang mengakibatkan kesenjangan yang dijelaskan oleh Mao dkk. (2014) dan Jian dkk. (2019) mungkin disebabkan oleh variabel konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  dan Fe dalam media pertumbuhan, karena keduanya mempengaruhi serapan Cd (He et al. 2017).

Seng (Zn) merupakan nutrisi penting bagi organisme hidup, meskipun dapat menyebabkan fitotoksisitas bila konsentrasinya melebihi persyaratan. Penerapan  $\text{NO}_3^-$  meningkatkan serapan Zn pada akar gandum (Erenoglu dkk. 2011; Kutman dkk. 2011). Selain itu, Pan dkk. (2020) menunjukkan bahwa gangguan pada NRT1.1 mengurangi akumulasi Zn di

Arabidopsis; dengan demikian, pertumbuhan mutan NRT1.1 meningkat di bawah tekanan Zn, menunjukkan bahwa jalur serapan  $\text{NO}_3^-$  yang dimediasi NRT1.1 mungkin memainkan peran penting dalam memodulasi akumulasi Zn dan toleransi terhadap tekanan Zn. Namun, peran NRT lain dalam akumulasi Zn yang diinduksi  $\text{NO}_3^-$  pada tanaman masih belum jelas. Sebaliknya,  $\text{NO}_3^-$  menurunkan serapan Pb di akar dan NRT1.1 meningkatkan resistensi  $\text{Pb}^{2+}$  di Arabidopsis (Zhu dkk. 2019). Di bawah tekanan  $\text{Pb}^{2+}$ , NRT1.1 menginduksi serapan  $\text{NO}_3^-$ , yang menurunkan bioavailabilitas Pb dengan mencegah pengasaman di rhizosfer, sehingga mengurangi serapan Pb oleh akar.

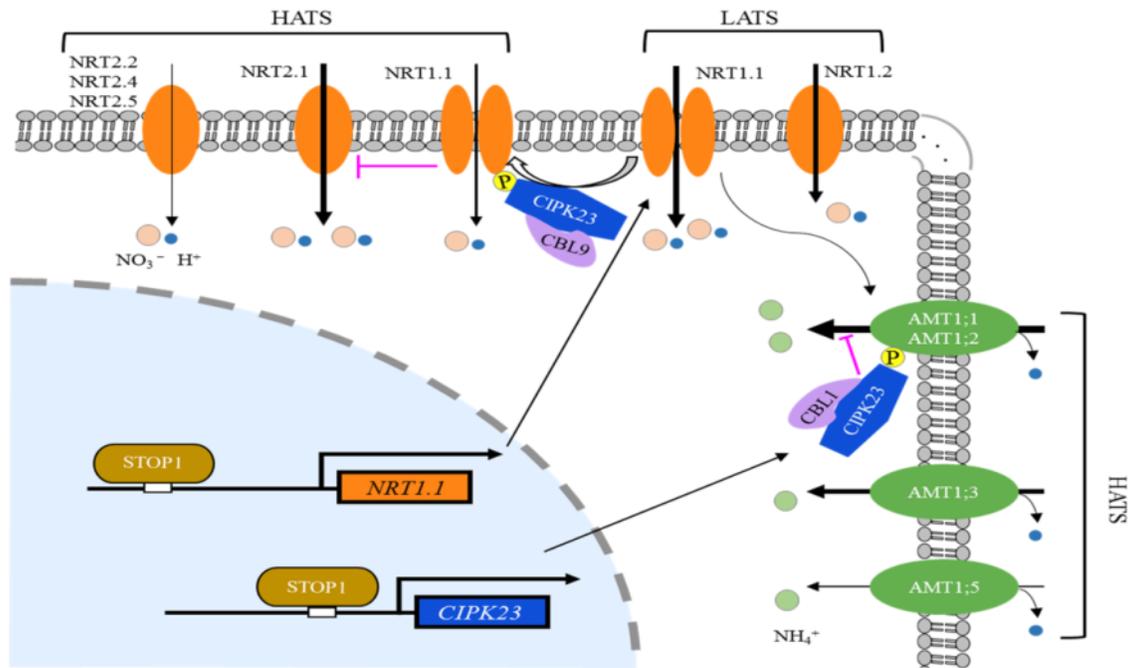
#### 5.2.4 Peranan N tanaman terhadap gangguan cekaman kekeringan

Cekaman kekeringan merupakan ancaman serius terhadap kehidupan dan produktivitas tanaman (Ding et al. 2015; Saud et al. 2017). Konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap kinerja tanaman di bawah cekaman kekeringan; penerapan  $\text{NH}_4^+$  mengurangi dampak kekeringan terhadap pertumbuhan tanaman, sedangkan  $\text{NO}_3^-$  mempunyai efek sebaliknya (Gao et al. 2010; Yang et al. 2012; Ding et al. 2015; Saud et al. 2017). Peran  $\text{NH}_4^+$  dalam meningkatkan toleransi kekeringan pada padi dikaitkan dengan peningkatan penyerapan air karena peningkatan jumlah akar dan luas permukaan (Li et al. 2009). Penurunan pembentukan aerenkim juga dapat berkontribusi pada peningkatan toleransi kekeringan terhadap  $\text{NH}_4^+$  (Yang et al. 2012). Ding dkk. (2015) menunjukkan bahwa peningkatan ekspresi aquaporin akar juga berkontribusi terhadap peningkatan toleransi kekeringan pada tanaman padi dalam kondisi  $\text{NH}_4^+$  tinggi. Saat ini, bukti bahwa serapan  $\text{NH}_4^+$  secara langsung terlibat dalam respon kekeringan tanaman masih kurang.

Pengaruh  $\text{NO}_3^-$  terhadap respons tanaman terhadap kekeringan berhubungan dengan transpor/asimilasi  $\text{NO}_3^-$ . Di bawah tekanan kekeringan, banyak gen yang terlibat dalam transpor/asimilasi  $\text{NO}_3^-$  (termasuk NRT2.5, GOGAT, GS, dan AS), ditekan (Nagy et al. 2013; Singh dan Ghosh 2013; Goel dan Singh 2015; Singh dan Ghosh 2013; Goel dan Singh 2015; Duan et al. 2016). Fungsi gen yang mengganggu yang bertanggung jawab atas jalur serapan atau asimilasi  $\text{NO}_3^-$  meningkatkan respons tanaman terhadap kekeringan. Misalnya, Guo dkk. (2003) menemukan bahwa NRT1.1 yang juga sangat diekspresikan dalam guard cell (sel penjaga), menurunkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Khususnya, berkurangnya bukaan stomata pada mutan Arabidopsis NRT1.1 bukan merupakan akibat dari efek respon asam absisat (ABA), melainkan karena gangguan serapan  $\text{NO}_3^-$  oleh sel penjaga dan depolarisasi membran yang diinduksi  $\text{NO}_3^-$  (Guo et al. 2003). Selain itu, mutasi pada gen yang mengkode NR (NIA1 dan NIA2) juga menunjukkan fenotip tahan kekeringan; hal ini mungkin disebabkan oleh fungsi ganda dari mutan-mutan yang lebih kecil dan peningkatan kepekaan mereka terhadap ABA (Lozano-Juste dan León 2010; Chen dkk. 2016). Penelitian juga melaporkan bahwa peran  $\text{NO}_3^-$  dalam menjaga stomata tetap terbuka untuk mengikat

lebih banyak karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) untuk asimilasi  $\text{NO}_3^-$  dapat berkontribusi terhadap laju transpirasi daun yang lebih tinggi pada kondisi kekeringan (Guo et al. 2007; Shi et al. 2014; Ren dkk.2015). Baru-baru ini, Han dkk. (2021) melaporkan bahwa mutasi OsNR1.2 yang kehilangan fungsi lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan padi liar dalam kondisi cukup  $\text{NO}_3$ . Hal ini menegaskan bahwa penekanan asimilasi N berkontribusi pada kelangsungan hidup tanaman padi di bawah cekaman kekeringan. Penyelidikan lebih lanjut mengungkapkan bahwa penghambatan ekspresi OsNR1.2 dan penekanan asimilasi N sebagai respons terhadap cekaman kekeringan dikaitkan dengan faktor transkripsi jari-seng  $\text{C}_2\text{H}_2$ , yang dikenal sebagai toleransi kekeringan dan garam (DST), yang berperan dalam  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan homeostasis sitokinin (Huang dkk. 1999; Li dkk. 2013). Di bawah tekanan kekeringan, ekspresi DST mengalami penurunan regulasi; tindakan ini secara langsung menghambat aktivasi DST ke gen targetnya, OsNR1.2 dan OsPrx24, sehingga memfasilitasi penutupan stomata melalui pencegahan asimilasi N dan menginduksi akumulasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  di peralatan stomata.

Selain transportasi dan asimilasi  $\text{NO}_3^-$ , sinyal  $\text{NO}_3^-$  juga berkontribusi terhadap toleransi terhadap cekaman kekeringan. Gangguan pada protein mirip NIN 7 (NLP7) pada mutan NLP7 menyebabkan gangguan transduksi sinyal  $\text{NO}_3^-$ , sehingga transpirasi lebih rendah dan kelangsungan hidup lebih lama di bawah tekanan kekeringan (Castaings dkk. 2009). Banyak gen yang bergantung pada NLP7 dan NRT1.1 diekspresikan secara berbeda sebagai respons terhadap kekeringan atau pengobatan ABA. Hal ini menunjukkan bahwa gangguan pada sinyal  $\text{NO}_3$  dapat menyebabkan perubahan pada ekspresi gen yang responsif terhadap kekeringan (Araus dkk. 2020). Hasil ini menunjukkan bahwa  $\text{NO}_3^-$  berperan dalam respons kekeringan dengan mengatur aktivitas gen yang terlibat dalam serapan/asimilasi dan pensinyalan  $\text{NO}_3^-$ , bertindak melalui atau independen dari jalur ABA.



Gambar 6. Skema pengangkut membran yang terlibat dalam serapan akar nitrat dan amonium di *Arabidopsis thaliana*.

Diagram tersebut mewakili sel akar yang diidealkan, dengan mengabaikan diferensiasi perkembangan. Jalur sinyal utama yang mengatur ekspresi dan aktivitas biokimia dari pengangkut ini juga disertakan. Protein dikelompokkan sebagai sistem transpor afinitas tinggi (HATS) atau sistem transpor afinitas rendah (LATS), berdasarkan afinitasnya terhadap substrat. Kontribusi pengangkut terhadap serapan N digambarkan dengan lebar garis padat. NRT1.1 adalah LATS dan HATS, bergantung pada fosforilasi oleh kompleks CIPK23-CBL. Garis magenta menunjukkan regulasi negatif.

### 5.3 Peranan Hara N Terhadap Pertumbuhan Tanaman

Unsur N berfungsi untuk menyusun asam amino (protein), asam nukleat, nukleotida, dan klorofil pada tanaman, sehingga dengan adanya N, tanaman akan merasakan manfaat sebagai berikut:

- Membuat tanaman lebih hijau
- Mempercepat pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah anakan, jumlah cabang)
- Menambah kandungan protein hasil panen.

Tanaman yang kekurangan unsur hara N akan menunjukkan gejala :

1. Seluruh tanaman berwarna pucat kekuningan (klorosis) akibat kekurangan klorofil
2. Pertumbuhan tanaman menjadi kerdil, jumlah anakan atau jumlah cabang sedikit
3. Perkembangan buah menjadi tidak sempurna dan seringkali masak sebelum waktunya
4. Pada tahap lanjut, daun menjadi kering dimulai dari daun pada bagian bawah tanaman.

7

Pasokan N yang kurang akan menurunkan kandungan dan aktivitas klorofil, sehingga laju fotosintesis menurun (Gambar 7). Penurunan laju fotosintesis akan menurunkan produksi sukrosa baik untuk metabolisme maupun untuk dipartisikan pada jaringan parenkim batang. Pasokan N yang kurang akan menurunkan kandungan dan aktivitas klorofil, sehingga laju fotosintesis menurun. Penurunan laju fotosintesis akan menurunkan produksi sukrosa baik untuk metabolisme maupun untuk dipartisikan pada jaringan parenkim batang. Kekurangan N dapat menyebabkan pembentukan anakan terbatas dan perkembangan batang terganggu sehingga dapat menyebabkan penurunan produktivitas tanaman (Mulyono, 2004; 2009). Tando (2019) menyatakan bahwa bila tanah kurang mengandung Nitrogen (N) tersedia, maka seluruh tanaman akan berwarna hijau pucat atau kuning (klorosis). Hal ini dapat terjadi karena rendahnya produksi klorofil dalam tanaman. Daun tertua lebih dahulu menguning karena Nitrogen (N) dipindahkan dari bagian tanaman ini menuju ke daerah ujung pertumbuhan. Daun bagian bawah tanaman yang mengalami defisiensi pada awalnya menguning dibagian ujung dan gejala klorosis cepat merambat melalui tulang tengah daun menuju batang. Daun tepi dapat tetap hijau untuk beberapa saat. Bila defisiensi menjadi semakin erat, daun tertua kedua dan ketiga mengalami pola defisiensi serupa dan daun tertua pada saat itu akan menjadi coklat sempurna. Bila defisiensi Nitrogen (N) dapat dilacak pada awal pertumbuhan, maka dapat diatasi dengan suatu penambahan pupuk yang mengandung Nitrogen (N) sedikit pengaruh pada hasil panen.



Gambar 7. Perubahan warna daun akibat tanaman kekurangan unsur Nitrogen ( Sumber: Unsurtani.com)

Jamilah et al., (2009) telah membuktikan peranan N yang berasal dari kompos 2 jenis komponen yang berbeda, apabila diaplikasikan ke tanaman padi sawah pada 2 lokasi kegiatan yang berbeda yaitu di Kelurahan Koto Lalang dan Kelurahan Kampung Jua, Kota Padang, Sumatera Barat.

Kompos tersebut dianalisis kandungan haranya disajikan pada (Tabel 1). Kemudian serapan hara N pada tanaman padi juga ditetapkan pada 2 lokasi kegiatan. Pada kompos terlihat tingginya kandungan bahan organik (C-organik) dan kandungan hara secara umum semuanya cukup rendah.

Berdasarkan hasil analisis kimia kompos, terbukti bahwa kompos jerami dan *Chromolaena odorata* (*C.odorata*) mengandung unsur N sebesar 1,63-2,14%. Unsur hara tersebut diserap tanaman dan digunakan untuk pertumbuhan dan pembentukan sel tanaman sebagai jaringan hidup. Kekurangan hara yang disumbangkan oleh pupuk kompos tersebut harus **dicukupi** melalui pemberian pupuk buatan seperti Urea untuk memenuhi kebutuhan hara N, SP-36 **untuk memenuhi kebutuhan hara P dan KCl** untuk memenuhi **kebutuhan hara K**. Hubungan pupuk kompos yang telah diberikan pada tanaman padi pada 2 lokasi yang dianalisis serapan hara N disajikan pada Tabel 2. Hasil penetapan serapan hara N, terbukti tinggi pada pemberian 7,5 t ha<sup>-1</sup> kompos (*C.odorata* + pukan sapi) di Koto Lalang ataupun **7,5 t ha<sup>-1</sup> kompos (jerami+pukan sapi)** di Kampung Jua. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya pemberian kompos untuk meningkatkan serapan hara N, karena boleh jadi unsur N bukan hanya diperoleh tanaman dari kompos, akan tetapi karena adanya pemberian kompos dapat meningkatkan serapan hara total N dari tanah yang berasal dari sumber pupuk maupun tanah. Serapan hara N yang tinggi tentu saja akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi selanjutnya akan mempengaruhi produktivitas tanaman atau hasil padi.

**2**  
Tabel 1. Susunan kimia dari bahan kompos yang digunakan sebagai pupuk organik

Ciri kimia kompos	Jenis kompos	
	Jerami (50%) + pukan (50%) (A)	<i>C.odorata</i> (50%) + pukan (50%)(B)
pH	8,85	8,57
C-organik (%)	35,21	26,65
Unsur P (%)	2,56	2,21
Unsur K (%)	1,26	1,55
N-total (%)	1,63	2,14
C/N	21,58	12,48
Asam-asam organik	Amina, dll	Amina, dll

**2**  
Tabel 2. Pengaruh jenis dan takaran kompos terhadap angkutan hara N tanaman padi per rumpun saat primordia bunga.

Perlakuan	Koto Lalang		Kampung Jua	
	N-total (%)	serapan N (mg)	N-total (%)	serapan N (mg)

2				
Jenis kompos	2		2	
Jerami (50%) + pukan (50%)(A)	0,084 A	514,96 A	0,2518 A	668,96 A
<i>C.odorata</i> (50%) + pukan (50%)(B)	0,110 B	556,04 A	0,3249 B	728,69 A
Takaran pada jenis:				
2,5 t ha <sup>-1</sup> kompos (jerami + pukan sapi)	0,043 a	548,91 c	0,192 a	351,12 a
5,0 t ha <sup>-1</sup> kompos (jerami + pukan sapi)	0,033 a	560,94 c	0,274 bc	663,99 c
7,5 t ha <sup>-1</sup> kompos (jerami + pukan sapi)	0,178 c	435,03 a	0,289 bc	991,76 e
2,5 t ha <sup>-1</sup> kompos ( <i>C.odorata</i> + pukan sapi)	0,043 a	488,14 b	0,304 cd	439,60 b
5,0 t ha <sup>-1</sup> kompos ( <i>C.odorata</i> +pukan sapi)	0,153 b	551,79 c	0,263 b	823,85 d
7,5 t ha <sup>-1</sup> kompos ( <i>C.odorata</i> +pukan sapi)	0,138 b	628,21 d	0,409d	922,61 f
KK(%)	20,910	8,33	17,140	15,69
BNJ.05 K	0,026	-	0,063	-
BNJ.05 tdk	0,018	40,06	0,044	98,56

Angka angka yang diikuti huruf kecil atau huruf besar yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNJ.05. (Sumber: Jamilah et al., 2009).

## 5.4 Peranan Hara N Terhadap Hasil Tanaman

Ketersediaan nitrogen yang cukup dalam tanaman berpengaruh signifikan pada perkembangan buah, dan ini dapat dijelaskan melalui beberapa peran utama nitrogen dalam proses pembentukan buah: Pembentukan Protein: Protein adalah komponen utama dalam sel tanaman, dan mereka juga ditemukan dalam buah. Protein berperan penting dalam proses pembelahan sel, diferensiasi sel, dan pembentukan struktur seluler yang diperlukan dalam perkembangan buah. Nitrogen adalah komponen utama protein, dan pasokan nitrogen yang cukup diperlukan untuk sintesis protein yang diperlukan dalam pembentukan buah. Pembentukan Asam Amino: Nitrogen adalah komponen utama asam amino, yang merupakan blok bangunan protein. Asam amino seperti glutamin dan asam glutamat dapat berperan dalam pengaturan pertumbuhan buah dan akumulasi gula, yang pada gilirannya mempengaruhi rasa dan kualitas buah. Produksi Hormon Tumbuhan: Hormon tumbuhan, seperti sitokinin, merupakan komponen penting dalam pengaturan pertumbuhan dan perkembangan buah. Sitokinin mempengaruhi pembelahan sel, pembesaran buah, dan perkembangan biji. Produksi hormon tumbuhan memerlukan nitrogen. Akumulasi Nutrisi dan Gula: Nitrogen juga diperlukan untuk penyerapan dan transportasi nutrisi lain seperti karbon, fosfor, dan kalium dalam buah. Selain itu, nitrogen juga berperan dalam akumulasi gula dalam buah. Gula adalah salah satu komponen utama yang memberikan rasa manis pada buah, dan ketersediaan nitrogen yang cukup dapat meningkatkan akumulasi gula dalam buah. Warna dan Kualitas Buah: Nitrogen juga berperan dalam pengaturan warna dan kualitas buah. Dalam beberapa buah, seperti tomat, ketersediaan nitrogen yang tepat dapat

mempengaruhi warna, tekstur, dan rasa buah. Jika nitrogen kurang, buah mungkin tidak mencapai kualitas yang diharapkan. Kekurangan atau kelebihan nitrogen dalam tanaman dapat memiliki dampak negatif pada pembentukan buah. Kekurangan nitrogen dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan buah, sementara kelebihan nitrogen dapat mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang berlebihan, dengan akibat kurangnya fokus pada pembentukan buah. Oleh karena itu, manajemen nutrisi yang tepat, termasuk pemupukan nitrogen yang bijaksana, adalah penting untuk mencapai hasil buah yang optimal dalam pertanian dan kebun.

### Peranan N terhadap pembentukan buah dan biji

Nitrogen memainkan peran penting dalam pembentukan protein karena protein terdiri dari rantai panjang asam amino, dan setiap asam amino mengandung atom nitrogen. Nitrogen diperoleh oleh tanaman dari tanah dalam bentuk senyawa nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) atau amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), dan kemudian digunakan untuk mensintesis asam amino. Protein adalah molekul besar yang terdiri dari satu atau lebih rantai asam amino. Terdapat 20 jenis asam amino yang berbeda, dan pengaturan urutan asam amino dalam rantai protein menentukan struktur dan fungsi protein tersebut. Di samping itu tumbuhan dapat mengandung 20 sampai dengan 40 macam asam amino tambahan yang ditemukan bebas dalam ekstrak tumbuhan, tetapi jarang ditemukan sebagai penyusun protein. Jumlah seluruh asam amino penyusun suatu protein sangat bervariasi dan berat molekul protein juga bervariasi. Sebagai salah satu macam makromolekul, berat molekul protein berkisar antara beberapa ribu hingga beberapa juta. Protein dengan berat molekul 5000 mengandung kira-kira 50 buah asam amino, sedangkan protein dengan berat molekul 100.000 dapat tersusun atas 1.000 buah asam amino. Sebagian besar protein yang terdapat pada tumbuhan mempunyai berat molekul kira-kira 40.000, tetapi ferredoksin yang terlibat dalam fotosintesis mempunyai berat molekul 11,5 dan ribulosa bifosfat karboksilase yang merupakan salah satu enzim dalam proses fotosintesis.

Tanaman mengambil nitrogen dari tanah dalam bentuk nitrat atau amonium dan menggunakannya untuk membangun asam amino melalui jalur biosintesis protein. Hewan, termasuk manusia, mendapatkan nitrogen yang diperlukan untuk sintesis protein dari konsumsi tanaman atau konsumsi hewan yang telah mengonsumsi tanaman. Secara keseluruhan, hubungan antara nitrogen dan protein sangat penting dalam konteks nutrisi dan biosintesis biologis. Tanaman, hewan, dan mikroorganisme memerlukan nitrogen untuk menyusun protein yang penting untuk fungsi dan pertumbuhan sel.

Berikut beberapa peran utama nitrogen dalam pembentukan biji dan buah:

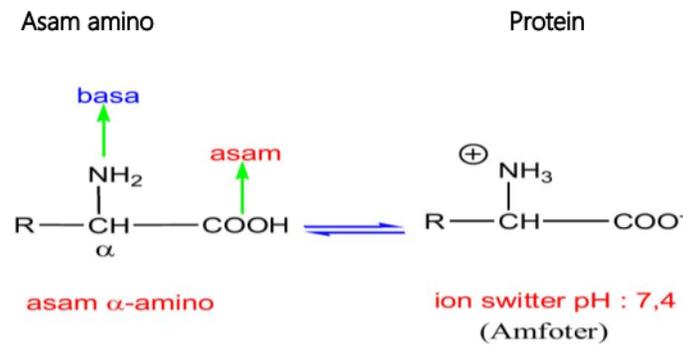
#### 1. Pertumbuhan Vegetatif Awal:

Pada awal siklus hidup tanaman, nitrogen dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan vegetatif. Ini mencakup pembentukan daun, batang, dan akar yang kuat. Tanaman yang sehat pada fase vegetatif dapat menghasilkan sumber daya yang cukup untuk mendukung fase reproduksi, termasuk pembentukan biji dan buah.

#### 2. Pembentukan Bunga:

Fase reproduksi dimulai dengan pembentukan bunga. Proses ini memerlukan sintesis protein dan hormon, yang semuanya memerlukan nitrogen. Nitrogen membantu dalam pembentukan struktur bunga dan mendukung perkembangan organ reproduksi.

3. **Pembentukan Polen dan Sel Telur:** Untuk terjadinya pembuahan, polen (sel kelamin jantan) dan sel telur (sel kelamin betina) harus berkembang dengan baik. Proses ini melibatkan sintesis berbagai molekul organik, termasuk protein dan asam nukleat, yang semuanya membutuhkan nitrogen.
4. **Pembuahan dan Pembentukan Bibit:** Setelah proses penyerbukan, polen menyatukan dengan sel telur, dan embrio baru mulai berkembang. Proses ini juga memerlukan sumber daya nitrogen untuk memastikan pertumbuhan embrio yang sehat dan pembentukan biji yang baik.
5. **Pembentukan Buah:** Setelah pembuahan, biji berkembang menjadi buah. Buah adalah struktur yang melibatkan pertumbuhan dan perkembangan jaringan tambahan, termasuk dinding buah. Nitrogen membantu dalam sintesis berbagai komponen sel dan molekul organik yang diperlukan untuk pembentukan buah yang sehat.
6. **Aksara dan Transportasi Nutrisi:** Nitrogen juga berperan dalam aksara dan transportasi nutrisi ke seluruh tanaman. Ini memastikan bahwa semua bagian tanaman, termasuk biji dan buah, menerima sumber daya yang cukup untuk pertumbuhan dan perkembangan optimal.



Gambar 8. Asam amino dan protein (Sumber: (Rosana, 2019))

Protein memainkan peran krusial dalam pembentukan biji pada tanaman. Biji adalah struktur reproduksi tanaman yang mengandung embrio dan sumber daya yang diperlukan untuk pertumbuhan awal tanaman baru. Berikut adalah beberapa peran utama protein dalam pembentukan biji:

1. **Pembentukan Jaringan Embriogenik:** Protein merupakan komponen utama sel dan jaringan tanaman. Selama pembentukan embrio dalam biji, sintesis protein sangat aktif untuk membangun struktur jaringan embriogenik yang akan menjadi bagian penting dari tanaman yang tumbuh.
2. **Akumulasi Zat Gizi:** Biji adalah sumber utama gizi untuk pertumbuhan awal tanaman. Protein dalam biji mengandung asam amino yang penting untuk perkembangan embrio dan pertumbuhan bibit. Protein juga dapat berfungsi sebagai sumber nitrogen untuk mendukung pertumbuhan tanaman pada tahap awal setelah perkecambahan.

3. **Pembentukan dan Akumulasi Reservi:** Beberapa jenis biji mengandung protein sebagai sumber energi dan nutrisi yang akan digunakan oleh embrio saat perkecambahan. Protein dalam biji sering kali disimpan dalam bentuk protein penyimpanan, seperti globulin, albumin, atau prolamin, yang dapat dihidrolisis menjadi asam amino untuk menyediakan energi selama perkecambahan.
4. **Proteksi Terhadap Stres:** Protein juga dapat berperan dalam melindungi embrio dan biji dari kondisi lingkungan yang merugikan. Beberapa protein dapat berfungsi sebagai enzim atau faktor perlindungan yang membantu melawan stres oksidatif atau serangan patogen selama perkembangan biji.
5. **Pengaturan Pertumbuhan dan Pembentukan Jaringan:** Protein juga terlibat dalam mengatur proses pertumbuhan dan diferensiasi sel selama pembentukan biji. Mereka dapat bertindak sebagai faktor pengatur pertumbuhan atau faktor transkripsi yang mengontrol aktivitas gen yang terlibat dalam pengembangan biji.

Ada banyak tanaman mengandung asam amino dan protein, diantaranya adalah Chia (*Salvia hispanica*). Chia adalah merupakan tanaman herba tahunan yang bijinya sudah dikonsumsi ribuan tahun yang lalu. Hasil penelitian saat ini menunjukkan nilai gizi yang tinggi pada biji chia dan menegaskan khasiatnya yang bermanfaat bagi kesehatan. Komponen biji chia dianggap memiliki efek menguntungkan pada peningkatan profil lipid darah, melalui efek hipotensi, hipoglikemik, antimikroba, dan imunostimulator. Komposisi kimia biji chia khususnya komposisi asam amino disajikan pada Tabel 3.

Table 3. komposisi asam amino dari protein berasal dari biji Chia (*Salvia hispanica*) (Sumber: Killeit, 2019)

Amino Acid	Content (g/100 g)	
	USDA [33]	Nitrayova et al. [27]
<b>Essential amino acids</b>		
Arginine	2.14	2.00
Histidine	0.53	0.61
Isoleucine	0.80	0.74
Leucine	1.37	1.42
Lysine	0.97	0.93
Methionine	0.59	0.67
Phenylalanine	1.02	1.6
Threonine	0.71	0.54
Tryptophan	0.44	n/d
Valine	0.95	0.79
<b>Non-essential amino acids</b>		
Cystine	0.41	0.42
Tyrosine	0.56	0.61
Alanine	1.04	0.94
Aspartic acid	1.69	1.28
Glutamic acid	3.50	2.87
Glycine	0.94	0.91
Proline	0.78	1.28
Serine	1.05	0.94

24

Nitrogen merupakan komponen utama dari asam amino, yang merupakan bahan bangunan protein. Protein adalah molekul penting yang terlibat dalam sejumlah fungsi biologis, termasuk struktur sel, enzim, dan molekul sinyal. Pembentukan biji melibatkan sintesis protein yang intensif, sehingga tanaman memerlukan nitrogen dalam jumlah yang cukup untuk memproduksi protein yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan biji. Meskipun nitrogen tidak langsung terlibat dalam proses fotosintesis, namun peranannya sangat penting karena tanaman memerlukan klorofil untuk melakukan fotosintesis. Klorofil adalah pigmen hijau yang mengandung atom nitrogen dan memainkan peran kunci dalam menangkap energi matahari untuk menghasilkan glukosa dan oksigen. Glukosa yang dihasilkan oleh fotosintesis menjadi sumber daya yang mendukung pertumbuhan biji. Nitrogen juga merupakan komponen utama dari asam nukleat, seperti DNA dan RNA. Proses replikasi dan transkripsi DNA, yang terjadi selama pembentukan biji, memerlukan nitrogen untuk membangun rangkaian nukleotida. Oleh karena itu, keberadaan nitrogen sangat penting dalam menjaga integritas genetik dan pembelahan sel yang benar.

Nitrogen juga terlibat dalam regulasi berbagai jalur metabolisme dalam tanaman. Ini mencakup regulasi enzim dan reaksi biokimia yang memastikan bahwa proses-proses kunci, seperti pembelahan sel dan diferensiasi selama pembentukan biji, berlangsung dengan efisien. Sebelum pembentukan biji, tanaman melewati fase pertumbuhan vegetatif yang memerlukan nitrogen untuk menghasilkan struktur vegetatif, seperti daun, batang, dan akar. Pertumbuhan vegetatif yang sehat memberikan dasar yang kuat bagi tanaman untuk memasuki fase reproduksi dan membentuk biji. Ketidacukupan nitrogen dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi kualitas biji yang dihasilkan. Sebaliknya, pemupukan nitrogen yang tepat dapat meningkatkan hasil dan kualitas biji. Oleh karena itu, manajemen yang bijak terhadap nitrogen dalam pertanian sangat penting untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal dan produksi biji yang memuaskan.

## Daftar pustaka

14

Lumbantoruan, S. M., Anggraini, S., & Siaga, E. (2021, December). Potensi pupuk hayati dalam optimalisasi pertumbuhan tanaman jagung di tanah gambut cekaman kekeringan. In *Seminar Nasional Lahan Suboptimal* (Vol. 9, No. 2021, pp. 162-171).

15

Killeit, U. (2019). The chemical composition and nutritional value of chia seeds – current state of knowledge. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 115(9), 1–16.

9

Lawlor, D. W., Lemaire, G., & Gastal, F. (2001). *Nitrogen, Plant Growth and Crop Yield BT - Plant Nitrogen* (P. J. Lea & J.-F. Morot-Gaudry (eds.); pp. 343–367). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-04064-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04064-5_13)

22

Rosana, D. (2019). Struktur dan Fungsi Protein. *Universitas Terbuka*, 450.

10

Ko, H. Y., Ho, L. H., Neuhaus, H. E., & Guo, W. J. (2021). Transporter SISWEET15 unloads sucrose from

phloem and seed coat for fruit and seed development in tomato. *Plant Physiology*, 187(4), 2230-2245.

16

Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2020). Melatonin in flowering, fruit set and fruit ripening. *Plant Reproduction*, 33, 77-87.

17

Millar, A. A., Lohe, A., & Wong, G. (2019). Biology and function of miR159 in plants. *Plants*, 8(8), 255.

# Buk J

---

## ORIGINALITY REPORT

---

18%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

8%

PUBLICATIONS

6%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

1	<a href="http://jurnal.unitri.ac.id">jurnal.unitri.ac.id</a> Internet Source	4%
2	<a href="http://repository.unitas-pdg.ac.id">repository.unitas-pdg.ac.id</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://repository.ipb.ac.id">repository.ipb.ac.id</a> Internet Source	2%
4	<a href="http://link.springer.com">link.springer.com</a> Internet Source	2%
5	<a href="http://repository.penerbitwidina.com">repository.penerbitwidina.com</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://nanopdf.com">nanopdf.com</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://repository.umsu.ac.id">repository.umsu.ac.id</a> Internet Source	1%
9	Submitted to University of the Sunshine Coast Student Paper	<1%

---

10	<a href="http://kluedo.ub.rptu.de">kluedo.ub.rptu.de</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov">www.ncbi.nlm.nih.gov</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://kumparan.com">kumparan.com</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://pdfcoffee.com">pdfcoffee.com</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://e-journal.janabadra.ac.id">e-journal.janabadra.ac.id</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://polynoe.lib.uniwa.gr">polynoe.lib.uniwa.gr</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://www.interempresas.net">www.interempresas.net</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://openresearch-repository.anu.edu.au">openresearch-repository.anu.edu.au</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="http://bengkulu.litbang.pertanian.go.id">bengkulu.litbang.pertanian.go.id</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="http://kliping-dunia.blogspot.com">kliping-dunia.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
21	<a href="http://eproceedings.umpwr.ac.id">eproceedings.umpwr.ac.id</a> Internet Source	<1 %

22	<a href="http://journal.iaisambas.ac.id">journal.iaisambas.ac.id</a> Internet Source	<1 %
23	<a href="http://artikelpendidikan.id">artikelpendidikan.id</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="http://digilib.polban.ac.id">digilib.polban.ac.id</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
26	Dr. Ania Citraresmini, MP, Taufiq Bachtiar, Taufiq Bachtiar. "Dinamika Fosfat Pada Aplikasi Kompos Jerami-Biochar dan Pemupukan Fosfat Pada Tanah Sawah", Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, 2017 Publication	<1 %
27	<a href="http://adoc.pub">adoc.pub</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://gigihgo.blogspot.com">gigihgo.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
29	<a href="http://kusmandanuunindra4.blogspot.com">kusmandanuunindra4.blogspot.com</a> Internet Source	<1 %
30	<a href="http://learniseasy.com">learniseasy.com</a> Internet Source	<1 %
31	<a href="http://www.calonmanejer.com">www.calonmanejer.com</a> Internet Source	<1 %

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

# Buk J

---

PAGE 1

---

PAGE 2

---

PAGE 3

---

PAGE 4

---

PAGE 5

---

PAGE 6

---

PAGE 7

---

PAGE 8

---

PAGE 9

---

PAGE 10

---

PAGE 11

---

PAGE 12

---

PAGE 13

---

PAGE 14

---

PAGE 15

---

PAGE 16

---

PAGE 17

---

PAGE 18

---

PAGE 19

---

PAGE 20

---

PAGE 21

---

PAGE 22

---

PAGE 23

---

PAGE 24

---

PAGE 25

---

