

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bayam

1. Morfologi

Tanaman bayam merupakan tanaman berbentuk herba, daun umumnya berbentuk bulat telur dengan ujung agak meruncing dan urat-urat daunnya jelas. Warna daun dan batang hijau keputih-putihan sehingga disebut bayam putih. Struktur daun kasap. Bunga tersusun dalam malai yang tumbuh tegak, keluar dari ujung tanaman ataupun dari ketiak-ketiak daun. Alat reproduksi (perbanyak tanaman) secara generatif yaitu biji. Ukuran biji sangat kecil, bentuknya bulat dan berwarna coklat tua mengkilap sampai hitam kelam (Rukmana, 1994).

2. Kedudukan Taxonomi

Menurut (Backer and Van Der Brink, 1965), tanaman bayam secara taxonomis digolongkan dalam :

Divisio	: Spermatophyta
Subdivisio	: Angiospermae
Classis	: Dycotyledonae
Ordo	: Centrospermae
Familia	: Amaranthaceae
Genus	: <i>Amaranthus</i>
Species	: <i>Amaranthus tricolor</i> Linn.

3. Kegunaan

Bayam merupakan bahan sayuran daun yang bergizi tinggi dan digemari oleh semua lapisan masyarakat. Daunnya dapat dibuat berbagai jenis sayur-mayur. Di beberapa negara berkembang dipromosikan sebagai sumber protein nabati karena sayuran ini dapat berfungsi ganda bagi pemenuhan kebutuhan gizi. Komposisi zat gizi secara lengkap seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi zat gizi yang terdapat dalam tiap 100 gram bayam

Komposisi gizi	Bayam
a. Kalori (kal.)	20,0
b. Protein (gr)	2,3
c. Lemak (gr)	0,3
d. Karbohidrat (gr)	3,2
e. Kalsium (mg)	81,0
f. Fosfor (mg)	55,0
g. Zat besi (mg)	3,0
h. Vitamin A (S. I.)	9.420,0
i. Vitamin B ₁ (mg)	0,1
j. Vitamin B ₂ (mg)	0,2
k. Vitamin C (mg)	59,0
l. Niacin (gr)	0,6
m. Abu (gr)	1,5
n. Serat (gr)	0,6

(Sumber: Departemen Kesehatan R.I. tahun 1981 dalam Rukmana, 1994).

4. Habitat

Tanaman ini banyak tumbuh di daerah tropik, mempunyai daya adaptasi yang baik terhadap lingkungan sehingga dapat ditanam di dataran rendah sampai dataran tinggi \pm 2.000 meter dari atas permukaan air laut. Hasil panen yang optimal dapat diperoleh bila diperhatikan persyaratan tumbuhnya, yaitu :

- a. keadaan lahan harus terbuka dan mendapat sinar matahari penuh
- b. tanahnya subur, gembur, banyak mengandung bahan organik, memiliki pH 6 – 7 dan tidak menggenang (becak) (Rukmana, 1994).

Sunaryo (1984), menambahkan bila pH di bawah 6 pertumbuhan tanaman akan bertambah buruk dan bila pH di atas 7, pertumbuhan daun-daun muda akan memucat putih kekuning-kuningan (klorosis).

5. Pupuk Untuk Pertumbuhan Tanaman Bayam

Tanaman bayam dalam pertumbuhannya membutuhkan unsur hara makro maupun unsur hara mikro yang berfungsi sebagai pupuk antara lain : $MgSO_4$, $MgCl_2$, dan Mg-EDTA.

B. Magnesium (Mg)

Ion Mg merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman. Ion Mg diabsorpsi tanaman dalam bentuk larutan di dalam tanah yaitu berupa Mg^{2+} (Adisoemarto, 1994). Ada beberapa perbedaan dalam konsentrasi Mg dalam tanah. Nutrien yang diperlukan tanaman berkisar antara 30 – 100 ppm, biasanya pada konsentrasi 24 ppm adalah konsentrasi yang mendekati tingkat kebutuhan yang sesuai dengan nutrien yang diperlukan tanaman (Tisdale *et al.* 1985).

Menurut Sarief (1986), ion Mg^{2+} dapat ditemukan di alam dan berasal dari dekomposisi batuan yang berada pada mineral primer seperti biotite, dolomite, hornblende, olivine dan serpentine. Pada dekomposisi dari mineral primer, Mg dibebaskan dalam air dan kemungkinan yang terjadi :

- a. hilang dalam penyaringan air
- b. absorpsi melalui makhluk hidup
- c. absorpsi melalui partikel tanah liat
- d. diendapkan sebagai mineral sekunder

Pada tanah liat Mg yang berasal dari mineral sekunder keberadaannya sangat lambat dan dapat dibebaskan melalui pencucian dan hasil yang menyeluruh.

1. Sifat-sifat Mg dalam Tanah

Menurut Tisdale *et al.* (1985), keberadaan Mg tanaman dalam tanah dapat mengubah air atau larutan sejenisnya. Absorpsi Mg oleh tanaman tergantung dari jumlah keberadaannya, pH tanah, daya serap Mg. Kandungan Mg kurang dari 25 – 50 ppm dari pertukaran Mg^{2+} dapat mengganggu kesuburan tanah. Tanaman yang kekurangan Mg dapat ditemukan dalam tanah yang mempunyai rasio pertukaran Ca/Mg. Rasio ini ideal tidak lebih dari 7 : 1. Mg dapat dengan mudah dicuci dari tanah. Kehilangannya berkisar antara 5 – 60 ppm per are per tahun. Banyaknya Mg yang hilang tergantung interaksi beberapa faktor termasuk Mg dalam tanah, tingkat cuaca, intensitas pencucian dan pengambilan Mg oleh tanaman. Sumber-sumber Mg adalah Potasium Mg Sulfat ($K-Mg.SO_4$), MgO (55% Mg), $Mg(NO_3)_2$ (16% Mg), Mg silikat (dasar slag, 3 – 4% Mg), larutan Mg klorit

($\text{MgCl}_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, 8 – 9% Mg), kelat sintetis (2 – 4% Mg) dan kompleks substansi organik murni (4 – 9% Mg).

Kecepatan pergerakan Mg sangat bergantung pada jumlah mineral dalam tanah, kecepatan perembesan dan intensitas pelepasan, seperti proses pengambilan Mg oleh tanaman dari dalam tanah (Kirkby dan Mengel, 1982). Keberadaan Mg dalam tanah tergantung pada tipe tanah. Seperti yang diutarakan oleh Zahiraleslam dalam Kirkby dan Mengel (1982), dalam penelitiannya menemukan bahwa total Mg menurun dari 0,5% dalam tanah rawa menjadi 0,05% di tanah podzols dengan urutan sebagai berikut: tanah rawa > tanah endapan lumpur coklat > tanah berpasir coklat > tanah podzolik coklat > podzol.

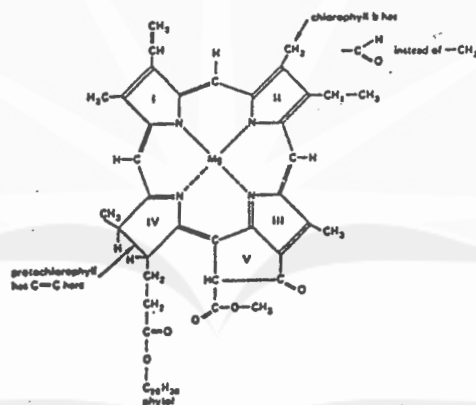
2. Pengangkutan dan Translokasi Mg

Ion Mg^{2+} diangkut tanaman dalam jumlah lebih sedikit daripada Ca^{2+} atau K^+ . Kandungan Mg dalam jaringan tanaman biasanya sebesar 0,5% bahan kering. Efek sampingan dalam pengangkutan Mg^{2+} adalah efek-efek sejenis yang menimbulkan defisiensi (penurunan) Mg dalam tanah. Grimme *et al.* Kirkby dan Mengel (1982), mengatakan bahwa apabila kandungan Mg tinggi di dalam tanah, maka nutrisi K terdapat dalam jumlah kecil. Kandungan Mg yang tinggi ini tidak dapat diuraikan secara sederhana dalam hal efek konsentrasinya yang dihasilkan dari lambatnya pertumbuhan, tetapi mungkin bermula langsung dari pengangkutan Mg pada tingkat nutrisi K rendah. Observasi ini cocok dengan penelitian yang dilakukan oleh Leggett dan Gilbert dalam Kirkby dan Mengel (1982), yang mengatakan bahwa pengangkutan Mg oleh tanaman kacang kedelai secara khusus tinggi ketika larutan nutrisi bebas dari K^+ . Walaupun tingkat nutrisi K yang tinggi sering menekan

pengangkutan total Mg, namun meningkatnya suplai K akan mempengaruhi penyerapan Mg oleh tanaman. Ion Mg^{2+} sangat aktif dalam floem dan dapat ditranslokasikan dari daun tua ke daun muda atau ke tunas (Stevcek dan Koontz; Schimansky dalam Kirkby dan Mengel, 1982).

3. Fungsi-fungsi Biokimia

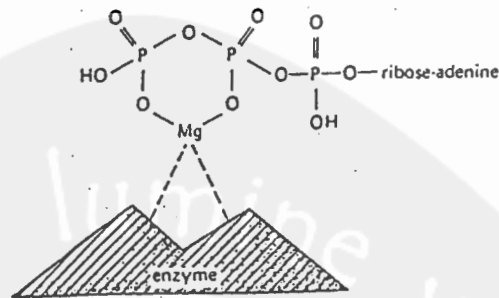
Dalam jaringan tanaman, proporsi total Mg yang sangat tinggi sering melebihi 70% dari bahan kering. Neales dalam Kirkby dan Mengel (1982), menguraikan tentang peranan Mg yang paling dikenal adalah keberadaannya di pusat klorofil (**gambar 1**).



Gambar 1. Molekul klorofil. Di dalam klorofil b gugus CH_3 disubstitusi oleh 4 gugus CHO . Keempat cincin pirol ditandai pada I, II, III dan IV. (Sumber: Kirkby dan Mengel, 1982)

Ion Mg^{2+} berfungsi dalam molekul klorofil. Salah satu peran Mg^{2+} adalah mengaktifkan enzim transfosforilase. Ion Mg^{2+} membentuk penghubung antara struktur pyrofosfat ATP dengan molekul enzim (**gambar 2**). Menurut Balke dan Hodges dalam Kirkby dan Mengel (1982), bahwa aktivasi (pengaktifan) ATP-ase oleh Mg^{2+} dikerjakan oleh fungsi penghubung Mg^{2+} ini. Selain memiliki fungsi-fungsi yang telah disebutkan sebelumnya, Mg^{2+} juga berfungsi sebagai

aktivator pada enzim fosfokinase, beberapa enzim dehidrogenase dan karboksilase bifosfat ribulosa.



Gambar 2. Magnesium penghubung antara ATP dengan molekul enzim

(Sumber: Salisbury dan Ross, 1995)

Umumnya bila tanaman kekurangan Mg, proporsi N-protein menurun dan N-non-protein meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa kekurangan Mg akan menghambat sintesis protein. Ion Mg^{2+} mampu menstabilkan partikel-partikel ribosom dalam konfigurasi yang diperlukan untuk sintesa protein dan diyakini mampu menstabilkan matriks nukleus (Header dan Mengel dalam Kirkby dan Mengel, 1982). Menurut Wunderlich dalam Kirkby dan Mengel (1982), mengatakan bahwa hal ini diperoleh dari pengaruh perubahan Mg^{2+} pada anion-anion tak terdifusi berdekatan. Transfer asil amino dari asil amino tRNA menjadi rantai polipeptida mungkin diaktifkan Mg^{2+} .

4. Kekurangan Mg

Gejala kekurangan Mg berbeda-beda tiap spesies tanaman walaupun ada beberapa karakteristik umum yang sama. Seperti yang telah dikatakan sebelumnya defisiensi Mg pertama kali diamati sebagai klorosis antara urat daun pada daun-daun tua, tetapi mungkin berlanjut mempengaruhi daun-daun yang lebih muda. Ion Mg^{2+}

bergerak dalam tanaman sehingga daun-daun tua terpengaruh lebih awal. Klorosis mulai pada pinggir daun dan ujung daun yang meluas ke bagian daun yaitu ke sel parenkim daun. Urat daun tetap hijau. Pada kasus yang parah terjadi nekrosis daun dan fase reproduktif tertunda. Daun-daun yang kekurangan Mg umumnya seringkali mati secara dini (Gardner dkk., 1991). Ditambahkan oleh Adisoemarto (1994), kadang-kadang terjadi pengguguran daun sebelum waktunya merupakan akibat dari kekurangan Mg. Pada tanaman kapas menghasilkan daun-daun yang merah agak lembayung dengan tulang-tulang daun hijau. Daun-daun sorgum dan jagung menjadi bergaris-garis, tulang daun tetap hijau tetapi daerah di antara tulang-tulang daun pada sorgum menjadi lembayung dan pada jagung menjadi kuning.

Pada biji-bijian dan tanaman monokotil, umumnya kekurangan Mg berlainan bentuknya. Pada tanaman dikotil, air dan metabolisme karbohidrat tanaman juga terpengaruh dan kekurangan Mg diawali dari daun yang tua menuju daun muda. Namun pada tumbuhan biji-bijian (misalnya pada kacang-kacangan) daun mula-mula memperlihatkan titik hijau tua sehingga wujud akumulasi klorofil yang ternyata berbeda dengan daerah latar belakangnya yang berwarna kuning pucat (Adisoemarto, 1994). Pada tahap berikutnya, daun menjadi mengelupas dan klorotik. Nekrosis terjadi di bagian ujung daun. Gejala yang sama terjadi pada gandum dan ketela rambat. Seiring usianya, daun ketela yang kekurangan Mg lebih banyak timbul bintik-bintik hijaunya. Lain halnya dengan tanaman kopi, kekurangan Mg akan mengakibatkan klorosis yang dimulai dari batang bagian bawah. Daunnya akan menguning mulai dari bagian ujung sedangkan tulang daun tetap berwarna hijau dan akhirnya akan mati (Anonim, 1974).

Pada daun, gejala defisiensi akan tampak bila kebutuhan akan Mg kurang dari 2 mg Mg/gr bahan kering, ini tergantung pada sejumlah spesies-spesies tanaman. Menurut Ward dan Miller dalam Kirkby dan Mengel (1982), gejala kekurangan Mg pada daun tomat dijumpai pada saat kandungan Mg turun di bawah 3 mg Mg/gr bahan kering. Tanaman yang kurang cukup mendapat suplai Mg sering memperlihatkan penundaan fase reproduktif.

Pada beberapa kasus, defisiensi Mg sering terjadi pada tanah yang mempunyai kandungan K yang tinggi. Draycott dan Durrat dalam Kirkby dan Mengel (1982), dalam percobaannya mengisyaratkan bahwa konsentrasi Mg sebesar 35 ppm di dalam tanah dan 0,4 mg Mg/gr bahan kering daun sebagai batas kritis dimana tanah tak lagi mempertinggi hasil. Dalam petunjuk buku yang diterbitkan oleh jasa pertanian Kerajaan Inggris, pemakaian Mg diperbolehkan bagi semua tanaman panen yang tumbuh pada tanah dengan kandungan Mg dibawah 25 ppm dan rentan bila kurang dari 50 ppm (NAAS dalam Kirkby dan Mengel, 1982). Pendapat lain menjelaskan bahwa kekurangan Mg ini dapat disebabkan oleh pH tanah yang terlalu rendah atau karena sifat antagonis dari unsur Kalium (Anonim, 1974).

Defisiensi Mg dalam biji-bijian selama pertumbuhan vegetatif berlangsung tidak selalu menimbulkan penurunan hasil panen. Gejala defisiensi tekanan hasil panen padi terjadi ketika gejala defisiensi Mg terjadi pada lembar daun (Pissarek dalam Kirkby dan Mengel, 1982).

C. Sulfur (S)

Sulfur adalah suatu hara makro, namun tanaman memerlukannya dalam jumlah yang jauh lebih sedikit dibandingkan N atau K. Jumlah S yang diperlukan oleh sebagian besar tanaman sebanding dengan keperluan untuk Mg. Unsur S yang diserap dalam bentuk SO_4^{2-} bila bergabung dengan Mg^{2+} menjadi MgSO_4 , maka akan terjadi hubungan sinergis karena kedua ion ini tergolong dalam unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman dalam pertumbuhannya. Konsentrasi S secara normal di dalam tanaman sebesar 0,1 % dari bahan kering (Rahayu, 1995). Ditambahkan oleh Adisoemarto (1994), bahwa di dalam tanaman S mudah bergerak dan gejala-gejala kekurangannya serupa dengan nitrogen. Tanaman menjadi kerdil dan warnanya hijau muda sampai kuning. Kekurangan S dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena dibutuhkan untuk peranan-peranan esensial berikut :

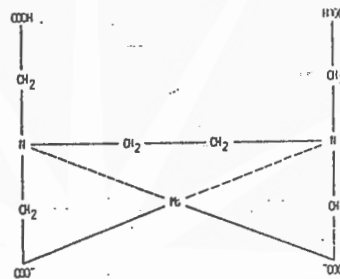
1. Komponen asam amino sistein dan metionin
2. Untuk sintesis klorofil
3. Pembentukan suatu ferredoksin yang mempunyai peranan penting dalam proses fotosintesis
4. Aktivitas nitrat reduktase.

Sumber S untuk tanaman adalah SO_4^{2-} anorganik, S organik merupakan sumber asli dari sebagian besar SO_4^{2-} yang digunakan tanaman. Ion SO_4^{2-} adalah bentuk S yang diambil tanaman. Sulfat sejauh ini merupakan garam berlogam yang paling umum, dan sifat-sifat fisiknya membuatnya sesuai untuk digunakan dengan pupuk campuran. Sulfat dalam bentuk SO_4^{2-} cukup *mobile* dan biasanya diberikan secara tebar dalam bentuk gipsum atau S teroksidasi ke bentuk SO_4^{2-} yang merupakan

Menurut Anonim (1990), EDTA memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Sebagai reagens dalam kimia analisis kuantitatif (kompleksometri), untuk menghilangkan kerak ketel yang umumnya berupa senyawa Ca dan Mg.
2. Digunakan untuk menawarkan logam berat yang bersifat racun.

Menurut Gardner (1991), unsur mikro secara alami membentuk khelat di tanah dan dengan molekul organik dalam tubuh tanaman mengakibatkan daya larut dan ketersediaannya yang lebih tinggi. Misalnya, klorofil adalah khelat-Mg; dan sitokrom C adalah khelat-Fe. Struktur kimia Mg-EDTA ditunjukkan pada gambar 4 :



Gambar 4. Struktur kimia Mg-EDTA
(Sumber : Gauch, 1972)

Terlihat dari strukturnya, EDTA mengandung donor atom elektron dari atom oksigen maupun donor dari atom nitrogen sehingga dapat menghasilkan khelat bercincin sampai dengan enam secara serempak. Apabila EDTA berikatan dengan Mg menjadi bentuk Mg-EDTA, maka khelat-Mg ini akan melepaskan Mg secara bertahap (perlahan-lahan) disesuaikan dengan kebutuhan organ tanaman.

F. Nitrat Reduktase

Nitrat Reduktase (NR) merupakan enzim yang terletak dalam membran luar kloroplas. Enzim ini berperan dalam tahap awal asimilasi N (Noggle dan Fritz, 1989). Enzim NR banyak diteliti para ahli terutama dalam hubungannya dengan daya hasil reproduksi. Enzim tersebut digunakan dalam seleksi tanaman produksi (Hartiko, 1983). Nitrat Reduktase merupakan enzim pokok dalam metabolisme tumbuhan tingkat tinggi dan nitrat merupakan unsur sumber nitrogen yang paling banyak tersedia dalam tanah (Noggle dan Fritz, 1989).

Tanaman menyerap nitrogen dalam dua bentuk utama yaitu nitrat (NO_3^-) dan ammonium (NH_4^+) (Bidwell, 1979). Nitrat diserap dalam jumlah banyak sedangkan amonium hanya banyak diserap apabila berlangsung fiksasi N atau pada tanah basah dan anaerob. Nitrat terserap secara tidak langsung tetapi direduksi menjadi nitrit (NO_2^-) dan membentuk beberapa senyawa antara yang segera berubah menjadi NH_4^+ tanaman (Devlin, 1975), sedangkan menurut Noggle dan Fritz (1989), reduksi nitrat menjadi nitrit yang kemudian menjadi amonium merupakan reaksi awal dari metabolisme N oleh tanaman.

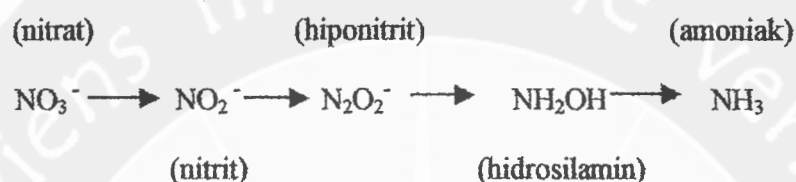
Nitrat reduktase adalah suatu metalloflavoprotein, yaitu suatu kompleks protein dengan senyawa flavin dan logam merupakan gugus prostetiknya. Senyawa flavin tersebut adalah Flavin Adenin Dinukleotida (FAD), logam yang bertindak sebagai bagian enzim adalah molybdenum (Mo) (Devlin, 1975).

Secara lebih lanjut peranan NR adalah mengkatalisis perubahan nitrat menjadi nitrit dalam rangkaian reaksi untuk pembentukan asam amino. Reduksi nitrat menjadi amoniak berlangsung melalui 2 tahap yaitu:

a. Tahap I : Reduksi nitrat menjadi nitrit dengan katalisator enzim nitrat reduktase

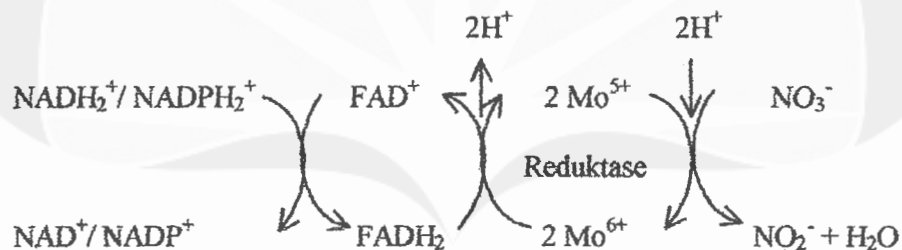
b. Tahap II : Nitrit menjadi hiponitrit yang kemudian direduksi lagi menjadi hidrosilamin. Hidrosilamin akan diubah menjadi amoniak oleh enzim nitrit reduktase (Noggle dan Fritz, 1989; Bidwell, 1979).

Secara ringkas reaksinya dapat digambarkan pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Reaksi reduksi nitrat menjadi amoniak
(Sumber: Bidwell, 1979)

Lintasan elektronnya dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Lintasan elektron reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit
(Sumber: Bidwell, 1979)

Pereduksi NADPH/ NADH pada gambar 6 berfungsi sebagai elektron donor, FAD sebagai gugus prostetik dan Mo sebagai aktivator. Elektron donor diperoleh dari NADPH/ NADH ke FAD menghasilkan FADH₂, yang meneruskan elektron ke Mo dan dari Mo elektron diteruskan ke nitrat dan mengubahnya menjadi nitrit (Beever dan Hageman, 1969). Reaksi tersebut dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit
(Sumber: Noggle dan Fritz, 1989)

Aktivitas NR daun dinyatakan dalam μ mol Nitrit/gr jaringan bahan tiap jam atau banyaknya μ mol NO_2^- per luas daun (cm^2) per waktu (jam), atau jumlah μ mol NO_2^- per berat basah (mg) per waktu (jam) (Hartiko, 1983). Aktivitas NR dipengaruhi faktor luar dan dalam. Faktor luar adalah nutrisi, temperatur, air, kekeringan, pH dan sinar matahari. Faktor dalam berupa : jenis tanaman, energi pereduksi yang berasal dari fotosintesis dan respirasi, hormon sebagai pengatur pertumbuhan, struktur anatomi tanaman dan umur tanaman.

Ditambahkan oleh Hartiko (1983), NR merupakan enzim yang labil dan aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Hubungan ANR daun pada umur muda dengan daya hasil pada umur produksi tidak konsisten. Pada umur muda ANR akan meningkat mencapai maksimal dan mengalami penurunan pada saat tanaman memasuki fase penuaan.

Menurut Salisbury dan Ross (1995) bahwa sebagian reduksi NO_3^- terjadi di tempat berlangsungnya sebagian besar aktivitas nitrat reduktase yaitu akar terutama pada daun. Ditambahkan Gardner dkk. (1991), tanaman sayuran budidaya tertentu seperti bayam dan anggota-anggota keluarga *Chenopodiaceae* terbukti kehilangan kapasitas nitrat pada akarnya dan mungkin menimbun nitrat dalam jumlah besar dalam daun.

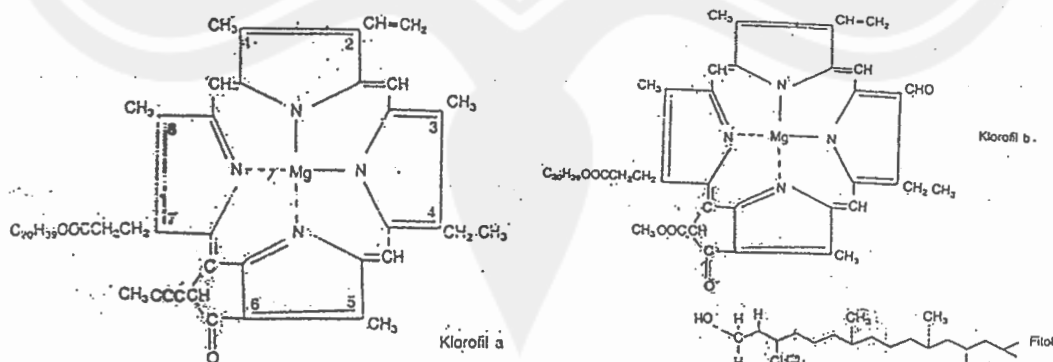
G. Klorofil

Klorofil adalah katalisator fotosintesis yang penting dan terdapat sebagai pigmen hijau dalam semua jaringan tumbuhan. Klorofil terdapat pada kloroplas dalam jumlah relatif banyak dan sering terikat dengan protein tetapi mudah diekstraksi dengan pelarut lipid seperti aseton dan eter. Dengan adanya klorofil dapat dibentuk zat-zat organik yang selanjutnya dapat diubah menjadi bahan-bahan yang digunakan sebagai penyusum bagian-bagian tanaman (Harborne, 1987).

Klorofil terdapat sebagai butir-butir hijau di dalam kloroplas. Umumnya kloroplas berbentuk oval, bahan dasarnya disebut stroma sedang butir-butir yang terkandung di dalamnya disebut grana. Pada tanaman tingkat tinggi ada 2 macam klorofil yaitu:

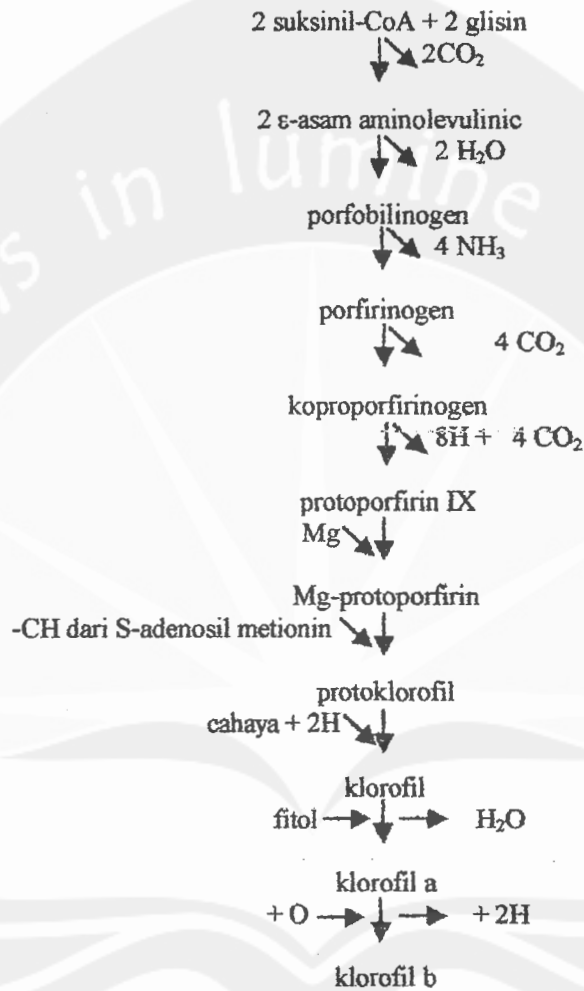
1. Klorofil-a = $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$; berwarna hijau tua
2. Klorofil-b = $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$; berwarna hijau muda (Dwidjoseputro, 1994).

Rumus bangunnya berupa suatu cincin yang terdiri atas 4 cincin pirol dengan Mg sebagai inti seperti yang tertera dalam gambar 6.



Gambar 6. Rumus bangun klorofil a dan klorofil b
(Sumber: Winarno, 1992)

Menurut Bidwell (1979), bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kadar klorofil adalah ion Mg^{2+} , cahaya matahari dan adanya proton ($2H$). Terjadinya proses sintesis pada klorofil ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Sintesis klorofil
(Sumber : Bidwell, 1979)