

Karakter Morfo-Fisiologi Daun, Penciri Adaptasi Kedelai terhadap Intensitas Cahaya Rendah¹⁾

Leaf Morpho-Physiological Characters, markers for adaptation of Soybean to Low Light Intensity

Kisman^{2*}, Nurul Khumaida³, Trikoesoemaningtyas³, Sobir³, dan Didy Sopandie³

Diterima 2 Februari 2007/Disetujui 8 Mei 2007

ABSTRACT

The main objective of this study was to identify the leaf morpho-physiological characters as markers for adaptation of soybean to low light intensity. The field experiment was conducted using split plot design with 3 replications. First factor was soybean genotype consisted of shade tolerant genotypes (Ceneng, Pangrango) and sensitive genotypes (Godek, Slamet). Second factor was low light intensity consisted of: L0 = control (under full sun light), L1 = 5 days under 50% shading (exposed after 21 days after planting/DAP), L2 = 5 days under dark condition (exposed after 21 DAP), L3 = 3 days 50% shading + 5 days sun light (exposed after 18 DAP), dan L4 = 3 days 50% shading + 3 days sun light + 5 day dark conditions (exposed after 15 DAP). The 50% shading was made artificially using black plastic paranet with 50% light transmitted. Results of this study showed that under the conditions of low light intensity, leaf morpho-physiological characters of soybean that could be used as markers for adaptation were leaf area, specific leaf weight, and chlorophyll content. Leaves of shade tolerant genotypes were wider and thinner and also contained higher chlorophyll especially for chlorophyll b than that of shade sensitive genotypes under low light intensity.

Key words : Low light intensity, tolerant genotype, leaf area, chlorophyll, specific leaf weight.

PENDAHULUAN

Pengembangan tanaman kedelai sebagai tanaman sela di bawah tegakan karet, hutan tanaman industri (HTI), atau tumpang sari dengan tanaman pangan semusim lain merupakan alternatif andalan untuk meningkatkan produksi kedelai nasional. Hanya saja kendala utama pengembangan kedelai sebagai tanaman sela atau tumpangsari tersebut adalah rendahnya intensitas cahaya akibat faktor naungan. Rata-rata intensitas cahaya berkurang 25-50% di bawah tegakan karet berumur 2-3 tahun (Chozin *et al.*, 1999), sedangkan pada tumpangsari dengan jagung berkurang 33% (Asadi *et al.*, 1997) dari rata-rata intensitas cahaya di lingkungan terbuka 800 kal/cm²/hari. Menurut Handayani (2003), cekaman naungan 50% menyebabkan hasil per hektar tanaman kedelai menurun 10-40%. Oleh karena itu, diperlukan genotipe atau varietas baru kedelai yang mampu beradaptasi dan berproduksi tinggi pada lingkungan tercekam naungan.

Agar mampu beradaptasi pada lingkungan intensitas cahaya rendah, tanaman mengalami berbagai perubahan pada tingkat molekuler, biokimia, anatomi, morfologi, fisiologi, dan agronomi (Sopandie *et al.*, 2001; Khumaida, 2002; Juraimi *et al.*, 2004). Pada tanaman padi gogo, dilaporkan bahwa beberapa karakter anatomi, morfologi, fisiologi dan biokimia (klorofil,

karoten, karbohidrat, enzim rubisco) terkait erat dengan efisiensi fotosintesis. Selain itu terdapat perbedaan yang jelas antara genotipe toleran dan peka dalam mekanisme adaptasinya terhadap naungan, seperti pada kandungan klorofil, luas daun dan ketebalan daun (Sopandie *et al.*, 2001, 2003a, 2003b; Khumaida, 2002; Soverda, 2002; Lautt, 2003). Pada tanaman kedelai beberapa karakter yang dapat dijadikan marka atau penciri genotipe toleran dan peka naungan masih belum banyak dilaporkan.

Pada kebanyakan tanaman, kemampuan tanaman dalam mengatasi cekaman intensitas cahaya rendah tergantung kepada kemampuannya melanjutkan fotosintesis dalam kondisi kekurangan cahaya, sebagaimana dilaporkan beberapa peneliti sebelumnya. Hale dan Orcutt (1987) menjelaskan bahwa adaptasi tanaman terhadap intensitas cahaya rendah melalui dua cara, yaitu: (a) peningkatan luas daun untuk mengurangi penggunaan metabolit, dan (b) mengurangi jumlah cahaya yang ditransmisikan dan yang direfleksikan. Levitt (1980) menggolongkan adaptasi tanaman terhadap naungan melalui dua mekanisme: mekanisme penghindaran (*avoidance*) dan mekanisme toleransi (*tolerance*). Mekanisme penghindaran berkaitan dengan perubahan anatomi dan morfologi daun untuk memaksimalkan penangkapan cahaya dan fotosintesis yang efisien, seperti peningkatan luas daun dan

¹⁾ Bagian dari disertasi penulis pertama pada PS Agronomi Sekolah Pascasarjana IPB

²⁾ Fakultas Pertanian Universitas Mataram, e-mail : kismanm@yahoo.com (*Penulis untuk korespondensi)

³⁾ Staf Pengajar Departemen Agronomi dan Hortikultura, Faperta IPB

kandungan klorofil b, serta penurunan tebal daun, rasio klorofil a/b, jumlah kutikula, lilin, bulu daun, dan pigmen antosianin. Walter *et al.* (1999) melaporkan, pengaturan jumlah klorofil b pada Arabidopsis terjadi melalui peningkatan jumlah kloroplas per sel dan/atau per satuan luas daun. Aklimatisasi kloroplas ini kadang-kadang digolongkan '*shade tolerance*'. Mekanisme toleransi (*tolerance*) berkaitan dengan penurunan titik kompensasi cahaya serta respirasi yang efisien. Tanaman naungan ditandai dengan rendahnya titik kompensasi cahaya sehingga dapat mengakumulasi produk fotosintat pada tingkat cahaya yang rendah dibanding tanaman cahaya penuh (Levitt, 1980).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter morfo-fisiologi daun yang dapat dijadikan sebagai penciri adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah.

BAHAN DAN METODE

Bahan tanaman yang digunakan adalah genotipe toleran (Ceneng, Pangrango) dan genotipe peka (Godek, Slamet) (Sopandie *et al.*, 2002). Persiapan tanaman dilakukan di Kebun Percobaan Balai Besar Bioteknologi Tanaman dan Sumberdaya Genetik, Cikeumeuh, Bogor mulai Agustus – Oktober 2005.

Percobaan dilakukan menggunakan Rancangan petak terpisah dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah genotipe kedelai terdiri atas genotipe toleran naungan (Ceneng, Pangrango) dan genotipe peka (Godek, Slamet). Faktor kedua adalah intensitas cahaya yang terdiri atas: L0 = kontrol (tanaman dibiarkan tumbuh pada cahaya 100%), L1 = 5 hari naungan 50% (setelah tanaman berumur 21 HST), L2 = 5 hari gelap total (setelah tanaman berumur 21 HST), L3 = 3 hari naungan 50% + 5 hari cahaya 100% (setelah tanaman berumur 18 HST), dan L4 = 3 hari naungan 50% + 3 hari cahaya 100% + 5 hari gelap total (setelah tanaman berumur 15 HST). Sebelum diberikan perlakuan cahaya, bibit kedelai ditanam pada polibag berdiameter 15 cm dan ditumbuhkan pada kondisi cahaya penuh.

Tiap polibag berisi 8 kg tanah dan ditanam 3-4 benih kedelai kemudian dibiarkan 2 tanaman sehat per polibag. Sebelum ditanami, tiap polibag ditaburi sekitar 0.03 g Furadan 3G. Pemupukan 0.3 g urea, 1 g SP-36, dan 1 g KCl tiap polibag setara 30 kg urea/ha, 100 kg SP-36/ha dan 100 kg KCl/ha diberikan setelah bibit berumur satu minggu setelah tanam. Kondisi naungan buatan 50% dibuat dengan memasang paranet hitam 50% pada semua sisi rangka naungan yang berukuran 20 x 10 meter dengan tinggi sungkupan 2 meter.

Karakter morfo-fisiologi daun yang diamati meliputi: luas daun trifoliat, bobot daun spesifik (BDS), kandungan klorofil a, klorofil b, rasio klorofil a/b, dan kandungan antosianin. Sampel daun adalah daun yang telah membuka sempurna (ke 2 dan 3 dari pucuk) dipanen secara bersamaan dari semua perlakuan pada umur tanaman 26 HST.

Pengamatan luas daun trifoliat dan bobot daun dspeisifik (BDS) dilakukan menggunakan leaf area meter, sedangkan BSD yang mengindikasikan ketebalan daun, dihitung dengan cara membagi berat kering daun dengan luas daun, dilakukan di lab Ekofisiologi IPB. Analisis kandungan klorofil mengikuti prosedur Richardson *et al.* (2002) yang merupakan perbaikan metode Arnon (1949) dan antosianin menggunakan metode Metanol 1% HCl (Sims, 2003), merupakan penyempurnaan metode yang digunakan Lees dan Francis (1982), dilakukan di lab RGCI IPB

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan prosedur Anova dilanjutkan dengan uji LSD dengan taraf nyata 5%. Analisis dilakukan menggunakan program SAS dan Minitab versi 13.30.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Daun dan Bobot Spesifik Daun

Daun merupakan organ fotosintetik utama bagi tanaman yang secara langsung terlibat dalam proses penangkapan cahaya dan perubahan energi cahaya menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Pada kondisi lingkungan cahaya kurang, diperlukan morfologi daun yang lebar dan tipis untuk dapat menangkap cahaya sebanyak mungkin dengan cahaya yang direfleksikan serendah mungkin.

Hasil penelitian (Tabel 1) menunjukkan bahwa rata-rata luas daun genotipe toleran (Ceneng dan Pangrango) lebih tinggi dari pada genotipe peka (terutama Godek) pada semua kondisi cekaman intensitas cahaya rendah. Pemberian kondisi naungan (L1), recoveri (L3) dan on/of (L4) meningkatkan luas daun sampai 143% dibanding kontrol. Peningkatan luas daun pada genotipe toleran lebih besar dibanding genotipe peka. Sedangkan pemberian kondisi 5 hari gelap total (L2), pertambahan luas daun pada genotipe peka lebih terhambat dibanding genotipe toleran. Sebaliknya rata-rata bobot spesifik daun yang mencerminkan ketebalan daun lebih rendah pada genotipe toleran dari pada genotipe peka terutama pada kondisi 5 hari naungan 50% (L1). Penurunan bobot spesifik daun pada genotipe toleran cenderung lebih besar dibanding genotipe peka, artinya daun genotipe toleran lebih tipis dari pada genotipe peka.

Tabel 1. Rata-rata luas daun dan bobot spesifik daun beberapa genotipe kedelai pada berbagai intensitas cahaya rendah

Genotipe	Intensitas Cahaya Rendah				
	L0	L1	L2	L3	L4
Luas daun (cm ²)					
Ceneng	11.593 a	14.364 a	9.549 a	16.080 a	16.590 a
Pangrango	11.817 a	14.430 a	9.080 a	15.944 a	16.457 a
Godek	10.617 a	11.220 c	7.300 b	12.903 b	12.777 b
Slamet	11.740 a	13.067 b	8.497 ab	15.977 a	16.073 a
Bobot daun spesifik (mg/cm ²)					
Ceneng	4.053 a	2.548 b	2.404 a	3.988 a	2.827 a
Pangrango	4.217 a	2.590 b	2.618 a	4.125 a	3.225 a
Godek	4.126 a	3.121 a	2.542 a	4.369 a	3.223 a
Slamet	4.420 a	3.217 a	2.505 a	4.049 a	3.104 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan peubah yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT 5%). L0 = kontrol (cahaya 100%), L1 = 5 hari naungan 50%, L2 = 5 hari gelap total, L3 = 3 hari naungan 50% + 5 hari cahaya 100%, L4 = 3 hari naungan 50% + 3 hari cahaya 100% + 5 hari gelap total.

Daun yang lebar dan tipis memungkinkan penangkapan cahaya lebih banyak dan diteruskan ke bagian daun yang lebih bawah dengan cepat sehingga kegiatan fotosintesis berlangsung maksimal. Pada genotipe padi gogo dan kedelai toleran naungan (Khumaida 2002; Sopandie *et al.* 2003a, 2003b), terjadi pengurangan lapisan palisade yang lebih besar akibat cekaman naungan dibanding genotipe peka, menyebabkan daun menjadi lebih tipis. Perubahan karakter tersebut diduga merupakan bentuk mekanisme penghindaran terhadap cahaya rendah. Sebagaimana Evans dan Poorter (2001) menjelaskan respon menghindar (*shade avoidance response*) tanaman yang mengalami cekaman intensitas cahaya rendah dilakukan dengan memaksimalkan penangkapan cahaya dengan cara perubahan anatomi dan morfologi daun untuk fotosintesis yang efisien, yaitu daun tanaman yang ternaungi menjadi lebih tipis dan luas permukaan daun menjadi lebih lebar sehingga jaringan pemanen cahaya menjadi lebih lebar. Menurut Taiz dan Zeiger (1991);

Khumaida (2002), penipisan daun disebabkan oleh berkurangnya lapisan palisade pada sel mesofil daun.

Kandungan Klorofil Daun

Rata-rata kandungan klorofil dan rasio klorofil a/b selama kondisi cekaman intensitas cahaya rendah menunjukkan rata-rata klorofil a, b dan total lebih tinggi dan sebaliknya rasio klorofil a/b lebih rendah pada genotipe toleran dibanding genotipe peka. Dibanding tanaman kontrol, selama cekaman naungan 50% terjadi peningkatan klorofil b yang cukup besar pada genotipe toleran terutama selama 5 hari naungan (L1). Peningkatan klorofil b tersebut lebih cepat dibanding peningkatan klorofil a dan hal ini menyebabkan rendahnya rasio klorofil a/b pada genotipe toleran. Sebaliknya penurunan kandungan klorofil terjadi pada kondisi 5 hari gelap total (L2) dan on/of (L4) dengan penurunan yang tajam terjadi pada genotipe peka (Tabel 2).

Tabel 2. Respon kandungan klorofil a, klorofil b, klorofil total dan rasio klorofil a/b beberapa genotipe kedelai terhadap berbagai intensitas cahaya rendah

Genotipe	Intensitas Cahaya Rendah				
	L0	L1	L2	L3	L4
Klorofil a (mg/g bobot basah)					
Ceneng	1.650 a	1.656 a	0.850 a	1.898 a	1.119 a
Pangrango	1.580 a	1.601 ab	0.805 b	1.785 a	0.996 b
Godek	1.446 b	1.480 b	0.377 d	1.583 b	0.479 d
Slamet	1.457 b	1.472 b	0.520 c	1.586 b	0.678 c
Klorofil b (mg/g bobot basah)					
Ceneng	0.490 a	0.881 a	0.428 a	0.759 a	0.450 a
Pangrango	0.491 a	0.743 b	0.420 a	0.718 a	0.414 b
Godek	0.475 a	0.550 c	0.225 c	0.526 b	0.273 d
Slamet	0.464 a	0.508 c	0.283 b	0.527 b	0.379 c

Tabel 2. (Lanjutan)

Genotipe	Intensitas Cahaya Rendah				
	L0	L1	L2	L3	L4
Klorofil b (mg/g bobot basah)					
Ceneng	0.490 a	0.881 a	0.428 a	0.759 a	0.450 a
Pangrango	0.491 a	0.743 b	0.420 a	0.718 a	0.414 b
Godek	0.475 a	0.550 c	0.225 c	0.526 b	0.273 d
Slamet	0.464 a	0.508 c	0.283 b	0.527 b	0.379 c
Klorofil total (mg/g bobot basah)					
Ceneng	2.140 a	2.536 a	1.278 a	2.656 a	1.484 a
Pangrango	2.071 a	2.343 b	1.224 b	2.502 b	1.334 b
Godek	1.921 b	2.030 c	0.601 d	2.108 c	0.708 d
Slamet	1.920 b	1.979 c	0.803 c	2.112 c	0.994 c
Rasio klorofil a/b					
Ceneng	3.377 a	1.885 b	1.985 a	2.502 b	2.489 a
Pangrango	3.232 a	2.155 b	1.916 a	2.488 b	2.407 a
Godek	3.043 a	2.705 a	1.680 b	3.014 a	1.759 b
Slamet	3.140 a	2.904 a	1.844 ab	3.022 a	1.794 b

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan peubah yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT 5%). L0 = kontrol (cahaya 100%), L1 = 5 hari naungan 50%, L2 = 5 hari gelap total, L3 = 3 hari naungan 50% + 5 hari cahaya 100%, L4 = 3 hari naungan 50% + 3 hari cahaya 100% + 5 hari gelap total.

Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan Khumaida (2002); Handayani (2003); Lauth (2003); Jufri (2006); Sopandie *et al.* (2006); Muhuria (2007) bahwa pada kondisi cekaman cahaya rendah, genotipe toleran memiliki kandungan klorofil terutama klorofil b yang lebih tinggi dan rasio klorofil a/b yang lebih rendah daripada genotipe peka. Hidema *et al.* (1992) melaporkan bahwa intensitas cahaya rendah pada tanaman padi menurunkan nisbah klorofil a/b, karena adanya peningkatan klorofil b. Dilaporkan pula oleh Neidhardt *et al.* (1998), ketika sel *D. salina* dipindahkan ke kondisi intensitas cahaya rendah (LL), maka seketika itu terjadi peningkatan ukuran antena klorofil yang disertai peningkatan sel klorofil, apoprotein LHC dan penurunan rasio klorofil a/b akibat terakumulasinya klorofil b. Peningkatan klorofil b terkait dengan peningkatan *light harvesting chlorophyll a/b protein* fotosistem II (LHCIIb). Karena sebagian besar klorofil b merupakan komponen pemanenan cahaya dari PSII, maka perubahan rasio klorofil a/b mencerminkan perubahan pada jumlah kompleks pemanen cahaya (LHC) pada PSII dan PSI. Hal senada juga banyak dibahas oleh Bailey *et al.* (2004) tentang aklimatisasi Arabidopsis terhadap cahaya tinggi dan rendah. Hal senada juga dilaporkan Khumaida (2002) bahwa genotipe kedelai toleran naungan memiliki kapasitas penangkapan cahaya yang lebih besar dari pada genotipe peka karena memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam mengkonversi klorofil a menjadi klorofil b. Park *et al.* (1996) menyatakan bahwa PSII merupakan kompleks aparatus fotosintetik yang paling peka (*vulnerable*) terhadap stres cahaya. Perilaku PSII sangat

ditentukan oleh dosis foton atau intensitas cahaya yang diterima.

Mengetahui respon klorofil terhadap intensitas cahaya rendah ini penting mengingat klorofil a dan klorofil b merupakan komponen kompleks antena perifer kloroplas, yang responnya ditentukan oleh kondisi cahaya yang diterima sebagai bentuk atau mekanisme adaptasi tanaman. Hidema *et al.* (1992) menyatakan bahwa peningkatan *antenna size* untuk PSII ini dapat meningkatkan efisiensi pemanenan cahaya. Ketika tanaman mendapatkan intensitas cahaya rendah, maka kloroplas akan bergerak ke permukaan luar untuk memaksimalkan penyerapan cahaya. Menurut Salisbury dan Ross (1992), intensitas cahaya rendah terbukti mempengaruhi orientasi kloroplas tanaman. Pada intensitas cahaya rendah kloroplas akan mengumpul pada dua bagian, yaitu pada kedua sisi dinding sel terdekat dan terjauh dari cahaya. Hal ini menyebabkan warna daun pada tanaman ternaungi lebih hijau dari yang mendapat cahaya penuh. Park *et al.* (1996) juga menyatakan kloroplas berpindah di dalam sel daun sebagai bentuk tanggapnya terhadap intensitas dan arah dari cahaya yang diterima. Intensitas cahaya rendah menyebabkan terjadi peningkatan jumlah kloroplas per sel, volume kloroplas dan membran tilakoid serta grana (*stack granum*), seperti pada *Gusmania monostachia* (Maxwell *et al.* 1999). Hal penelitian yang sama juga dilaporkan dari tanaman Arabidopsis (Weston *et al.* 2000) dan wortel (*Daucus carota*) (Sato-Naro *et al.* 2004). Walter *et al.* (1999) menyebut aklimasi kloroplas ini sebagai mekanisme toleransi terhadap naungan ‘*shade tolerance*’. Linchtenthaler dan Burkart (1999)

juga mendiskripsikan kloroplas daun tanaman yang ternaungi sebagai berikut: jumlah tilakoid yang lebih besar per kloroplas, stack grana yang lebih besar, tingkat stacking grana yang lebih tinggi, tilakoid yang tertekan (*appressed*), jumlah LHCP yang banyak, rasio klorofil a/b yang rendah, tidak mengandung pati, sedikit plastoglobuli yang berukuran kecil, jumlah klorofil total yang lebih besar per kloroplas.

Selama lima hari gelap total, baik pada perlakuan langsung gelap (L2) atau on/of naungan/cahaya/gelap (L4), kandungan klorofil (klorofil a, b, total) jauh lebih tinggi pada genotipe toleran dibanding genotipe peka (Tabel 2). Hal senada juga dilaporkan oleh Khumaida (2002); Sopandie *et al.* (2003a). Pada padi gogo toleran juga dilaporkan kandungan klorofil a dan b lebih tinggi dibanding genotipe peka (Sopandie *et al.* 2003b). Fenomena ini diduga merupakan cerminan kekuatan melawan degradasi klorofil dan ini sangat penting bagi daya adaptasi terhadap naungan, yaitu dengan meningkatkan jumlah kloroplas per luas daun (Hale dan Orchut, 1987) dan dengan peningkatan jumlah klorofil pada kloroplas.

Kondisi gelap total merupakan faktor umum yang menjadi pemicu (*induser*) dari fenomena senesen. Senesen dicirikan dengan daun menjadi kuning atau pucat, terjadi degradasi protein yang mengikat klorofil a/b, total klorofil dan protein yang berkurang, dan umumnya perkembangannya terhenti pada kondisi gelap (Weaver dan Amasino, 2001). Tyas (2006) dalam penelitiannya menggunakan TEM (*transmission electron microscope*) melaporkan bahwa kloroplas kedelai peka naungan ‘Godek’ mengalami degradasi membran yang lebih parah pada kondisi gelap dibanding genotipe toleran ‘Ceneng’. Pemberian kondisi lima hari gelap ini terlihat sangat efektif untuk menapis genotipe toleran dan genotipe peka intensitas cahaya

rendah. Hasil ini sesuai dengan yang direkomendasikan Sopandie *et al.* (2003c) pada penelitian ‘efektifitas uji cepat ruang gelap untuk seleksi ketenggangan terhadap naungan pada padi gogo’.

Kandungan Antosianin

Antosianin merupakan pigmen larut air, pigmen non kloroplas, yang dihasilkan melalui lintasan flavonoid di dalam sitoplasma, berwarna merah/purple, biasa dijumpai pada bunga, buah, dan daun. Fungsi antosianin selain memikat serangga atau hewan untuk penyerbukan, penyebaran biji, juga sebagai antioksidan dan melindungi DNA dan aparatus fotosintesis dari cahaya tinggi. Selain itu fungsi antosianin adalah melindungi tanaman dari cekaman dingin, kekeringan, intensitas cahaya rendah (Chalker-Scott 1999; Gould 2004). Namun demikian hipotesis Levitt (1980) menyatakan bahwa penurunan antosianin pada kondisi defisit cahaya merupakan salah satu mekanisme avoidance yang dilakukan tanaman.

Disajikan pada Tabel 3 bahwa penurunan nyata kandungan antosianin terjadi pada genotipe toleran (Ceneng dan Pangrango) pada kondisi gelap total baik yang dikondisikan langsung (L2) maupun melalui on/of gelap (L4). Hal ini diduga merupakan salah satu bentuk adaptasi tanaman yaitu dengan segera menghentikan sintesis antosianin untuk memanfaatkan energi lebih efisien. Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan Kawabata *et al.* (1999) pada lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) bahwa intensitas cahaya rendah dapat mengurangi kandungan antosianin total. Levitt (1980) menjelaskan pengurangan kandungan antosianin pada kondisi defisit cahaya merupakan salah satu bentuk respon penghindaran tanaman.

Tabel 3. Respon kandungan antosianin beberapa genotipe kedelai terhadap berbagai intensitas cahaya rendah

Genotipe	Intensitas Cahaya Rendah				
	L0	L1	L2	L3	L4
Antosianin (µmol/g)					
Ceneng	0.250 a	0.201 a	0.058 b	0.246 a	0.068 c
Pangrango	0.248 a	0.200 a	0.069 b	0.237 a	0.076 bc
Godek	0.199 a	0.150 a	0.103 a	0.192 a	0.108 ab
Slamet	0.190 a	0.175 a	0.100 a	0.194 a	0.109 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Beda Nyata Terkecil (BNT 5%). L0 = kontrol (cahaya 100%), L1 = 5 hari naungan 50%, L2 = 5 hari gelap total, L3 = 3 hari naungan 50% + 5 hari cahaya 100%, L4 = 3 hari naungan 50% + 3 hari cahaya 100% + 5 hari gelap total.

Pada kondisi cahaya penuh (kontrol, L0), recoveri (L3) dan 5 hari naungan 50% ada kecenderungan kandungan antosianin lebih tinggi pada genotipe toleran dibanding genotipe peka. Fenomena ini mengindikasikan bahwa kondisi cekaman 5 hari naungan

50% masih belum merupakan cekaman berat bagi kedelai toleran. Dengan demikian kandungan antosianin dapat digunakan sebagai salah satu indikator tingkat cekaman intensitas cahaya rendah terhadap tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakter morfologi dan fisiologi daun yang dapat dijadikan sebagai penciri adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah adalah karakter luas daun, bobot spesifik daun, dan kandungan klorofil.
2. Daun kedelai genotipe toleran lebih luas dan lebih tipis dibanding daun genotipe peka pada intensitas cahaya rendah.
3. Kandungan klorofil terutama klorofil b lebih tinggi pada kedelai genotipe toleran dari pada genotipe peka pada kondisi intensitas cahaya rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
- Asadi, B., D.M. Arsyad, H. Zahara, Darmijati. 1997. Pemuliaan kedelai untuk toleran naungan. Buletin Agrobio. 1:15-20.
- Bailey, S., P. Horton, R.G. Walter. 2004. Acclimation of *Arabidopsis thaliana* to the light environment: the relationship between photosynthetic function and chloroplast composition. Planta. 218:793-802.
- Chalker-Scott, L. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress response. Photochem and Photobiol. 70:1-9.
- Chozin, M.A., D. Sopandie, S. Sastrosumajo, Sumarno. 1999. Physiology and Genetic of Upland Rice Adaptation to Shade. Final Report of Graduate Tem Research Grant, URGE Project. Directorate General of Higher Education, Ministry of Education and Culture.
- Evans, J.R., H. Poorter. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. Plant Cell Environ. 24:755-767.
- Gould, K.S. 2004. Nature's swiss army knife: The diverse protective roles of anthocyanins in leaves. J Biomed Biotechnol. 2004:314-320
- Hale, M.G., D.M. Orcutt. 1987. The Physiology of Plants under Stress. John Wiley and Sons, New York. 206 hal.
- Handayani, T. 2003. Pola pewarisan sifat toleran terhadap intensitas cahaya rendah pada kedelai (*Glycine max* L. Merr) dengan penciri spesifik karakter anatomi, morfologi dan molekuler [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 175h.
- Hidema, J., A. Makino, Y. Kurita, T. Mae, K. Ohjima. 1992. Changes in the level of chlorophyll a/b protein of PSII in rice leaves agent under different irradiances from full expansion through senescence. Plant Cell Physiol. 33: 1209-1214.
- Jufri, A. 2006. Mekanisme adaptasi kedelai terhadap cekaman intensitas cahaya rendah. [Disertasi]. Bogor. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 167h.
- Juraimi, A.S., D.S.H. Drennan, N. Anuar. 2004. The effects of shading on the growth, development and partitioning of biomass in bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). J Biol Sci. 4:756-762.
- Kawabata, S., Y. Kusuhara, Y. Li, R. Sakiyama. 1999. The regulation of anthocyanin biosynthesis in *Eustoma grandiflorum* under low light condition. <http://www.paper.edu.cn>.
- Khumaida, N. 2002. Studies on adaptability of soybean and upland rice to shade stress [dissertation]. Tokyo: The University of Tokyo. 98h.
- Lautt, B.S. 2003. Fisiologi toleransi padi gogo terhadap naungan: tinjauan karakteristik fotosintesis dan respirasi. [Disertasi]. Bogor. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 109h.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress. 2nd Edition. New York : Academic Press. 606 hal.
- Lichtenthaler, H.K., S. Burkart. 1999. Photosynthesis and high light stress. Bulg J Plant Physiol. 25:3-16.
- Maxwell, K.L., L.M. Joanne, M.L. Rachel, G. Howard, H. Peter. 1999. Chloroplast acclimation in leaves *Guzmania monostachia* in response to high light. Plant Physiol. 121:89-95.
- Muhuria, L. 2007. Mekanisme fisiologi dan pewarisan sifat toleransi kedelai (*Glycine max* L. Merrill) terhadap intensitas cahaya rendah [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 163h.
- Neidhardt, J., J.R. Benemann, L. Zhang, A. Melis. 1998. Photosystem II repair and chloroplast recovery

- from irradiance stress: relationship between chronic photoinhibition, light-harvesting chlorophyll antenna size and photosynthetic productivity in *Dunaliella salina* (green algae). Photosynth Res. 56:175-184.
- Park, Y.I., W.S. Chow, J.M. Anderson. 1996. Chloroplast movement in the shade plant *Tradescantia albiflora* helps protect photosystem II against light stress. Plant Physiol. 111:867-875
- Richardson, A.D., S.P. Duigan, G.P. Berlyn. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytol. 153:185–194.
- Salisbury, F.B., C.W. Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Pub. Co. 540 h.
- Sato-Nara, K., T. Demura, H. Fukuda. 2004. Expression of photosynthesis-related genes and their regulation by light during somatic embryogenesis in *Daucus carota*. Planta. 219: 23–31.
- Sims, D.A. 2003. Anthocyanins extraction and measurement. http://vcsars.calstatela.edu/Lab_documents/anthocyanine-method-cold-grind.doc
- Sopandie, D., M.A. Chozin, N. Khumaida, T. Takano. 2001. Differential shading tolerance of upland rice genotypes related to rubisco activity and its gene expression. Di dalam: Proceeding of the 1st Seminar Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production. Tokyo University, February 21-23, 2001.
- Sopandie, D., M.A. Chozin, S. Sastrosumarjo, T. Juhaeti, Sahardi. 2003b. Toleransi terhadap naungan pada padi gogo. Hayati. 10:71-75.
- Sopandie, D., M.A. Chozin, S. Tjitrosemito, Sahardi. 2003c. Keefektifan uji cepat ruang gelap untuk seleksi ketenggangan terhadap naungan pada padi gogo. Hayati. 10:91-95.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, E. Sulistyono dan N. Heryani. 2002. Pengembangan Kedelai sebagai Tanaman Sela: Fisiologi dan Pemuliaan untuk Toleransi terhadap Naungan. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida. 2006. Fisiologi, Genetik dan Molekuler Adaptasi Kedelai terhadap Intensitas Cahaya Rendah: Pengembangan Varietas Unggul Kedelai sebagai Tanaman Sela. Laporan Akhir Penelitian Hibah Tim Pascasarjana Angkatan II 2004-2006. Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, IPB, Bogor.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, T. Handayani, A. Jufri, T. Takano. 2003a. Adaptability of soybean to shade stress: Identification of morphological responses. Di dalam: Proceeding of the 2nd Seminar Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production. Tokyo University, Tokyo, February 15-16, 2003.
- Soverda, N. 2002. Karakteristik fisiologi fotosintesis dan pewarisan sifat toleran naungan pada padi gogo [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Taiz, L., E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Pub. Co. Ins. California. 690 hal.
- Tyas, K.N. 2006. Adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah melalui efisiensi penangkapan cahaya. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor. 68h.
- Walter, R.G., J.J.M. Rogers, F. Shephard, P. Horton. 1999. Acclimation of *Arabidopsis thaliana* to the light environment: the role of photoreceptors. Planta. 209:517-527.
- Weaver, L.M., R.M. Amasino. 2001. Senescence is induced in individually darkened *Arabidopsis* leaves, but inhibited in whole darkened plants. Plant Physiol. 127:876-886.
- Weston, E., K. Thorogood, G. Vinti, E. Lopez-Zuez. 2000. Light quantity controls leaf-cell and chloroplast development in *Arabidopsis thaliana* wild type and blue-light-perception mutants. Planta. 211:807-815.