

Iptek Tanaman Pangan

Membahas isu pembangunan pertanian tanaman pangan

Volume 6 Nomor 2 Desember 2011

- Teknologi Budi Daya Kedelai
Sumarno
- Pengembangan Pasar Domestik Pertanian
Damardjati
- Pengembangan Tanaman Sela
Sopandie dan Trikoesoemaningtyas
- Transformasi Sistem Produksi Tanaman Pangan
Sudaryono dan Hastuti
- Potensi Limbah Pertanian sebagai Pupuk Organik
Nurhayati et al.
- Pengembangan Varietas Unggul Baru Padi
Supriatna et al.
- Strategi Pemenuhan Kebutuhan Beras di Jawa Barat
Ishaq
- Strategi Pencapaian Diversifikasi dan Kemandirian Pangan
Elizabeth
- Optimasi Hasil Ubikayu Menggunakan Teknologi Adaptif
Radjit dan Prasetyaswati
- Prospek Pengembangan Sorgum
Biba

Bul. Iptek Tan. Pangan	Vol. 6	No. 2	Hlm 139-274	Bogor Desember 2011	ISSN 1907-4263
---------------------------	--------	-------	----------------	------------------------	-------------------



Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

Pengantar

Buletin Iptek Tanaman Pangan sudah memasuki tahun keenam. Dalam kurun waktu yang relatif singkat ini buletin Iptek Tanaman Pangan telah mengalami beberapa kemajuan, di antaranya mendapat pengakuan sebagai publikasi ilmiah nasional yang terakreditasi oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Tulisan yang terbit pun beragam anta|n|omor, mengikuti masalah aktual yang terjadi untuk menjadi bahan pertimbangan bagi penentu kebijakan dalam mencari|n| jalan pemecahannya.

Buletin Iptek Tanaman Pangan nomor ini menyajikan 10 tulisan, di antaranya perkembangan teknologi budi daya kedelai di lahan sawah dan strategi pengembangan pasar domestik pertanian dalam menghadapi persaingan global. Tulisan lainnya adalah tentang pengembangan tanaman sela, transformasi sistem produksi tanaman pangan, potensi limbah pertanian sebagai pupuk organik, percepatan pengembangan varietas unggul baru padi, konsumsi dan strategi pemenuhan kebutuhan beras di Jawa Barat, strategi pencapaian dan kemandirian pangan, optimasi hasil ubikayu menggunakan teknologi adaptif, dan prospek pengembangan sorgum.

Redaksi terus berupaya meningkatkan kualitas buletin Iptek Tanaman Pangan, baik dari segi substansi, jumlah tulisan yang terbit setiap nomor, maupun pendistribusiannya. Tulisan yang lain ditunggu redaksi untuk diterbitkan pada nomor-nomor berikutnya.

Redaksi

Daftar Isi

Perkembangan Teknologi Budi Daya Kedelai di Lahan Sawah	139
<i>Sumarno</i>	
Strategi Pengembangan Pasar Domestik Pertanian dalam Menghadapi Persaingan Global	152
<i>Djoko Said Damardjati</i>	
Pengembangan Tanaman Sela di Bawah Tegakan Tanaman Tahunan	168
<i>Didy Sopandie dan Trikoesoemaningtyas</i>	
Transformasi Sistem Produksi Tanaman Pangan Menjadi Tanaman Tahunan di Lahan Kering: Ancaman bagi Keamanan Pangan	183
<i>Sudaryono dan P.C. Hastuti</i>	
Potensi Limbah Pertanian sebagai Pupuk Organik Lokal di Lahan Kering Dataran Rendah Iklim Basah	193
<i>Nurhayati, Ali Jamil, dan Rizqi Sari Anggraini</i>	
Percepatan Pengembangan Varietas Unggul Baru Padi melalui Unit Pengelola Benih Sumber	203
<i>Ade Supriatna, Joko Mulyono, dan Zakiah</i>	
Konsumsi dan Strategi Pemenuhan Kebutuhan Beras pada 2015 di Jawa Barat	217
<i>Iskandar Ishaq</i>	
Strategi Pencapaian Diversifikasi dan Kemandirian Pangan: Antara Harapan dan Kenyataan	230
<i>Roosganda Elizabeth</i>	
Optimasi Hasil Ubikayu Menggunakan Teknologi Adaptif	243
<i>Budhi Santoso Radjit dan Nila Prasetyaswati</i>	
Prospek Pengembangan Sorgum untuk Ketahanan Pangan dan Energi	257
<i>M. Arsyad Biba</i>	
Indeks Judul	270
Indeks Penulis	271
Indeks Subjek	272

Pengembangan Tanaman Sela di Bawah Tegakan Tanaman Tahunan

Didy Sopandie dan Trikoesoemaningtyas

*Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB
Jl. Dramaga Bogor*

Abstract

Development of Crops Variety Tolerant to Low-light Intensity for Intercropping. The effort to increased food crops production is limited by the lack of arable land. Therefore, there is a need to utilize marginal areas such as land under estate crops which is partly shaded and hence have low light intensity as well as high acidity and drought condition. Production increase is marginal areas, such as lands under canopies of estate crops, could be achieved by improvement in (1) crop adaptation to abiotic stresses and resistance to biotic stress, (2) yield potential, and (3) cultural techniques which are based on knowledge in plant physiology and ecophysiology. A collaborative research on plant physiology, molecular biology and plant breeding is affected to be able to create appropriate technologies to overcome those problems. Food crops which are potential to be produced under shaded condition as intercrops are upland rice, soybean, taro, elephant foot yams, and legume crops. Plant adaptation to low-light intensity is achieved through efficiency in light interception (avoidance) and utilization (tolerance). Through integrated research of interdisciplinary approach several promising lines of soybean having high productivity under 50% shading were selected.

Key words: food crops, shading, tolerance, molecular.

Abstrak

Permasalahan dalam peningkatan produksi pangan di Indonesia adalah kurangnya lahan garapan, terutama untuk tanaman pangan, sehingga untuk meningkatkan produksi nasional harus memanfaatkan lahan potensial yang belum dimanfaatkan, di antaranya adalah lahan di bawah tegakan tanaman perkebunan dan kehutanan. Kendala utama pada lahan semacam ini adalah rendahnya intensitas cahaya karena faktor naungan, selain kemerasan tanah yang tinggi dan ancaman kekeringan. Peningkatan produksi di lahan marjinal, termasuk lahan di bawah tegakan, dapat dicapai melalui perbaikan: (1) potensi hasil, (2) tingkat adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik, serta (3) teknik budi daya berbasis pengetahuan fisiologi atau ekofisiologi tanaman. Dalam kaitan ini, penelitian di bidang fisiologi, molekuler, dan pemuliaan tanaman diharapkan mampu mendorong perakitan IPTEK yang berkaitan dengan penanganan lahan marjinal dan mendukung pemulia tanaman dalam perbaikan tanaman untuk dikembangkan di lahan marjinal, termasuk lahan di bawah tegakan. Beberapa penelitian menunjukkan tanaman pangan yang mempunyai

potensi untuk dikembangkan sebagai tanaman sela meliputi padi gogo, kedelai, talas, iles-iles, dan kacang-kacangan. Evaluasi intensif di lapang baru dilakukan terhadap padi gogo, kedelai, dan talas. Adaptasi terhadap intensitas cahaya rendah (naungan) dicapai melalui: (a) mekanisme penghindaran (*avoidance*) yang berkaitan dengan respon perubahan anatomi dan morfologi daun untuk fotosintesis yang efisien, dan (b) mekanisme toleran (*tolerance*) yang berkaitan dengan penurunan titik kompensasi cahaya serta respirasi yang efisien. Melalui pendekatan integratif antara bidang fisiologi, biologi molekuler, dan pemuliaan tanaman, yang bertujuan untuk menghasilkan kedelai toleran cahaya rendah dengan produktivitas tinggi, telah diperoleh beberapa galur harapan yang berproduksi tinggi pada naungan di bawah 50%.

Kata kunci: tanaman pangan, naungan, toleran, molekuler.

Permasalahan dalam peningkatan produksi pangan di Indonesia adalah kurangnya lahan garapan, terutama untuk tanaman pangan, sehingga untuk meningkatkan kapasitas produksi nasional dapat memanfaatkan lahan-lahan potensial yang belum dimanfaatkan, di antaranya lahan di bawah tegakan tanaman perkebunan dan kehutanan. Dari luas lahan yang sesuai untuk usaha pertanian sebesar 100,8 juta ha, telah dimanfaatkan 68,8 juta ha, sehingga masih tersedia sekitar 32 juta ha. Selain itu, terdapat potensi lahan untuk usaha pertanian berupa lahan terlantar 11,5 juta ha, lahan pekarangan 5,4 juta ha, serta lahan gambut dan lebak yang potensinya cukup besar (Badan Litbang Deptan 2005). Namun, hampir sebagian besar lahan yang dapat dikembangkan, yang meliputi lahan masam, lahan dengan ketersediaan P rendah, lahan kering, tadah hujan, lahan di bawah tegakan, lahan rawa pasang surut dan sulfat masam, memiliki tingkat kesuburan yang sangat rendah sampai rendah (kelas IV-VI). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan varietas unggul spesifik lokasi dan mempercepat perakitan teknologi spesifik lokasi terutama teknik budi daya tanaman pangan yang akan dikembangkan.

Pemerintah telah mencanangkan penggunaan areal di bawah tegakan tanaman perkebunan dan HTI dengan luas lebih dari 2 juta ha, yang merupakan salah satu program peningkatan luas areal panen seperti dituangkan dalam Rencana Aksi Pemantapan Ketahanan Pangan 2005-2010 (Badan Litbang Pertanian 2005). Potensi lahan semacam ini di perkebunan swasta/negara cukup besar, mencapai 12,1 juta ha. Setiap tahunnya sekitar 3-4% dari areal perkebunan merupakan tanaman baru (*replanting*) yang bisa dimanfaatkan untuk pengembangan tanaman sela sampai tanaman perkebunan berumur 3 tahun.

Permasalahan Lahan di Bawah Tegakan Tanaman Tahunan

Kendala utama pemanfaatan lahan semacam ini adalah rendahnya intensitas cahaya karena faktor naungan, selain kemasaman tanah yang tinggi dan ancaman kekeringan pada beberapa wilayah. Baharsjah *et al.* (1993) menyatakan bahwa radiasi matahari akan mencapai titik jenuh antara 0,1-0,6 kal/cm²/menit. Hasil bersih dari proses fotosintesis pada radiasi penuh (1,4-1,7 kal/cm²/menit) adalah 15-35 mg CO₂/dm² luas daun/jam. Pada tanaman kedelai, radiasi matahari optimum untuk fotosintesis maksimum pada kondisi laboratorium berkisar 0,3-0,8 kal/cm²/menit (432-1152 kal/cm²/hari) (Kassam 1978). Nilai tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan intensitas cahaya di bawah tanaman karet. Studi yang telah dilakukan untuk padi gogo sebagai tanaman sela dengan karet menunjukkan rata-rata nilai intensitas cahaya pada areal terbuka adalah 398,4 kal/cm²/hari. Sedangkan nilai rata-rata intensitas cahaya di bawah tegakan karet umur 1,2,3 dan 4 tahun berturut-turut 326,7 kal; 237,6 kal; 109,2 kal, dan 38,2 kal/cm²/hari. Intensitas cahaya di bawah tegakan karet umur 2 tahun setara dengan naungan paranet 25%, sedangkan di bawah tegakan karet umur 3 tahun setara dengan naungan paranet 50%, dan untuk umur 4 tahun sudah melebihi naungan paranet 75% (Chozin *et al.* 1999). Penurunan intensitas cahaya akan mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman.

Cahaya merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman, karena selain berperan dominan dalam proses fotosintesis, juga sebagai pengendali, pemicu, dan modulator respon morfogenesis, khususnya pada tahap awal pertumbuhan tanaman (McNellis and Deng 1995). Spektrum cahaya yang dibutuhkan tanaman berkisar antara panjang gelombang 400-700 nm, yang biasa disebut *photosynthetically active radiation* (PAR). Cahaya dikonversi ke molekul lebih tinggi (ATP) dan NADPH, terjadi dalam pigmen atau kompleks protein yang menempel pada membran tilakoid yang terletak pada kloroplas. Pigmen tanaman yang meliputi klorofil a, klorofil b, dan karotenoid termasuk xantofil menyerap PAR terbaik pada panjang gelombang tertentu. Klorofil a menyerap cahaya tertinggi pada kisaran panjang gelombang 420 nm dan 660 nm. Klorofil b menyerap cahaya paling efektif pada panjang gelombang 440 dan 640 nm, sedangkan karotenoid termasuk xantofil mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang 425 dan 470 nm.

Hubungan antara cekaman intensitas cahaya rendah dengan terjadinya penurunan karbohidrat dapat dijelaskan dalam beberapa hal. Pengurangan fotosintat pada intensitas cahaya rendah dapat dihubungkan dengan tingginya resistensi stomata dan sel-sel mesofil terhadap pertukaran CO₂. Pada kondisi cahaya rendah, aktivitas karboksilase dan RuBP menurun. Reaksi pembentukan pati dikatalisis oleh enzim ADP-glukosa pyrofosforilase yang mengatur aliran karbon, dimana enzim ini diatur secara alosterik oleh produk

dari siklus PCR. Intensitas cahaya yang rendah menyebabkan rendahnya pembentukan 3-PGA, yang menghambat kerja enzim ADP-glukosa pyrofosfatase karena adanya Pi yang berinteraksi dengan 3-PGA. Soverda (2002) melaporkan bahwa cekaman intensitas cahaya rendah menurunkan aktivitas PGA kinase, penurunan yang lebih kecil dijumpai pada genotipe padi gogo toleran naungan dibandingkan genotipe peka. Pada intensitas cahaya rendah terjadi gangguan translokasi karbohidrat, gula total (sebagian besar gula nonreduksi dan pati) nyata menurun pada seluruh bagian tanaman. Murty dan Sahu (1987) melaporkan peningkatan kandungan total amino-N dan N terlarut pada varietas padi yang peka, yang menyebabkan terganggunya sintesis protein dan rendahnya ketersediaan karbohidrat dan tingginya kehampaan. Lautt *et al.* (2000) menunjukkan bahwa galur padi gogo toleran memiliki kandungan pati pada daun dan batang yang lebih tinggi daripada galur peka saat dinaungi 50% pada fase vegetatif aktif. Kenaikan sukrosa pada fase vegetatif aktif hanya terjadi pada galur toleran, sejalan dengan naiknya aktivitas enzim SPS (sukrosa fosfat sintase).

Tanaman yang tumbuh di lingkungan bercekaman dengan intensitas cahaya rendah sulit mengekspresikan kemampuan genetiknya secara penuh untuk tumbuh dan berproduksi dengan baik. Dilaporkan hasil kedelai menurun rata-rata 30-60% pada kondisi cekaman naungan. Oleh karena itu, diperlukan varietas kedelai baru yang mampu memperkecil dampak cekaman melalui beberapa strategi agar mampu beradaptasi pada kondisi cekaman cahaya.

Perbaikan Produktivitas Tanaman Sela

Peningkatan produksi di lahan marginal, termasuk lahan di bawah tegakan, akan dapat dicapai melalui perbaikan: (1) potensi hasil, (2) tingkat adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik dan resistensi terhadap cekaman biotik, dan (3) perbaikan teknik budi daya berbasis pengetahuan fisiologi atau ekofisiologi tanaman (Sopandie 2006). Dalam kaitan ini, penelitian di bidang fisiologi, genetika molekuler, dan pemuliaan tanaman diharapkan mampu mendorong perakitan lptek yang berkaitan dengan penanganan lahan marginal dan mendukung pemulia tanaman dalam upaya perbaikan tanaman untuk dikembangkan di lahan marginal, termasuk lahan di bawah tegakan. Saat ini, penelitian di bidang fisiologi telah sangat maju untuk memahami perilaku tanaman lengkap dengan proses metabolismenya, yang memberikan peluang bagi penerapan teknologi untuk perbaikan tanaman.

Adaptasi Tanaman terhadap Intensitas Cahaya Rendah

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman pangan yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai tanaman sela meliputi padi gogo, kedelai, talas, iles-iles, kacang-kacangan, dan lainnya. Evaluasi intensif di

Tabel 1. Genotipe tanaman pangan yang adaptif pada intensitas cahaya rendah.

Tanaman pangan	Varietas/galur	Toleransi	✓
Padi gogo ¹	Jatiluhur, C22, Dodokan, TB177E-TB-30-B-2; S3613F-PN-1-1; S382B-2-2-3; B8503-TB-19B-3-4	Naungan 50% di bawah tegakan tanaman karet 3 tahun	
Kedelai ²	Ceneng, Pangrango, B613, Arksoy	Naungan 50% di bawah tegakan tanaman karet 3 tahun	
Talas ³	Talas buntill, Salak, Hijau garis ungu, Hijau ungu	Naungan 50% paranet	

¹ Chozin *et al.* (1999), Sopandie *et al.* (2001,2003b);

² Sopandie *et al.* (2002); Sopandie *et al.* (2003a), Jufri (2006);

³ Purwoko *et al.* (2003)

lapangan baru dilakukan terhadap padi gogo, kedelai, dan talas (Tabel 1). Pengembangan tanaman sela yang adaptif terhadap naungan masih kurang mendapat perhatian karena kurangnya pengetahuan tentang adaptasi tanaman terhadap cekaman cahaya rendah.

Perubahan-perubahan spesifik pada berbagai tingkatan sebagai bentuk adaptasi tanaman terhadap cekaman naungan telah banyak dilaporkan, seperti perubahan struktur morfologi, fenomena fisiologi (*physiological behavior*), dan modifikasi lintasan biokimia (Sopandie *et al.* 2001, 2003a, 2004, 2005a,b, Khumaida *et al.* 2003). Akan tetapi pada tingkat molekuler, mekanisme fisiologi toleransi tanaman terhadap stres naungan, belum sepenuhnya diketahui dengan baik. Defisit cahaya pada padi gogo menyebabkan proses metabolisme terganggu, yang berimplikasi terhadap penurunan laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat (Santosa *et al.* 2000, Sopandie *et al.* 2003 a,b). Kemampuan kebanyakan tanaman dalam mengatasi cekaman naungan bergantung pada kemampuan dalam melanjutkan fotosintesis dalam kondisi defisit cahaya. Levitt (1980) membuat hipotesis bahwa adaptasi terhadap naungan dicapai melalui: (a) mekanisme penghindaran (*avoidance*) yang berkaitan dengan respon perubahan anatomi dan morfologi daun untuk fotosintesis yang efisien, (b) mekanisme toleran (*tolerance*) yang berkaitan dengan penurunan titik kompensasi cahaya serta respirasi yang efisien.

Dari sudut anatomi dan morfologi, karakteristik tanaman yang beraklimatisasi terhadap intensitas cahaya rendah telah dijelaskan oleh Anderson *et al.* (1995). Intensitas cahaya akan mempengaruhi bentuk dan anatomi daun, termasuk sel epidermis dan tipe sel mesofil. Perubahan tersebut sebagai mekanisme untuk pengendalian kualitas dan jumlah cahaya yang dapat dimanfaatkan oleh kloroplas daun. Daun tanaman yang ternaungi akan lebih tipis dan lebar dibanding daun pada areal terbuka, yang disebabkan oleh pengurangan lapisan palisade dan sel-sel mesofil, seperti ditunjukkan

oleh padi gogo dan kedelai toleran naungan dengan pengurangan lapisan palisade yang lebih besar akibat cekaman naungan dibandingkan dengan genotipe yang peka (Khumaida 2002; Sopandie *et al.* 2003 a). Kekuatan melawan degradasi klorofil pada tanaman sangat penting bagi daya adaptasi terhadap naungan, yaitu dengan meningkatkan jumlah kloroplas per luas daun seperti ditunjukkan oleh genotipe toleran padi gogo dan kedelai yang memiliki kadar klorofil a dan b serta nisbah klorofil a/b lebih tinggi dibanding yang peka (Khumaida 2002, Sopandie *et al.* 2003 a,b).

Penelitian terhadap kloroplas dengan menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*) menunjukkan bahwa kloroplas kedelai peka naungan Godek mengalami degradasi membran yang lebih hebat pada kondisi gelap dibanding genotipe toleran Ceneng (Tyas *et al.* 2006). Kedelai toleran naungan memiliki jumlah kloroplas yang lebih banyak per sel dan volume *stack grana* (membran tilakoid) lebih besar dibandingkan dengan genotipe peka pada kondisi cekaman naungan. Meningkatnya volume *stack grana* ini berkorelasi positif dengan ekspresi gen *lhcp* (*light harvest complex binding protein*) dan kandungan klorofil b pada daun, namun berkorelasi negatif dengan rasio klorofil a/b.

Kemampuan tanaman kedelai memperbesar dan memperkecil ukuran antena membantu tanaman untuk mampu beradaptasi terhadap perubahan intensitas cahaya. Hubungan antara enzim Rubisko dan fotosintesis telah diketahui dengan sangat baik. Naungan menyebabkan perubahan fisiologi dan biokimia, salah satu di antaranya perubahan kandungan N daun, kandungan Rubisko dan aktivitasnya. Rubisko adalah enzim yang memegang peranan penting dalam fotosintesis, yaitu mengikat CO₂ dan RuBP dalam siklus Calvin yang menghasilkan 3-PGA. Intensitas cahaya mempengaruhi aktivitas Rubisko, dimana naungan menyebabkan rendahnya aktivitas Rubisko. Genotipe kedelai toleran naungan memiliki aktivitas Rubisko yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang peka pada kondisi naungan, seperti padi gogo (Sopandie *et al.* 2003b 2004). Telah dibuktikan pula bahwa ekspresi gen Rubisko (*rbcl*) semakin meningkat dengan bertambah panjangnya lama perlakuan naungan, baik pada kedelai toleran maupun peka. Ekspresi gen Rubisko ini berkorelasi positif dengan ekspresi gen Rubisko aktivase (*rca*).

Pendekatan Integratif dalam Perbaikan Kedelai untuk Tanaman Sela

Program pemuliaan tanaman dapat memperbaiki stabilitas hasil di lingkungan marjinal yang merupakan lingkungan tumbuh suboptimum dengan cekaman abiotik melalui dua pendekatan, yaitu (a) perbaikan potensi hasil dari galur-galur yang mempunyai adaptasi luas, atau (b) perbaikan adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik. Memperbaiki adaptasi tanaman berarti membuat genotipe tanaman lebih sesuai dengan lingkungan tumbuhnya (Accevedo and

Fereres 1993). Lingkungan suboptimal merupakan lingkungan yang beragam dan tidak sama tingkat cekamannya. Tujuan pemuliaan untuk perbaikan stabilitas hasil di lingkungan suboptimal ditentukan oleh tingkat cekaman pada lingkungan target. Perbaikan tanaman untuk adaptasi terhadap lingkungan marginal yang mempunyai cekaman abiotik perlu didukung oleh tersedianya keragaman genetik untuk adaptasi terhadap berbagai cekaman.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe yang toleran terhadap cekaman abiotik (Sopandie 2006). Untuk adaptasi terhadap intensitas cahaya rendah, telah berhasil diidentifikasi sejumlah genotipe padi gogo dan kedelai yang sesuai sebagai tanaman sela pada perkebunan karet. Padi gogo toleran naungan yang berhasil diidentifikasi antara lain adalah Jatiluhur, Dodokan, CS22, TB177E-TB30-B-2, B9266F-TN-MR2-PN-4, dan TB615E-TB-6-B9048C-TB-4-B-2 (Chozin *et al.* 1999, Sopandie *et al.* 1999).

Pendekatan integratif bidang fisiologi, molekuler, dan pemuliaan tanaman dalam upaya perbaikan tanaman kedelai sebagai tanaman sela di bawah naungan merupakan suatu keniscayaan. Pengembangan kedelai sebagai tanaman sela masih terbatas pada kondisi naungan ringan 33% untuk tumpangsari dengan jagung (Asadi dan Arsyad 1995, Asadi *et al.* 1997). Saat ini sedang diteliti varietas kedelai untuk tanaman sela di bawah tegakan karet dengan intensitas cahaya yang lebih rendah sampai 50% naungan.

Dari hasil evaluasi terhadap 75 genotipe kedelai telah berhasil diidentifikasi genotipe toleran naungan, yaitu Ceneng, Pangrango, dan B613, sedangkan yang peka naungan adalah Godek dan Slamet. Sebagai kriteria seleksi digunakan persen penurunan hasil (Trikoesoemaningtyas *et al.* 2003, Sopandie *et al.* 2003a). Galur-galur kedelai toleran naungan Ceneng dan Pangrango dan genotipe peka naungan Godek dan Slamet digunakan sebagai tetua persilangan untuk membentuk populasi bersegregasi.

Pengembangan kriteria seleksi bagi cekaman naungan dilakukan melalui studi genetik. Untuk kriteria seleksi tunggal dipilih karakter jumlah polong per tanaman yang diwariskan dengan heritabilitas (0,87) lebih tinggi dibandingkan dengan karakter daya hasil dalam keadaan tercekam naungan 50% (0,29) (Trikoesoemaningtyas *et al.* 2003). Dari studi fisiologi, diperoleh sejumlah karakter morfologi dan anatomi yang dapat dijadikan kriteria seleksi yaitu luas daun trifoliat, kerapatan trichoma, kandungan klorofil a dan b (Sopandie *et al.* 2005a). Pengembangan kriteria seleksi selanjutnya diarahkan pada pembentukan indeks seleksi yang menggabungkan sejumlah karakter untuk seleksi secara simultan. Indeks seleksi yang dikembangkan berdasarkan sidik lintas menghasilkan indeks yang melibatkan karakter jumlah polong/tanaman, jumlah polong isi/tanaman, jumlah cabang produktif dan jumlah biji per polong (Trikoesoemaningtyas *et al.* 2004).

Melalui pemahaman genomik dapat diketahui pengaruh lingkungan terhadap pola ekspresi gen. Khumaida *et al.* (2004) dan Sopandie *et al.* (2005a) melaporkan bahwa intensitas ekspresi beberapa gen yang mengendalikan toleransi naungan pada tanaman kedelai seperti gen JJ3, phyB, dan ATHB, ekspresinya semakin menguat dengan semakin rendahnya intensitas cahaya. Dengan pemahaman yang semakin meningkat dari hubungan antara gen dan karakter fisiologi yang mendasari suatu mekanisme adaptasi atau daya hasil dengan perkembangan teknologi genomik, maka terbuka kemungkinan pemanfaatan informasi genomik ini untuk perbaikan tanaman. Pemanfaatan teknologi genomik dalam perbaikan tanaman dapat dilakukan melalui dua strategi, yaitu: (a) pemanfaatan marka molekuler seperti RFLP, SSR, AFLP, RAPD, QTL, dan SNP, dalam mengembangkan marka untuk seleksi (*Marker Assisted Selection/MAS*), dan (b) pendekatan dengan *transformasi gen* tanaman. Dalam program pemuliaan konvensional dengan seleksi terhadap fenotipe sering dihadapi masalah rendahnya heritabilitas, terutama pada lingkungan bercekaman. Pada kondisi ini, pemanfaatan marka molekuler sangat berperan. Setelah diperoleh keterpautan antara marka molekuler dengan karakter hasil atau karakter adaptasi, marka terpilih dapat dijadikan kriteria seleksi dalam MAS. Identifikasi QTL yang terpaut pada toleransi terhadap naungan pada kedelai dengan marka RAPD dan SSR telah dilakukan (Sopandie *et al.* 2005a), yang selanjutnya digunakan untuk marka seleksi kedelai toleran naungan.

Pemetaan QTL untuk sifat adaptasi terhadap naungan telah dikerjakan melalui dua tahapan, yaitu seleksi primer dan penentuan fenotipe dari 120 galur inbred (RIL) dari persilangan Ceneng (toleran naungan) x Godek (peka naungan). Dari seleksi primer telah diperoleh sejumlah primer yang polimorfik dan terpaut pada tetua toleran yaitu OPM 8, OPM 10, OPM 12, OPM 15, OPM 16, OPM 18, OPM 20, OPE 3, OPE 12, OPE 15, OPH 3, OPH 7, dan OPH 8. Marka yang terpilih telah digunakan dalam menyeleksi galur-galur F9 dalam *Marker Assisted Selection* dan hasil seleksinya akan dibandingkan dengan hasil seleksi terhadap hasil di bawah naungan dalam pengujian daya hasil di bawah tegakan karet.

Pendekatan dengan transformasi gen untuk perbaikan tanaman selatoleran naungan belum dilakukan. Pendekatan yang lebih akurat dengan memanfaatkan pengetahuan tentang gen-gen yang mengkode suatu enzim pada lintas biokimia tertentu (*targeted approach*) memberikan kemungkinan keberhasilan yang lebih besar. Transgenik pada tanaman model *Arabidopsis thaliana* untuk toleran naungan dari gen ATHB (gen *ATHB-2*, gen regulator yang mengkode protein homeodomain-leucine zipper) terkait *shade avoidance* (Devlin *et al.* 2003). Informasi ini telah ditindaklanjuti pada tanaman kedelai toleran terhadap intensitas cahaya rendah (Sopandie *et al.* 2005a) dan menunjukkan ekspresi gen ATHB-2 bersifat *down regulated*. Selain itu telah berhasil diisolasi dan diidentifikasi gen JJ3 (putatif mengkode Psd PSI

subunit) dan ekspresinya juga bersifat *down regulated* terhadap intensitas cahaya rendah. Dengan demikian, ke depan dimungkinkan dibentuk kedelai toleran naungan (Khumaida *et al.* 2003 2004; Takano *et al.* 2003, Trikoesoemaningtyas *et al.* 2003 2005, Sopandie *et al.* 2005 a,b).

Pemuliaan Kedelai Toleran Cahaya Rendah dan Produktivitas Tinggi

Upaya pengembangan varietas kedelai toleran cahaya rendah telah dilakukan di Departemen Agronomi dan Hortikultura, Institut Pertanian Bogor, sejak tahun 2000 (Sopandie *et al.* 2006). Pada tahun 2007-09 telah dilakukan seleksi terhadap galur-galur kedelai dengan menggunakan karakter morfologi toleransi terhadap naungan dan marka molekuler. Galur-galur yang terpilih kemudian dievaluasi dalam uji daya hasil dan uji multilokasi dalam rangka pelepasan varietas (Trikoesoemaningtyas *et al.* 2009).

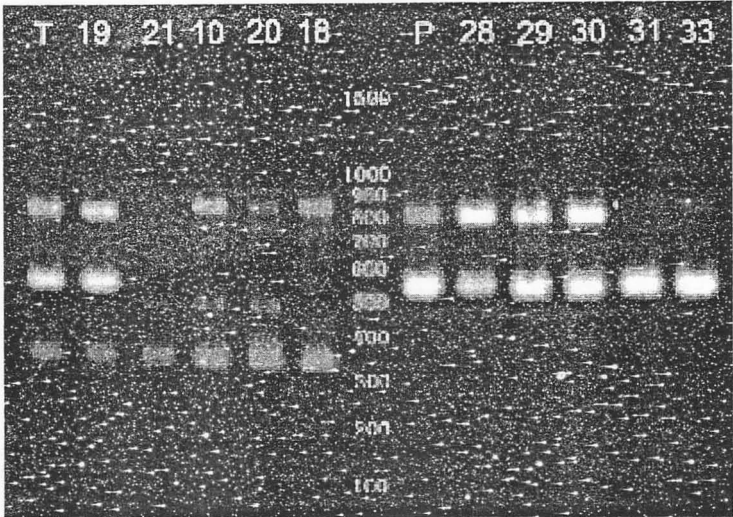
Pemuliaan konvensional sangat bergantung pada seleksi berdasarkan fenotipe terhadap individu superior dari suatu populasi bersegregasi. Walaupun kemajuan yang pesat telah diperoleh dari pemuliaan melalui seleksi fenotipe, tetapi untuk beberapa tujuan pemuliaan, seperti toleransi terhadap cekaman lingkungan, seringkali menghadapi kendala karena seleksi harus dilakukan di lingkungan target. Di lingkungan bercekaman, pengaruh lingkungan meningkatkan keragaman lingkungan dan menurunkan nilai heritabilitas dari karakter-karakter seleksi, terutama hasil.

Penggunaan marka molekuler dalam membantu seleksi (*molecular marker assisted selection*/MAS) dapat menjadi alternatif karena seleksi dapat dilakukan langsung terhadap genotipe dan tidak terpengaruh lingkungan. Dalam penelitian ini telah dilakukan seleksi dengan menggunakan marka RAPD yang terpaut terhadap sifat toleransi kedelai terhadap cahaya rendah. Seleksi dan verifikasi marka dengan menggunakan metode *bulk segregant analysis* menghasilkan marka P01-350 yang polimorfik dan hanya teramplifikasi pada galur-galur toleran (Gambar 1, Trikoesoemaningtyas *et al.* 2009).

Seleksi terhadap 300 galur kedelai dari populasi hasil persilangan dengan menggunakan marka P01-350 dan indeks toleransi berdasarkan indeks toleransi untuk karakter morfologi telah terpilih 20 galur yang dievaluasi dalam uji daya hasil di bawah tegakan karet berumur tiga tahun selama dua musim di lahan PTPN VIII di Cikumpay, Jawa Barat dan di Desa Sebapo, Kecamatan Muaro, Jambi. Dari uji daya hasil berhasil diseleksi 10 galur yang terdiri atas empat galur hasil seleksi marka molekuler P01-350 dan enam galur hasil seleksi berdasarkan indeks toleransi.

Kesepuluh galur kemudian diuji di bawah tegakan karet rakyat di tiga lokasi di Jambi, yaitu di Kecamatan Muaro Jambi, Sarolangun, dan Muaro

Tebo. Hasil pengujian di Muaro Jambi terdapat tiga galur yang menunjukkan potensi hasil setara dengan pembandingan tertinggi (varietas Tanggamus), yaitu GC-22-10, PG-57-1, dan SP-30-4. Dua galur hasil seleksi indeks toleransi mempunyai potensi hasil lebih tinggi dari varietas pembandingan tertinggi (Tanggamus) yaitu SC54-1 dan SC68-2 (Tabel 2).



Gambar 1. Seleksi marka dengan menggunakan bulk segregant analysis.

Tabel 2. Potensi hasil galur-galur kedelai toleran naungan di bawah tegakan karet di Desa Sebapo Kecamatan Muaro Jambi, Jambi.

Galur harapan	Seleksi	Potensi hasil (t/ha)*
CG-22-10	Indeks toleransi	1,91
GC-22-10	Indeks toleransi	2,02
PG-57-1	Marka P01-350	2,17
SC-1-8	Indeks toleransi	1,51
SC-21-5	Marka P01-350	1,93
SC-39-1	Marka P01-350	1,41
SC-54-1	Indeks toleransi	2,75
SC-56-3	Indeks toleransi	1,75
SC-68-2	Indeks toleransi	2,40
SP-30-4	Marka P01-350	2,00
Pangrango	Varietas nasional	1,52
Sibayak	Varietas nasional	1,90
Tanggamus	Varietas nasional	2,12

* Potensi hasil berdasarkan konversi hasil/plot. Populasi tanaman kedelai di bawah tegakan 132.000/ha

Teknik Budi Daya Tanaman Sela di Bawah Tegakan Tanaman Tahunan

Sejauh ini, teknik budi daya yang cukup berkembang adalah tananan sela padi gogo di wilayah perkebunan maupun perhutanan pada waktu tanaman pokok masih kecil dan kanopi belum menutup. Padi gogo hanya mampu berproduksi sampai naungan mencapai 50%, jika menggunakan varietas toleran naungan (Sopandie 2006), sama halnya dengan kedelai toleran naungan (Sopandie *et al.* 2003a 2005a). Naungan sekitar 50% berada di bawah tanaman karet, kelapa sawit, jati, dan sengon yang berumur 3-4 tahun. Pada areal hutan kayu putih, padi gogo atau kedelai sebagai tanaman sela dapat terus ditanam, karena tanaman pokok selalu dipangkas. Demikian juga di bawah tanaman kelapa, tanaman sela masih bisa ditanam setiap saat, karena kanopi tidak tertutup. Suwarno *et al.* (2004) menjelaskan bahwa di bawah areal hutan Gmelina, padi gogo tidak tumbuh dengan baik meskipun intensitas cahaya masih rendah, karena Gmelina memiliki akar yang sangat intensif dan bersifat alelopati.

Teknik budi daya padi gogo sebagai tanaman sela yang pernah dilakukan oleh Direktorat Jenderal Perkebunan pada lahan seluas 100 ribu ha di areal perkebunan adalah dengan cara tanpa olah tanah (TOT) dan menggunakan herbisida untuk penyiapan lahan. Hasil padi gogo berkisar antara 3-4 t/ha (Ditjen Perkebunan 1995). Perbaikan teknik budi daya padi gogo di areal hutan jati berumur dua tahun di hutan jati Purwakarta menunjukkan bahwa penggunaan varietas unggul yang sesuai dan pemupukan dengan dosis 90-36-60 kg/ha ($N-P_2O_5-K_2O$) dapat meningkatkan hasil hingga 91% (Suwarno *et al.* 2004), dari 2,89 t/ha menjadi 5,52 t/ha. Varietas padi gogo toleran naungan yang ditanam adalah Cirata, Way Rarem, dan Jatiluhur. Jarak tanam yang teratur 20 cm x 20 cm sudah cukup untuk pertumbuhan padi gogo.

Kesimpulan

Peningkatan produktivitas tanaman sela pada lahan di bawah tegakan tanaman tahunan dengan intensitas cahaya rendah akan dapat dicapai melalui perbaikan potensi hasil untuk menghasilkan varietas berdaya hasil tinggi dan perbaikan adaptasi tanaman untuk menghasilkan varietas toleran. Pendekatan integratif antara fisiologi, molekuler, dan pemuliaan tanaman mutlak diperlukan dalam rangka perbaikan tanaman dan teknik budi daya pada lahan di bawah tegakan. Pemahaman ilmu fisiologi terhadap mekanisme yang mendasari peningkatan potensi hasil dan adaptasi tanaman terhadap cekaman intensitas cahaya rendah sangat penting untuk perakitan varietas tanaman sela yang adaptif dan berdaya hasil tinggi pada lahan di bawah tegakan tanaman tahunan.

Galur kedelai SC-54-1 dan SC-68-2 memiliki potensi hasil tinggi (2,4-2,7 t/ha) dan dapat ditanam di bawah tegakan tanaman tahunan, dengan hasil lebih tinggi dibanding varietas pembanding Tanggamus (2,12 t/ha), sedangkan galur GC-22-10, PG-57-1, dan SP-30-4 memiliki potensi hasil yang setara (2,0-2,17 t/ha) dengan varietas Tanggamus. Galur-galur ini sedang dipersiapkan untuk segera dilepas dan digunakan secara nasional.

Diperlukan penelitian kolaboratif lintas disiplin ilmu, terutama fisiologi, genetika, pemuliaan, biologi molekuler, ekologi, dan agronomi. Penelitian untuk perbaikan varietas, termasuk persilangan, pengujian, dan seleksi, seyogianya dapat dilakukan dengan melibatkan petani dan perusahaan swasta (*participatory research*), sehingga varietas-varietas komersial bisa dikembangkan lebih dini secara cepat melalui kontrol kualitas yang ketat.

Pustaka

- Accevedo, E. and E. Fereres. 1993. Resistance to abiotic stress. *In* M.D. Hayaward, N.O. Bosermark, and I. Ramagosa (eds). Plant breeding principles and prospect. Chapman and Hall, London. pp. 405-421.
- Asadi, B. and D.M. Arsyad. 1995. "Pangrango" a new soybean variety for intercropping with maize. Food Legume Coarse Grain, Network Newsletter 33:15-18.
- Asadi, B., D.M. Arsyad, H. Zahara, dan Darmijati. 1997. Pemuliaan kedelai untuk toleran naungan. Buletin Agrobio 1:15-20.
- Anderson, J.M., W.S. Chow, and Y.I. Park. 1995. The grand design of photosynthesis acclimation of the photosynthetic apparatus to environmental cues. Photosynthesis Res. 46:129-139.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2005. Rencana aksi pemantapan ketahanan pangan 2005-2010. Lima komoditas unggulan: beras, jagung, kedelai, gula, dan daging sapi. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Baharsjah, J.S., D. Suardi, dan I. Las. 1993. Hubungan iklim dengan pertumbuhan kedelai. *Dalam* S. Somaatmadja, M. Ismunadji, Sumarno, M. Syam, S.O. Manurung, Yuswadi (eds). Kedelai. Puslitbangtan. Bogor. p.87-102
- Chozin, M.A., D. Sopandie, S. Sastrosumarjo, and Suwarno. 1999. Physiology and genetic of upland rice adaptation to shade. Final report of graduate team research grant, URGE Project. Directorate General of Higher Education, Ministry of Education and Culture. Jakarta.

- Devlin, P.F., M.J. Yanovsky, and S.A. Kay. 2003. A Genomic Analysis of the Shade Avoidance Response in *Arabidopsis*. *Plant Physio* . 133:1617-1629.
- Ditjen Perkebunan. 1995. Pengembangan varietas padi gogo unggul varietas baru. Upaya mempertangguh usahatani dengan usaha pokok tanaman perkebunan. Disajikan pada Dies Natalis XXXII IPB. Ditjen Perkebunan, Jakarta.
- Jufri, A. 2006. Mekanisme adaptasi kedelai terhadap cekaman intensitas cahaya rendah. Disertasi Doktor Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Kassam, A.H. 1978. Agro climatic suitability assesment of rainfed crops in African by growing period zones. FAO. Rome.
- Khumaida, N. 2002. Studies on adaptability of soybean and upland rice to shade stress. PhD Thesis, The University of Tokyo.
- Khumaida, N., Y. Takami, N. Sugiyama, D. Sopandie, and T. Takano. 2003. Adaptability of soybean to shade stress:Photosynthetic properties of LI-tolerant and LI-sensitive soybean. Proceedings of the 2nd Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production, The University of Tokyo, Japan, February 15-26 2003.
- Khumaida, N., D. Sopandie, T. Takano. 2004. Adaptability of soybean to shade stress:The role of photosystem II. Procceding of the 3rd Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production. Serang, Banten, December 3-5, 2004.
- Laut, B., M.A. Chozin, D. Sopandie, dan L.K. Darusman. 2000. Perimbangan pati-sukrosa dan aktivitas enzim sukrosa fosfat sintase pada padi gogo yang toleran dan peka terhadap naungan. *Hayati* 7:31-34.
- Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stree. New York :Academic Press.
- McNellis, T. and X.W. Deng. 1995. Light control of seedling morphogenic pattern. *The Plant Cell* 7:1749-1761.
- Murty, Y.S. and G. Sahu. 1987. Impact of low light stress on growth and yield of rice. *In*: S.K. Dey and M.J. Baig (eds). *Weather and rice*, Proceedings of International workshop on Impact of Weather Parameters on Growth and Yield of Rice. IRRI. Phillippines, Los Banos.
- Purwoko, S.B., D. Sopandie, T. Wirawati, I.H. Somantri, dan I.S. Dewi. 2003. Pengaruh naungan terhadap produksi tanaman talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Jurnal Tanaman Tropika* 6:1-8.

- Santosa, E., D. Sopandie, M.A. Chozin, dan S. Harran. 2000. Adaptasi fisiologi tanaman padi gogo terhadap naungan: Konduktansi stomata, laju pertukaran karbon, dan respirasi. *Comm. Ag.* 6: 1-8.
- Sopandie, D., M.A. Chozin, S. Sastrosumarjo, Suwarno, A.P. Lontoh, and T. Takano. 1999. Upland rice tolerance to shade: Field screening and preliminary study on physiological mechanisms. *International Plant Breeding Symposium*. Okayama, Japan. September 25-26.
- Sopandie, D., M.A. Chozin, N. Khumaida, and T. Takano. 2001. Differential shading tolerance of upland rice genotypes related to morpho-physiological responses, rubisco activity and its genes in soybean genotypes. *Proceeding of the 1st Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production*, The University of Tokyo, Japan, February 21-23 2001.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, dan N. Khumaida. 2002. Fisiologi dan genetik toleransi kedelai terhadap naungan. *Seminar PERIPI*, Jogjakarta 22-24 Februari 2002.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, T. Handayani, Djufri, and T. Takano. 2003a. Adaptability of soybean to shade stress: Identification of morpho-physiological responses. *Proceedings of the 2nd Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production*, The University of Tokyo, Japan, February 15-26 2003.
- Sopandie, D, Chozin MA, Sastrosumarjo S, Juhaeti T, Sahardi. 2003b. Toleransi terhadap naungan pada padi gogo. *Hayati* 10:71-75.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, N. Khumaida, and Sobir. 2004. Physiology, breeding and molecular genetic studies on shade tolerance in soybean. *Proceeding of the 3rd Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production*. Serang, Banten, December 3-5, 2004.
- Sopandie, D., Trikoesoemaningtyas, dan N. Khumaida. 2005a. Fisiologi, genetik dan molekuler adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah: pengembangan varietas unggul kedelai sebagai tanaman sela. *Laporan II Hibah Penelitian Tim Pascasarjana. DIKTI. Angkatan II*.
- Sopandie, D., N. Khumaida, Kisman, and T. Takano. 2005b. Adaptability of soybean to shade stress: Cloning and identification of a full-length cDNA clone encoding the photosystem I sub unit. *The 10th International Congress of SABRAO (The Society for The Advancement of Breeding Researchers in Asia and Oceania)*, Tsukuba, Japan, August 22-23, 2005.

- Sopandie, D. 2006. Persepektif fisiologi dalam pengembangan tanaman pangan di lahan marjinal. Orasi Ilmiah Guru Besar, Institut Pertanian Bogor, 16 September 2006.
- Soverda, N. 2002. Karakteristik fisiologi fotosintetik dan pewarisan sifat toleran naungan pada padi gogo. Disertasi Doktor. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Suwarno, H.M. Toha, dan Ismail BP. 2004. Ketersediaan teknologi dan peluang pengembangan padi gogo. Makalah disampaikan pada Seminar IPTEK Pekan Padi Nasional-II. Sukamandi, 16 Juli 2004. Puslitbangtan Pangan, Bogor.
- Takano, T., N. Khumaida, and D. Sopandie. 2003. Adaptability of soybean to shade stress: screening and identification of shading elated genes in the young leaves of soybean genotypes using differential display. Proceedings of the 2nd Seminar Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production. February 15-16 2003. The University of Tokyo, Japan.
- Trikoesoemaningtyas, D. Sopandie, and T. Takano. 2003. Genetic and breeding of soybean for adaptation to shade stress. Proceeding of the 2nd Seminar Toward Harmonization between Deveiopment and Environmental Conservation in Biological Production. Tokyo :Tokyo University. February 15-16, 2003.
- Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas, D. Sopandie, and T. Takano. 2004. Development of selection criteria for the selection of shade-tolerant soybean lines. Procceding of the 3rd Seminar on Toward Harmonization between Development and Environmental Conservation in Biological Production. Serang, Banten, December 3-5, 2004.
- Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas, and D. Sopandie. 2005. Selection for low light intensity-tolerant soybean lines for intercropping. 10th International Congress of SABRAO. How to Utilize Crop Diversity for Productivity and Sustainability Breeding Science and Technology for the New Era. August 22-23, 2005. Tsukuba, Japan.
- Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas, D.M. Arsyad, dan D. Sopandie. 2009. Aplikasi marka morfologi dan molekuler dalam pembentukan varietas kedelai toleran. Laporan akhir penelitian KKP3T, Departemen Pertanian.
- Tyas, K.N., N. Khumaida, dan D. Sopandie. 2006. Adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah melalui efisiensi penangkapan cahaya. Makalah Seminar Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.