

Karakter Kuantitatif Kacang Hijau pada Lingkungan Naungan

Titik Sundari

Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian
 Jl. Raya Kendalpayak Km 8, Kotak Pos 66 Malang
 Email: titik_iletri@yahoo.co.id

Naskah diterima 31 Januari 2011 dan disetujui diterbitkan 7 Desember 2011

ABSTRACT. Quantitative Characters of Mungbean under Shaded Environments. Tolerance to shade among mungbean genotypes were assessed based on their environmental stress tolerance indices (ITC). Through an approach of direct and indirect relationships between quantitative characters, quantitative characters that play roles in mungbean tolerance to shade were identified. The trial was conducted at Kendalpayak Experimental Farm, Malang. Treatments were without shading and with a 52% shading using 12 mungbean genotypes representing 9 genotypes tolerant to shading and susceptible genotypes. Under each shaded environment, the treatments were arranged in a randomized block design with three replications. Observations were carried out on plant morphology (leaf number, leaf area, specific leaf area, leaf hairs number, plant height, stem diameter, age of flowering and harvesting, number of pods, pod dry weight, seed weight and seed size) and leaf anatomy (thickness of leaves, epiderm cells, palisade tissue length, and number of leaf stomates). Mungbean genotypes that were tolerant to shading had different plant morphology and leaf anatomy from those of susceptible genotypes. The tolerant mungbean genotypes had larger leaves, less number of leaf hairs, thicker leaves, thinner leaf epidermal cells, longer palisade tissue, more number of stomates, higher contents of chlorophyll a and b, larger diameter of stem, higher pod dry weight, larger seed size, and higher grain yields than those of the susceptible genotypes. Three characters of mungbean plants that need to be taken into account in determining tolerance to shade were the leaf area, number of leaf hairs, and seed weight per plant. Selection of the immatured beans can be done using indirect selection based on the three characters, namely stem diameters at 2 and 4 weeks after planting (WAP), plant height at 4 WAP, and weight of 100 seeds.

Key words: Mungbean, plant anatomy and morphology, selection, shade tolerance.

ABSTRAK. Toleransi genotipe kacang hijau terhadap naungan dinilai berdasarkan indeks toleransinya terhadap cekaman lingkungan (ITC) melalui pendekatan hubungan langsung dan tidak langsung antar karakter kuantitatif untuk mencari karakter kuantitatif yang berperan langsung dan tidak langsung pada toleransi genotipe kacang hijau terhadap naungan. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Kendalpayak, Malang, pada kondisi tanpa naungan dan dengan naungan 52% menggunakan 12 genotipe kacang hijau (9 genotipe toleran naungan dan tiga genotipe rentan naungan). Pada setiap lingkungan naungan, perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap morfologi tanaman (jumlah helai daun, luas daun, luas daun spesifik, jumlah bulu daun, tinggi tanaman, diameter batang, diameter batang, umur berbunga, umur panen, jumlah polong, bobot kering polong, bobot biji, dan ukuran biji) dan anatomi daun (tebal daun, tebal sel epidermis, panjang jaringan palisade, dan jumlah stomata daun). Genotipe kacang hijau yang toleran naungan memiliki karakter

anatomi dan morfologi berbeda dengan genotipe yang rentan. Genotipe kacang hijau yang toleran naungan memiliki daun yang lebih besar, jumlah bulu daun lebih sedikit, daun lebih tebal, sel epidermis daun lebih tipis, jaringan palisade lebih panjang, jumlah stomata lebih banyak, kandungan klorofil a dan b lebih tinggi, diameter batang lebih besar, bobot kering polong lebih tinggi, ukuran biji lebih besar, dan hasil biji lebih tinggi dibanding genotipe yang rentan. Tiga karakter tanaman yang perlu diperhitungkan dalam menentukan toleransi kacang hijau terhadap naungan adalah luas daun, jumlah bulu daun, dan bobot biji per tanaman. Seleksi terhadap hasil biji kacang hijau dapat dilakukan melalui seleksi tidak langsung menggunakan karakter diameter batang pada 2 dan 4 minggu setelah tanam (MST), tinggi tanaman pada 4 MST, dan bobot 100 biji.

Kata kunci: kacang hijau, *Phaseolus radiatus* L., seleksi, naungan

Kacang hijau dapat ditanam pada lingkungan yang beragam, pada lingkungan dengan sinar matahari penuh hingga kondisi naungan dengan pola tumpangsari, atau pada lahan ternaungi tanaman tahunan. Pemanfaatan lahan kosong di bawah tegakan tanaman perkebunan/kehutanan sering bermasalah karena berkurangnya intensitas cahaya yang sampai ke permukaan tanah. Hal ini mempengaruhi proses fisiologi tanaman termasuk proses membuka dan menutupnya stomata, transpirasi, dan fotosintesis (Rajakapke *et al.* 1999).

Naungan pada tanaman mengakibatkan penurunan laju fotosintesis dan titik kejenuhan cahaya. Hal ini berdampak terhadap penurunan komponen hasil dan hasil kedelai (Kurosaki and Yumoto 2003). Pullins (2000) melaporkan bahwa mekanisme ketahanan tanaman kedelai terhadap kekurangan cahaya adalah penghindaran terhadap kekurangan cahaya. Indikator dari mekanisme tersebut adalah peningkatan alokasi bahan kering dari daun ke batang utama, mencapai 109%, yang diperoleh dari penurunan bahan kering daun 95% dan cabang 93%. Penghindaran terhadap kekurangan cahaya juga dilakukan tanaman melalui pemanjangan buku, yang memacu pemanjangan dinding sel hipokotil kedelai (Guo Liu *et al.* 2011). Hal ini menyebabkan tanaman rebah pada fase reproduktif dan menurunkan hasil kedelai (Wu *et al.* 2007).

Pada tanaman kacang hijau, naungan mengakibatkan penurunan hasil hingga 75%, bergantung pada varietas yang ditanam. Pengurangan intensitas cahaya dari 100% menjadi 90% tidak nyata menurunkan hasil biji, bobot kering total, bobot kering daun, dan umur berbunga kacang hijau, tetapi menurunkan jumlah polong dan bobot kering akar, serta meningkatkan tinggi tanaman. Namun, penurunan intensitas cahaya hingga 50% radiasi penuh menyebabkan penurunan hasil biji 37-74% (Laosuwan *et al.* 1991). Varietas yang sesuai untuk pola tumpangsari dicirikan oleh kemampuan adaptasi fisiologisnya untuk bersaing dalam mendapatkan cahaya, air, dan hara.

Pada tanaman kedelai, beberapa karakter morfologi dan fisiologi daun dapat digunakan sebagai penciri adaptasi terhadap naungan (Kisman *et al.* 2007, Handayani 2003). Khumaida (2002) dan Soepandi *et al.* (2003) melaporkan bahwa genotipe toleran naungan dicirikan oleh daun yang lebih lebar dan tipis, kandungan klorofil b lebih tinggi dan rasio klorofil a/b lebih rendah dibanding genotipe peka. Perubahan karakter morfologi dan fisiologi merupakan bentuk mekanisme adaptasi tanaman terhadap cekaman naungan (Evans and Poorter 2001; Kim *et al.* 2005; Jufri 2006 and Muhuria 2007).

Seleksi toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik berdasarkan karakter daya hasil kurang efektif, karena karakter ini dikendalikan oleh banyak gen dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, sehingga pencapaian tujuan dalam seleksi akan sulit dan perlu waktu yang cukup lama. Berdasarkan hal tersebut maka seleksi sebaiknya dilakukan pada karakter penciri khusus seperti respon: (1) morfologi, (2) anatomi, (3) fisiologi/biokimia, dan (4) hormonal (Chahal and Gosal 2003). Menurut Fernandez (1992), seleksi terhadap cekaman lingkungan berdasarkan hasil dapat mempergunakan kriteria indeks toleransi terhadap cekaman (ITC). Berdasarkan hal tersebut maka perlu dikaji keragaman genetik dan fenotipik serta heritabilitas karakter khusus penciri toleransi terhadap cekaman naungan yang berkorelasi dan berkontribusi nyata terhadap ITC.

Penggunaan kultivar kacang hijau toleran naungan merupakan alternatif paling baik untuk meningkatkan produktivitas lahan dengan pola tumpangsari, pada bawah tegakan tanaman perkebunan atau hutan yang masih muda, atau pada pola tumpangsari dengan tanaman pangan lain. Hasil identifikasi toleransi plasma nutfah kacang hijau terhadap naungan diperoleh 18 genotipe yang tergolong toleran terhadap naungan, diantaranya MLG 424, MLG 336, MLG 429, MLG 237, MLG 369, MLG 428, MMC 87D-KP-2, dan MLG 310, dan 38 genotipe tergolong rentan, diantaranya MLG 522, MLG

460, MLG 330, MLG 106, MLG 863, MLG 509, NURI, dan MLG 290, serta 44 genotipe tergolong agak toleran (Sundari *et al.* 2005).

Penelitian bertujuan untuk: (1) mengetahui hubungan langsung dan tak langsung antarkarakter kuantitatif dalam kaitannya dengan upaya seleksi toleransi kacang hijau terhadap naungan, dan (2) mengkaji keragaman genetik dan fenotipik serta heritabilitas karakter khusus penciri toleransi terhadap naungan yang berkorelasi dan berkontribusi nyata terhadap ITC.

BAHAN DAN METODE

Sebanyak 12 genotipe kacang hijau terdiri dari delapan genotipe toleran (MMC 87 D-KP-2, MLG 369, MLG 310, MLG 424, MLG 336, MLG 428, MLG 237 dan MLG 429), tiga genotipe rentan (Nuri, MLG 460 dan MLG 330) terhadap naungan, dan satu genotipe pembanding toleran (VC 2768B) diuji pada dua tingkat naungan, yaitu tanpa naungan sebagai kontrol dan naungan 52%, pada MK I 2004. Naungan diberlakukan mulai saat tanam hingga panen, dengan menggunakan dua lapis paranet hitam yang dipasang pada ketinggian naungan 1,8 m di atas permukaan tanah. Rancangan percobaan yang digunakan di masing-masing tingkat naungan adalah acak kelompok lengkap, tiga ulangan.

Setiap genotipe ditanam pada plot berukuran 3 m x 6 m, jarak tanam 0,40 m x 0,15 m, dua tanaman per lubang tanam. Pupuk diberikan pada saat tanam dengan jarak 3 cm dari lubang tanam sedalam 5 cm dengan dosis 50 kg urea + 50 kg KCl + 100 kg SP36/ha.

Pengamatan dilakukan terhadap karakter morfologi (jumlah helai daun, luas daun, luas daun spesifik, jumlah bulu daun, tinggi tanaman, dan diameter batang) secara destruktif pada umur 2, 4, 6, dan 8 MST, dan anatomi (tebal daun, tebal sel epidermis, panjang jaringan palisade dan jumlah stomata daun) pada umur 4 MST, dengan mengambil sampel daun yang sudah membuka sempurna, yaitu daun urutan ke empat dari pucuk, komponen hasil dan hasil (umur berbunga, umur panen, jumlah polong, bobot kering polong, bobot 100 biji, ukuran biji, dan bobot biji per plot). Data dianalisis secara gabungan dari dua lingkungan naungan. Untuk menentukan keeratan hubungan antara karakter kuantitatif dan indeks toleransi genotipe kacang hijau terhadap naungan (ITC) dilakukan analisis korelasi. Pengaruh langsung dan tak langsung dari karakter kuantitatif yang berhubungan erat dengan ITC dihitung dengan menggunakan analisis lintas menurut Singh dan Chaudhary (1977):

$$Y = P_{1x1} + P_{2x2} + P_{3x3} + \dots + P_{z \times z} + R$$

Pendugaan parameter genetik dilakukan terhadap karakter kuantitatif yang berpengaruh langsung terhadap toleransi genotipe dan hasil biji kacang hijau terhadap naungan. Pendugaan parameter genetik dilakukan terhadap nilai heritabilitas arti luas (h^2), koefisien keragaman genetik (KKG), kemajuan genetik (KG), koefisien korelasi (r) genotipik dan fenotipik.

Respon terkorelasi adalah kemajuan genetik suatu karakter yang diseleksi di lingkungan dua (naungan 52%) kemudian ditanam pada lingkungan yang dianjurkan untuk budi daya kacang hijau (tanpa naungan). Respon terkorelasi ($\Delta'G_1$) dihitung dengan rumus Falconer (1981), yaitu:

$$\Delta'G_1 = \frac{h_2}{h_1} r_g \Delta G_1$$

di mana h_1 adalah akar kuadrat heritabilitas hasil di lingkungan tanpa naungan, h_2 adalah akar kuadrat heritabilitas hasil di lingkungan naungan 52%, ΔG_1 adalah respon langsung, yaitu korelasi genotipik antara hasil dengan karakter kuantitatif lain (komponen hasil) di lingkungan tanpa naungan, r_g adalah korelasi genotipik antara karakter yang sama di lingkungan tanpa naungan dan naungan 52%, dengan catatan intensitas seleksi pada kedua lingkungan sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam gabungan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara naungan dengan genotipe terhadap beberapa karakter morfologi (jumlah helai daun, luas daun, luas daun spesifik, jumlah bulu daun, tinggi tanaman, dan diameter batang), anatomi daun (jumlah bulu daun, tebal daun, panjang jaringan palisade daun, tebal sel epidermis dan jumlah stomata), komponen hasil dan hasil (umur berbunga, umur panen, jumlah polong, bobot kering polong, bobot dan ukuran biji, serta bobot biji per plot) (Tabel 1).

Naungan mengakibatkan perubahan morfologi maupun anatomi daun. Pengurangan jumlah helai daun, luas daun per tanaman, dan luas daun spesifik (LDS) pada kelompok genotipe toleran lebih rendah dibanding genotipe rentan. Artinya, cekaman naungan tidak banyak menyebabkan perubahan karakter morfologi daun genotipe toleran naungan. Perlakuan naungan menyebabkan peningkatan masa luas daun (MLD) kelompok genotipe rentan naungan lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe toleran. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok genotipe rentan mempunyai kemampuan mempertahankan MLD lebih lama dibanding genotipe toleran.

Naungan menyebabkan perubahan indeks luas daun (ILD) pada kelompok genotipe toleran naungan lebih kecil dibandingkan dengan genotipe rentan. Hal ini disebabkan karena kelompok genotipe toleran naungan mampu mempertahankan luas daun pada kondisi ternaungi (Tabel 2). Hal ini didukung oleh korelasi yang nyata positif di antara dua karakter tersebut (Tabel 5). Kemampuan mempertahankan luas daun oleh genotipe rentan merupakan salah satu mekanisme untuk mempertahankan kemampuan menyerap cahaya matahari yang lebih banyak.

Pada perlakuan naungan, jumlah bulu daun per tanaman kelompok genotipe toleran naungan lebih sedikit, daun lebih tebal, dan jaringan palisade daun lebih panjang dibandingkan dengan kelompok genotipe rentan, sedangkan sel epidermis lebih tipis. Naungan

Tabel 1. Analisis ragam gabungan dua tingkat naungan karakter morfologi dan anatomi daun, batang, dan komponen hasil genotipe kacang hijau.

Karakter	Sumber keragaman		
	Naungan	Genotipe	Interaksi
Jumlah helai daun/tanaman, 2 MST	tn	tn	tn
Jumlah helai daun/tanaman, 4 MST	**	**	tn
Jumlah helai daun/tanaman, 6 MST	**	*	**
Jumlah helai daun/tanaman, 8 MST	**	*	**
Luas daun (cm ² /tanaman), 2 MST	tn	tn	**
Luas daun (cm ² /tanaman), 4 MST	**	*	**
Luas daun (cm ² /tanaman), 6 MST	**	**	**
Luas daun (cm ² /tanaman), 8 MST	**	tn	**
Luas daun spesifik (cm ² /g), 2 MST	*	tn	**
Luas daun spesifik (cm ² /g), 4 MST	**	tn	**
Luas daun spesifik (cm ² /g), 6 MST	**	tn	tn
Luas daun spesifik (cm ² /g), 8 MST	**	**	**
Jumlah bulu daun/tanaman	**	**	**
Tebal daun (µm)	*	*	**
Tebal sel epidermis(µm)	tn	tn	**
Panjang jaringan palisade daun (µm)	*	**	**
Jumlah stomata/cm ²	*	tn	**
Jumlah stomata/tanaman	**	tn	**
Tinggi tanaman (cm), 2 MST	**	*	**
Tinggi tanaman (cm), 4 MST	**	**	tn
Tinggi tanaman (cm), 6 MST	**	**	**
Tinggi tanaman (cm), 8 MST	tn	**	tn
Diameter batang (cm), 2 MST	tn	**	tn
Diameter batang (cm), 4 MST	**	tn	tn
Diameter batang (cm), 6 MST	tn	tn	tn
Diameter batang (cm), 8 MST	**	tn	tn
Umur berbunga (HST)	tn	**	**
Umur panen (HST)	tn	**	tn
Jumlah polong per tanaman	**	**	tn
Bobot kering polong (g/tanaman)	**	tn	**
Bobot 100 biji (g)	*	**	tn
Bobot biji (g/tanaman)	**	**	*
Bobot biji (g/plot)	**	**	*

** dan *: masing-masing menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 1%, dan 5%

tn: tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%.

tidak banyak menyebabkan pengurangan jumlah bulu daun, tebal daun dan panjang jaringan palisade daun. (Tabel 2). Bulu daun merupakan salah satu reflektan, sehingga mempengaruhi cahaya matahari yang direfleksikan.

Karakter batang (tinggi tanaman dan diameter batang) genotipe kacang hijau toleran naungan berbeda dengan genotipe rentan. Perbedaan tersebut terdapat pada tinggi tanaman dan diameter batang, dengan nilai masing-masing karakter lebih tinggi dibanding genotipe rentan (Tabel 2). Genotipe kacang hijau toleran naungan

memiliki diameter batang yang lebih besar dibandingkan dengan genotipe rentan. Diameter batang yang lebih besar bermanfaat dalam menopang pertumbuhan tinggi tanaman akibat etiolasi, sehingga tanaman tidak mudah rebah.

Pada perlakuan naungan, bobot kering polong, bobot 100 biji, dan bobot biji per tanaman maupun per plot kelompok genotipe toleran lebih besar dibanding dengan kelompok genotipe rentan. Meskipun perlakuan naungan mengakibatkan pengurangan nilai karakter-karakter tersebut, namun tingkat pengurangan yang

Tabel 2. Perubahan karakter morfologi dan anatomi daun kelompok kacang hijau toleran dan rentan terhadap naungan.

Karakter morfologi dan anatomi	Genotipe toleran naungan			Genotipe rentan naungan		
	0%	52%	Perubahan (%)	0%	52%	Perubahan (%)
Jumlah helai daun per tanaman, 2 MST	5	5	0	5	5	0
Jumlah helai daun per tanaman, 4 MST	14	12	-14,29	15	13	-13,33
Jumlah helai daun per tanaman, 6 MST	26	18	-30,77	30	18	-40,00
Jumlah helai daun per tanaman, 8 MST	25	17	-32,00	25	16	-36,00
Luas daun (cm ² /tanaman), 2 MST	37,46	36,84	-1,66	33,70	33,72	0,06
Luas daun (cm ² /tanaman), 4 MST	313,75	271,67	-13,41	329,80	238,39	-27,72
Luas daun (cm ² /tanaman), 6 MST	918,05	724,28	-21,11	1028,92	703,70	-31,61
Luas daun (cm ² /tanaman), 8 MST	996,21	758,36	-23,88	840,38	614,37	-26,89
Luas daun spesifik (cm ² /g), 2 MST	295,19	386,37	30,89	297,00	421,08	41,78
Luas daun spesifik (cm ² /g), 4 MST	275,90	370,20	34,18	276,91	396,69	43,26
Luas daun spesifik (cm ² /g), 6 MST	211,44	299,45	41,62	219,14	299,71	36,77
Luas daun spesifik (cm ² /g), 8 MST	174,50	247,19	41,66	180,23	239,24	32,74
Masa luas daun (hari), 2 MST	0,44	0,43	0,02	0,39	0,40	-0,03
Masa luas daun (hari), 4 MST	2,49	2,23	0,10	2,51	1,46	0,42
Masa luas daun (hari), 6 MST	9,23	7,61	0,18	10,05	5,06	0,50
Masa luas daun (hari), 8 MST	18,35	14,46	0,21	18,83	9,13	0,52
Indeks luas daun, 2 MST	0,06	0,06	0	0,05	0,04	-20,00
Indeks luas daun, 4 MST	0,29	0,23	-26,09	0,30	0,17	-76,47
Indeks luas daun, 6 MST	1,03	0,83	-19,42	1,13	0,56	-50,44
Indeks luas daun, 8 MST	1,59	1,24	-22,01	1,56	0,75	-51,92
Jumlah bulu daun/tanaman	12344	8363	-32,25	15266	9165	-39,96
Tebal daun (µm)	19,65	16,08	-18,17	19,01	13,84	-27,20
Tebal sel epidermis(µm)	1,53	1,12	-26,80	1,23	1,23	0
Panjang jaringan palisade daun (µm)	10,87	8,85	-18,58	10,34	7,26	-29,79
Jumlah stomata/cm ²	188	160	-14,89	204	140	-31,37
Jumlah stomata/tanaman	59563	43132	-27,59	66895	33941	-49,26
Tinggi tanaman (cm), 2 MST	6,83	16,13	136,16	6,83	16,18	136,90
Tinggi tanaman (cm), 4 MST	14,10	23,92	69,65	14,08	22,34	58,66
Tinggi tanaman (cm), 6 MST	44,44	61,48	38,34	41,13	63,11	53,44
Tinggi tanaman (cm), 8 MST	62,67	73,56	17,38	65,61	68,56	4,50
Diameter batang (cm), 2 MST	0,30	0,30	0	0,27	0,28	3,70
Diameter batang (cm), 4 MST	0,52	0,43	-17,31	0,51	0,41	-19,61
Diameter batang (cm), 6 MST	0,57	0,55	-3,51	0,53	0,55	3,77
Diameter batang (cm), 8 MST	0,70	0,60	-14,29	0,72	0,58	-19,44
Umur berbunga (hst)	36,14	35,70	-1,22	35,70	35,00	-2,78
Umur panen (hst)	61,52	60,44	-1,76	60,77	60,56	-0,35
Jumlah polong per tanaman	14,00	11,00	-21,43	11,00	11,00	-35,29
Jumlah biji per polong	12,00	12,00	0,00	12,00	12,00	0,00
Panjang polong (cm)	10,25	9,66	-5,76	9,66	9,16	-5,08
Bobot kering polong (g/polong)	10,49	7,28	-30,60	7,28	6,16	-47,30
Bobot 100 biji (g)	6,61	5,94	-10,14	5,94	5,44	-10,67
Bobot biji (g/tan)	6,54	4,54	-30,58	4,54	3,34	-42,71
Bobot biji (g/plot)	754,93	552,56	-26,81	552,56	360,66	-49,00

tanda (-) menunjukkan adanya pengurangan akibat naungan

terjadi pada kelompok genotipe toleran naungan lebih kecil dibanding kelompok genotipe rentan, kecuali karakter panjang polong (Tabel 2).

Naungan menyebabkan penurunan hasil biji. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya penerimaan cahaya akibat naungan. Cahaya terserap merupakan faktor penting dalam proses fotosintesis, pertumbuhan, dan hasil tanaman. Pengurangan cahaya terserap mengakibatkan pengurangan aktivitas fotosintesis, sehingga alokasi fotosintat ke organ reproduksi berkurang (Osuni *et al.* 1998). Konsekuensinya, hasil akan mengalami penurunan.

Tabel 3. Indeks toleransi terhadap cekaman (ITC) naungan dua belas genotipe kacang hijau.

Genotipe	ITC	
	per tanaman	per satuan luas ¹⁾
MMC 87 D-KP-2	0,79	0,93
MLG 369	0,74	0,76
MLG 310	0,73	0,60
MLG 424	0,68	0,55
MLG 336	0,67	0,65
VC 2768B	0,60	0,69
Nuri ^{a)}	0,28	0,45
MLG 460 ^{a)}	0,61	0,50
MLG 428	0,83	0,85
MLG 330 ^{a)}	0,59	0,43
MLG 237	0,76	1,15
MLG 429	0,80	0,69
Rata-rata	0,67	0,69
Koefisien korelasi antara ITC per tanaman dengan ITC per satuan luas	0,64*	

^{a)}: genotipe kacang hijau rentan terhadap naungan, ¹⁾ luas: 6 m²

Toleransi suatu genotipe terhadap cekaman dinilai berdasarkan indeks toleransi terhadap cekaman (ITC). Kelompok genotipe toleran naungan memiliki nilai ITC lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok genotipe rentan (Tabel 3).

Berdasarkan hasil analisis korelasi diketahui bahwa ITC berhubungan erat dengan 12 karakter kuantitatif, dan koefisien korelasi tertinggi dicapai pada korelasi antara ITC dengan hasil biji. Hasil biji berkorelasi nyata dengan sembilan karakter kuantitatif (Tabel 4).

Secara keseluruhan nilai korelasi genotipik antar-karakter kuantitatif yang berhubungan erat dengan ITC dan hasil biji searah dengan korelasi fenotipik, kecuali LDS 2 MST dengan LDS 4 MST tidak searah (Tabel 5).

Karakter tinggi tanaman pada 4 MST, diameter batang pada 2 dan 4 MST, luas daun, indeks luas daun, masa luas daun, laju fotosintesis per tanaman pada 2 MST, bobot kering polong dan bobot 100 biji menunjukkan nilai korelasi genotipik nyata positif dengan hasil biji. Beberapa penelitian juga menunjukkan tinggi tanaman dan bobot 100 biji mempunyai korelasi yang sangat tinggi terhadap hasil kacang hijau (Hameed *et al.* 2002; Sarwar *et al.* 2004; Sadiq *et al.* 2005). Seleksi terhadap karakter-karakter tersebut dapat dilakukan berdasarkan penampilan fenotipik, karena korelasi genotipik dan fenotipiknya searah (Tabel 5). Kekeliruan seleksi berdasarkan penampilan fenotipe dapat dihindari dengan adanya korelasi genotipik dan fenotipik yang searah. Secara umum nilai koefisien korelasi genotipik lebih besar dibandingkan dengan korelasi fenotipik.

Korelasi nyata positif antara karakter-karakter tersebut dengan hasil biji menunjukkan peningkatan nilai karakter tersebut berhubungan erat dengan peningkatan hasil biji. Dengan kata lain, seleksi terhadap karakter-karakter tersebut dapat meningkatkan hasil biji.

Tabel 4. Koefisien korelasi (r) karakter kuantitatif yang berkorelasi nyata dengan hasil biji dan indeks toleransi kacang hijau terhadap cekaman (ITC) naungan pada perlakuan naungan 52%.

Karakter kuantitatif	Hasil biji	Karakter kuantitatif	ITC
Luas daun (cm ²), 2 MST	0,695*	Luas daun (cm ²), 2 MST	0,617*
Diameter batang (cm), 2 MST	0,646*	Tinggi tanaman (cm), 4 MST	0,591*
Diameter batang (cm), 4 MST	0,661*	Diameter batang (cm), 2 MST	0,638*
Jumlah bulu/cm ² luas daun	-0,841**	Diameter batang (cm), 4 MST	0,718**
Indeks luas daun, 2 MST	0,685*	Tebal sel epidermis (µm)	-0,592*
Masa Luas Daun (hari ILD), 2 MST	0,715**	Jumlah bulu/cm ² luas daun	-0,749**
Luas Daun Spesifik (cm ² /g), 2 MST	-0,577*	Indeks luas daun, 2 MST	0,561*
Luas Daun Spesifik (cm ² /g), 4 MST	-0,663*	Masa Luas Daun (hari ILD), 2 MST	0,628*
Bobot 100 biji (g)	0,606*	Luas Daun Spesifik (cm ² /g), 2 MST	-0,630*
		Luas Daun Spesifik (cm ² /g), 4 MST	-0,594*
		Bobot kering polong (g/tanaman)	0,597*
		Hasil biji (g/tanaman)	0,944**

* dan **: berbeda nyata pada taraf uji 5% dan 1%, MLD: masa luas daun, ILD: indeks luas daun, LDS: luas daun spesifik, korelasi dihitung dari n data = 12,

Tabel 5. Koefisien korelasi genotipik (atas) dan fenotipik (bawah) karakter kuantitatif yang berhubungan erat dengan hasil biji per tanaman dan indeks toleransi per tanaman (ITC) genotype kacang hijau terhadap naungan 52%.

Karakter	Korelasi	TT-4	DB-2	DB-4	LD2	ILD2	LDS2	LDS4	MLD2	Epidermis	JBL	BKplg/t	B100 bj
TT-4 ^{a)}	Genotipik	1											
	Fenotipik	1											
DB-2	Genotipik	0,94**	1										
	Fenotipik	0,82**	1										
DB-4	Genotipik	1,02**	1,31**	1									
	Fenotipik	0,64**	0,68**	1									
LD2	Genotipik	0,80**	0,66**	1,31**	1								
	Fenotipik	0,77**	0,60**	0,67**	1								
ILD2	Genotipik	0,47*	0,66**	1,29**	0,99**	1							
	Fenotipik	0,40 ^{ns}	0,59**	0,72**	0,97**	1							
LDS2	Genotipik	-0,95**	-0,64**	-1,03**	-0,32 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	1						
	Fenotipik	-0,90**	-0,79**	-0,55**	-0,25 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	1						
LDS4	Genotipik	-0,62**	-0,54**	-0,09 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,91**	1					
	Fenotipik	-0,83**	-0,63**	-0,32 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,86**	1					
MLD2	Genotipik	0,42*	0,67**	1,15**	1,00**	0,98**	-0,31 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	1				
	Fenotipik	0,37 ^{ns}	0,61**	0,68**	1,00**	0,97**	-0,26 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	1				
Epidermis	Genotipik	-0,96**	-0,76**	-1,35**	-0,37 ^{ns}	-0,45*	0,51*	0,64**	-0,39 ^{ns}	1			
	Fenotipik	-0,70**	-0,61**	-0,73**	-0,32 ^{ns}	-0,41*	0,66**	0,53**	-0,34 ^{ns}	1			
JBL	Genotipik	-0,67**	-0,83**	-1,29**	-0,78**	-0,83**	0,75**	0,69**	-0,78**	0,50*	1		
	Fenotipik	-0,61**	-0,72**	-0,71**	-0,76**	-0,80**	0,66**	0,63**	-0,77**	0,42*	1		
BKplg/tan	Genotipik	0,54**	0,45*	0,68**	0,37 ^{ns}	0,36 ^{ns}	-0,79**	-0,90**	0,36 ^{ns}	-0,68**	-0,56**	1	
	Fenotipik	0,43*	0,37 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,33 ^{ns}	-0,60**	-0,63**	0,32 ^{ns}	-0,55**	-0,48*	1	
B100 bj	Genotipik	0,51*	0,70**	1,17**	0,92**	0,90**	-0,32 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	0,92**	-0,40 ^{ns}	-0,84**	0,34 ^{ns}	1
	Fenotipik	0,45*	0,63**	0,72**	0,90**	0,88**	-0,32 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,90**	-0,37 ^{ns}	-0,81**	0,31 ^{ns}	1
BJ/t	Genotipik	0,66**	0,79**	1,01**	0,75**	0,76**	-0,66**	-0,68**	0,74**	-0,53**	-0,90**	0,63**	0,62**
	Fenotipik	0,57**	0,67**	0,63**	0,70**	0,68**	-0,61**	-0,66**	0,69**	-0,46*	-0,84**	0,61**	0,55**

^{ns}: tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%, * dan **: masing-masing menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 5% dan 1%, TT-4 (tinggi tanaman, cm), DB (diameter batang, cm), LD (luas daun, cm²), ILD (indeks luas daun), LDS (luas daun spesifik), MLD (masa luas daun, hari ILD), LPT (laju pertumbuhan tanaman, g/g/hari), JBL (jumlah bulu/0,25 cm² luas daun), FS/t (laju fotosintesis, imol/tanaman/dt), PAR/t (laju penangkapan *Photosynthetically active radiation*, imol/tanaman/dt), BKplg (bobot kering polong, g/tanaman), B100 bj (bobot 100 biji, g), BJ/t (bobot biji, g/tanaman).

^{a)}: angka di belakang setiap karakter menunjukkan umur dalam minggu setelah tanam (MST), korelasi dihitung dari n data = 72

Korelasi genotipik antara karakter hasil biji dengan LDS pada 2 dan 4 MST, menunjukkan nilai tebal sel epidermis dan jumlah bulu nyata negatif, demikian juga dengan korelasi fenotipik (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya LDS maka tebal sel epidermis dan jumlah bulu daun berhubungan erat dengan penurunan hasil biji. Sel epidermis dan bulu daun berperan sebagai reflektan. Peningkatan ketebalan sel epidermis dan jumlah bulu daun mengakibatkan pengurangan laju penangkapan radiasi (*photosynthetically active radiation*, PAR), karena cahaya banyak yang direfleksikan. Penangkapan cahaya untuk proses fotosintesis dapat ditingkatkan dengan mengurangi proporsi cahaya yang direfleksikan dan ditransmisikan.

Pengaruh langsung dan tidak langsung karakter-karakter yang berhubungan erat dengan ITC dikaji melalui analisis sidik lintas. Namun tidak semua karakter yang berkorelasi nyata dengan ITC disertakan dalam analisis lintas. Dalam hal ini hanya karakter daun (luas daun, indeks luas daun, masa luas daun dan LDS 2 MST

dan 4 MST, tebal sel epidermis, jumlah bulu daun per satuan luas), bobot kering polong, dan bobot biji per tanaman yang dilibatkan dalam analisis lintas, karena daun merupakan organ tanaman yang berhubungan langsung dengan cahaya, sedangkan polong dan biji merupakan organ penyimpan fotosintat yang mempunyai nilai ekonomis, terutama biji.

Hasil analisis lintas pada Tabel 6 menunjukkan bahwa pengaruh sisa sangat kecil, oleh karena itu dapat dikatakan analisis lintas sudah baik. Dari sembilan karakter kuantitatif yang berhubungan erat dengan ITC, tidak satupun yang mutlak dominan mandiri menentukan ITC. Namun secara relatif, karakter luas daun pada 2 MST dan bobot biji per tanaman memberikan nilai koefisien korelasi positif dan besar terhadap ITC (0,62 dan 0,94) dan pengaruh langsung dari kedua karakter tersebut juga positif besar (16,95 dan 1,09). Demikian juga dengan karakter jumlah bulu per satuan luas daun, namun dengan nilai koefisien korelasi (-1,06) dan pengaruh langsung negatif besar (-0,75). Apabila koefisien korelasi antara karakter kuantitatif dengan ITC

Tabel 6. Koefisien pengaruh langsung (dalam diagonal) dan pengaruh tidak langsung karakter kuantitatif kacang hijau terhadap indeks toleransi cekaman (ITC) naungan.

	LD2 ⁺	Bjt	Bkplg	Epidermis (μm)	Jbl	ILD2 ⁺	MLD2 ⁺	LDS2 ⁺	LDS4 ⁺	r _{xy}
LD2	16,98	11,80	5,65	-5,44	-12,98	15,96	16,95	-3,04	-4,89	0,62
Bjt	0,76	1,09	0,60	-0,50	-0,91	0,68	0,78	-0,63	-0,72	0,94
Bkplg	0,03	0,05	0,10	-0,05	-0,05	0,03	0,03	-0,06	-0,06	0,60
Epidermis	-0,14	-0,20	-0,24	0,42	0,17	-0,15	-0,13	0,27	0,22	-0,59
Jbl	0,81	0,90	0,52	-0,44	-1,06	0,84	0,84	-0,67	-0,67	-0,75
ILD2	-1,14	-0,76	-0,35	0,43	0,95	-1,21	-1,13	0,19	0,26	0,56
MLD2	-16,68	-11,95	-5,72	5,06	13,17	-15,59	-16,71	3,40	5,29	0,63
LDS2	0,05	0,16	0,18	-0,18	-0,18	0,04	0,06	-0,28	-0,24	-0,63
LDS4	-0,06	-0,14	-0,13	0,11	0,14	-0,05	-0,07	0,18	0,21	-0,59

Pengaruh sisa= 0,01

⁺): angka yang mengikuti karakter kuantitatif menunjukkan umur (MST), LD (luas daun, cm²), Bjt (bobot biji, g/tanaman), Bkplg (bobot kering polong, g/tanaman), Jbl (jumlah bulu/0,25 cm² luas daun), ILD (indeks luas daun), MLD (masa luas daun, hari ILD), LDS (Luas daun spesifik, cm²/g), angka tercetak tebal merupakan koefisien lintas yang menunjukkan pengaruh langsung

hampir sama dengan pengaruh langsungnya maka koefisien korelasi menunjukkan keeratan hubungan antara karakter kuantitatif dengan ITC seutuhnya. Berdasarkan kenyataan ini, kekuatan karakter luas daun pada 2 MST dan bobot biji per tanaman dalam menentukan ITC ke arah positif lebih besar dibanding karakter lainnya. Sedangkan kekuatan karakter jumlah bulu daun per satuan luas dalam menentukan ITC ke arah negatif lebih besar dibandingkan karakter lainnya. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa ITC dapat ditingkatkan melalui peningkatan luas daun pada 2 MST, bobot biji per tanaman, dan pengurangan jumlah bulu daun per luas.

Apabila koefisien korelasi antara karakter kuantitatif dengan ITC menunjukkan nilai positif, sedangkan pengaruh langsung menunjukkan nilai negatif atau dapat diabaikan, maka karakter-karakter tersebut harus diseleksi secara serempak. Indikasi ke arah ini ditunjukkan oleh karakter ILD dan MLD pada 2 MST yang berkorelasi positif dengan ITC, ($r = 0,56^*$ dan $0,63^*$), sedangkan pengaruh langsung kedua karakter tersebut negatif dan besar (-1,21 dan -16,71). Kenyataan ini menunjukkan karakter ILD dan MLD pada 2 MST memberikan tekanan kuat terhadap ITC. Hal ini disebabkan oleh peran dari karakter jumlah bulu per satuan luas daun. Pengaruh tidak langsung karakter ILD dan MLD 2 MST terhadap ITC terbesar melalui karakter jumlah bulu daun, masing-masing 0,95 dan 13,17. Berdasarkan kenyataan tersebut, maka karakter ILD dan MLD 2 MST dapat dikendalikan dengan memperhatikan karakter jumlah bulu daun sebagai kendalanya. Hubungan ini dapat dijelaskan bahwa peningkatan jumlah bulu akan diikuti oleh peningkatan cahaya yang direfleksikan. Dengan demikian, penerimaan cahaya oleh tanaman berkurang. Pengurangan penerimaan cahaya oleh daun mengakibatkan pertumbuhan

tanaman terganggu. Berdasarkan korelasi fenotipik antara jumlah bulu daun dan ILD serta MLD pada 2 MST diketahui bahwa koefisien korelasi fenotipik antara kedua karakter tersebut dengan jumlah bulu menunjukkan nilai negatif (-0,83** dan -0,78**) (Tabel 5).

Apabila nilai koefisien korelasi antara karakter kuantitatif dengan ITC bernilai negatif, sedangkan pengaruh langsung bernilai positif dan cukup besar, maka pengaruh tidak langsung yang tidak dikehendaki harus dibatasi, sehingga benar-benar memanfaatkan pengaruh langsung. Indikasi ini ditunjukkan oleh karakter tebal sel epidermis dan LDS pada 4 MST dengan pengaruh langsung positif cukup besar (0,42 dan 0,21) dan koefisien korelasi antara kedua karakter tersebut dengan ITC menunjukkan nilai negatif dan cukup besar (-0,59 dan -0,59). Untuk dapat memanfaatkan pengaruh langsung kedua karakter tersebut, maka pengaruh tidak langsungnya melalui karakter lain yang tidak dikehendaki harus dibatasi.

Di antara sembilan karakter kuantitatif kacang hijau, terdapat tiga karakter yang harus diperhatikan, yaitu luas daun pada 2 MST, jumlah bulu daun per satuan luas, dan bobot biji per tanaman. Daun merupakan organ fotosintesis yang berperan dalam penangkapan cahaya, sedangkan bulu daun berperan sebagai reflektan. Apabila bulu daun banyak, maka cahaya yang direfleksikan oleh bulu daun semakin banyak, sehingga penerimaan cahaya pada permukaan daun berkurang.

Karakter luas daun pada 2 MST dan jumlah bulu daun persatuan luas juga dapat digunakan sebagai indikator dalam seleksi terhadap hasil tinggi di bawah naungan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi genotipik dan fenotipik yang cukup besar antara luas daun pada 2 MST dan jumlah bulu daun dengan bobot biji (Tabel 5).

Berdasarkan nilai parameter genetik (Tabel 7-9) diketahui bahwa ketiga karakter (luas daun 2 MST, jumlah bulu per satuan luas daun, dan bobot biji per tanaman) berpeluang untuk diperbaiki melalui seleksi, karena karakter tersebut mempunyai koefisien keragaman genetik, heritabilitas, dan kemajuan genetik tinggi. Seleksi terhadap karakter jumlah bulu daun dan bobot biji per tanaman lebih sesuai dilakukan di bawah naungan karena menunjukkan nilai parameter genetik tertinggi pada perlakuan naungan, sedangkan seleksi karakter luas daun lebih sesuai dilakukan pada kondisi

tanpa naungan, karena karakter tersebut menunjukkan nilai parameter genetik tertinggi pada kondisi tanpa naungan (Tabel 7-9). Namun, seleksi terhadap karakter jumlah bulu tidak harus dilakukan di bawah naungan tetapi juga dapat dilakukan tanpa naungan, karena korelasi antara jumlah bulu daun pada perlakuan tanpa naungan dan naungan menunjukkan nilai positif ($r = 0,67^{**}$).

Menurut Falconer (1981), lingkungan yang sesuai untuk seleksi suatu karakter adalah yang memberikan penampilan terbaik dari karakter yang dikehendaki

Tabel 7. Ragam fenotipe (σ^2_f), simpangan baku ragam fenotipe ($\sigma\sigma^2_f$), karakter kuantitatif genotipe kacang hijau yang berhubungan erat dengan hasil biji per tanaman pada naungan 0%, 52%, dan gabungan.

Karakter	Naungan 0%			Naungan 52%			Gabungan		
	$2\sigma\sigma^2_f$	σ^2_f	Kriteria	$2\sigma\sigma^2_f$	σ^2_f	Kriteria	$2\sigma\sigma^2_f$	σ^2_f	Kriteria
Tinggi tanaman, 4 MST	1,39	2,40	Luas	3,20	5,55	Luas	2,86	3,59	Luas
Luas daun, 2 MST	52,73	91,32	Luas	13,96	24,18	Luas	32,04	57,33	Luas
Diameter batang, 2 MST	0,001	0,001	Luas	0,001	0,001	Luas	0,001	0,001	Luas
Diameter batang, 4 MST	0,001	0,001	Luas	0,001	0,001	Luas	0,001	0,001	Sempit
Indeks luas daun, 2 MST	0,0002	0,0003	Luas	0,000	0,0001	Luas	0,0001	0,0002	Luas
Masa luas daun, 2 MST	0,0002	0,0003	Luas	0,002	0,003	Luas	0,004	0,01	Luas
Luas daun spesifik, 2 MST	1851,051	3206,11	Luas	966,11	1673,35	Luas	1379,56	2350,23	Luas
Luas daun spesifik, 4 MST	474,481	821,83	Luas	345,24	597,97	Luas	398,22	680,46	Luas
Tebal sel epidermis	0,031	0,06	Luas	0,04	0,07	Luas	0,03	0,048	Luas
Jumlah bulu daun ¹⁾	1,921	3,33	Luas	2,69	4,65	Luas	2,75	3,92	Luas
Bobot kering polong	0,851	1,48	Luas	1,09	1,88	Luas	0,96	1,53	Luas
Bobot 100 biji	1,121	1,94	Luas	0,78	1,35	Luas	1,27	1,62	Luas
Bobot biji/tanaman	0,241	0,42	Luas	0,28	0,48	Luas	0,30	0,42	Luas

¹⁾: jumlah bulu daun dihitung per cm² luas daun, MST: minggu setelah tanam

Tabel 8. Ragam genetik (σ^2_g), simpangan baku ragam genetik ($\sigma\sigma^2_g$), koefisien keragaman genetik (KKG) karakter kuantitatif genotipe kacang hijau yang berhubungan erat dengan hasil biji per tanaman pada naungan 0%, 52%, dan gabungan.

Karakter	Naungan 0%					Naungan 52%					Gabungan				
	$2\sigma\sigma^2_g$	σ^2_g	Kriteria	KKG (%)	Kriteria	$2\sigma\sigma^2_g$	σ^2_g	Kriteria	KKG (%)	Kriteria	$2\sigma\sigma^2_g$	σ^2_g	Kriteria	KKG (%)	Kriteria
TT ¹⁾	1,92	1,81	Sempit	7,15	R	4,39	4,60	Luas	11,41	AR	2,84	3,23	Luas	9,56	AR
LD2	71,642	90,34	Luas	26,19	CT	18,97	23,48	Luas	13,35	CT	22,84	28,69	Luas	14,76	T
DB2	0,001	0,001	Sempit	8,90	R	0,001	0,001	Luas	10,68	AR	0,001	0,001	Luas	10,00	AR
DB4	0,001	0,0001	Sempit	2,33	R	0,001	0,0002	Sempit	3,05	R	0,001	0,0002	Sempit	3,01	R
ILD2	0,0002	0,0003	Luas	27,00	CT	0,0001	0,0001	Luas	13,91	CT	0,0001	0,0001	Luas	15,47	CT
MLD2	0,0003	0,0002	Sempit	3,34	R	0,003	0,003	Luas	13,50	CT	0,003	0,004	Luas	14,86	CT
LDS2	2519,27	2954,72	Luas	15,78	AR	1314,13	1566,72	Luas	11,49	CT	770,32	891,31	Luas	8,67	AR
LDS4	645,63	761,54	Luas	8,45	R	470,26	540,51	Luas	7,12	AR	237,73	273,20	Luas	5,06	R
Epidermis	0,05	0,02	Sempit	11,39	AR	0,05	0,05	Sempit	17,31	T	0,02	0,02	Sempit	9,38	CT
JBL	2,62	3,14	Luas	19,09	AR	3,65	4,54	Luas	22,96	T	2,72	3,39	Luas	19,84	T
BKplg	1,17	1,17	Sempit	12,16	AR	1,49	1,57	Luas	14,10	CT	0,82	0,89	Luas	10,61	CT
B100bj	1,52	1,88	Luas	22,27	CT	1,06	1,31	Luas	18,63	T	1,27	1,59	Luas	20,53	T
BJ/t	0,33	0,34	Luas	11,07	AR	0,38	0,43	Luas	12,43	CT	0,30	0,35	Luas	11,13	CT

¹⁾: angka yang mengikuti setiap karakter menunjukkan umur tanaman dalam mst (minggu setelah tanam), R (rendah), AR (agak rendah), CT (cukup tinggi), T (tinggi), TT (tinggi tanaman), LD (luas daun), DB (diameter batang), ILD (indeks luas daun), MLD (masa luas daun), LDS (luas daun spesifik), JBL (jumlah bulu daun per cm² luas daun), PAR/T (laju penangkapan *Photosynthetically active radiation* per tanaman), FS/T (laju fotosintesis per tanaman), LPT (laju pertumbuhan tanaman), BKplg (bobot kering polong), B100bj (bobot 100 biji), BJ/t (bobot biji per tanaman)

Tabel 9. Heritabilitas arti luas (h^2) dan kemajuan genetik (KG, %) karakter kuantitatif kacang hijau yang berhubungan dengan hasil biji dan ITC pada tingkat naungan 0%, 52%, dan gabungan.

Karakter	Naungan 0%				Naungan 52%				Gabungan			
	h^2	Kriteria	KG%	Kriteria	h^2	Kriteria	KG%	Kriteria	h^2	Kriteria	KG%	Kriteria
TT4 ¹⁾	0,75	Tinggi	5,15	Rendah	0,83	Tinggi	18,28	Tinggi	0,90	Tinggi	15,95	Tinggi
LD2	0,99	Tinggi	45,85	Tinggi	0,97	Tinggi	23,16	Tinggi	0,50	Sedang	18,38	Tinggi
DB2	0,67	Tinggi	12,79	Sedang	0,89	Tinggi	17,73	Tinggi	0,90	Tinggi	16,73	Tinggi
DB4	0,15	Rendah	1,60	Rendah	0,20	Sedang	2,42	Rendah	0,38	Sedang	3,24	Rendah
ILD2	0,98	Tinggi	47,07	Tinggi	0,95	Tinggi	23,81	Tinggi	0,51	Tinggi	19,51	Tinggi
MLD2	0,59	Tinggi	4,51	Rendah	0,97	Tinggi	23,43	Tinggi	0,50	Sedang	18,48	Tinggi
LDS2	0,92	Tinggi	26,67	Tinggi	0,94	Tinggi	19,57	Tinggi	0,38	Sedang	9,40	Sedang
LDS4	0,93	Tinggi	14,32	Tinggi	0,90	Tinggi	11,91	Sedang	0,40	Sedang	5,64	Rendah
Epidermis	0,40	Sedang	12,75	Sedang	0,78	Tinggi	26,90	Tinggi	0,31	Sedang	9,20	Sedang
JBL	0,94	Tinggi	32,61	Tinggi	0,98	Tinggi	39,90	Tinggi	0,87	Tinggi	32,48	Tinggi
Bobot kering polong	0,79	Tinggi	19,01	Tinggi	0,83	Tinggi	22,64	Tinggi	0,58	Tinggi	14,24	Tinggi
Bobot 100 biji	0,97	Tinggi	38,53	Tinggi	0,97	Tinggi	32,28	Tinggi	0,98	Tinggi	35,82	Tinggi
Bobot biji/tanaman	0,83	Tinggi	17,70	Tinggi	0,90	Tinggi	20,79	Tinggi	0,83	Tinggi	17,86	Tinggi

¹⁾: angka yang mengikuti setiap karakter menunjukkan umur tanaman dalam mst (minggu setelah tanam), R (rendah), AR (agak rendah), CT (cukup tinggi), T (tinggi), TT (tinggi tanaman), LD (luas daun), DB (diameter batang), ILD (indeks luas daun), MLD (masa luas daun), LDS (luas daun spesifik), JBL (jumlah bulu per 0,25 cm² luas daun)

dengan kemajuan genetik yang lebih besar dibandingkan dengan lingkungan yang tidak sesuai, serta koefisien keragaman genetik, dan heritabilitas yang tinggi pula.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dinyatakan bahwa karakter bobot biji, luas daun, dan jumlah bulu daun merupakan indikator yang baik untuk seleksi toleransi genotipe kacang hijau terhadap naungan. Seleksi terhadap ketiga karakter tersebut dapat dilakukan berdasarkan fenotipenya, karena mempunyai nilai koefisien korelasi genotipik yang sama besar dan searah dengan koefisien korelasi fenotipik (Tabel 5).

Penelitian ini memperlihatkan pengaruh seleksi 16 karakter kuantitatif terhadap hasil biji lebih diprioritaskan dibandingkan dengan pengaruh yang diharapkan bila seleksi dilakukan terhadap hasil biji itu sendiri (Tabel 10). Seleksi tidak langsung terhadap hasil biji melalui seleksi 16 karakter kuantitatif di lingkungan tanpa naungan umumnya dapat meningkatkan hasil biji, kecuali seleksi terhadap laju fotosintesis 2 MST, LDS pada 2 dan 4 MST serta jumlah bulu daun yang dapat menyebabkan penurunan hasil, masing-masing sebesar 0,7%; 13,3%; 12,2% dan 52,3%.

Seleksi tidak langsung terhadap hasil biji melalui 16 karakter kuantitatif di lingkungan naungan umumnya memberikan peningkatan hasil, kecuali seleksi terhadap laju fotosintesis pada 8 MST, LDS pada 2 dan 4 MST, tebal sel epidermis, dan jumlah bulu daun yang dapat menyebabkan penurunan hasil, masing-masing 7,1%; 48,5%; 49,5%; 35,6% dan 67,8%.

Pada perlakuan tanpa naungan, seleksi tidak langsung terhadap hasil biji melalui seleksi tinggi

tanaman pada 4 MST memberikan tambahan hasil 79,4%, lebih tinggi dibandingkan dengan seleksi langsung terhadap hasil biji itu sendiri. Pada perlakuan naungan 52%, seleksi tidak langsung melalui laju fotosintesis 2 MST dan MLD 2 MST memberikan tambahan hasil masing-masing 55% dan 56,6%, lebih tinggi dibanding seleksi langsung terhadap hasil biji. Seleksi tidak langsung melalui jumlah bulu daun menunjukkan arah yang negatif cukup besar (-67,8%). Ini berarti seleksi terhadap jumlah bulu daun menyebabkan pengurangan hasil tertinggi (67,8%) apabila dalam seleksi dipilih genotipe dengan jumlah bulu daun yang banyak. Sebaliknya, apabila dipilih genotipe dengan jumlah bulu daun sedikit maka akan meningkatkan hasil 67,8%. Namun, seleksi terhadap laju fotosintesis dan MLD pada 2 MST, serta jumlah bulu daun secara teknis sulit dilakukan.

Untuk menentukan seleksi tidak langsung yang mudah, murah, dan cepat, dapat dilakukan berdasarkan nilai rasio antara respon terkorrelasi dengan respon langsung. Rasio respon terkorrelasi dengan respon langsung berguna untuk membandingkan cara seleksi antara seleksi langsung dengan seleksi tidak langsung terhadap suatu karakter. Apabila intensitas seleksi tidak dipengaruhi oleh lingkungan seleksi, maka seleksi tidak langsung akan lebih baik apabila hasil kali koefisien korelasi genetik dengan akar kuadrat heritabilitas pada lingkungan naungan (r_{g,h_x}) lebih besar daripada akar kuadrat heritabilitas pada lingkungan tanpa naungan (h_y) (Falconer 1981).

Pada Percobaan ini, respon terkorrelasi 13 karakter kuantitatif menunjukkan nilai positif, kecuali untuk tebal

Tabel 10. Perubahan hasil biji kacang hijau akibat seleksi terhadap karakter-karakter yang berhubungan erat dengan hasil biji.

Karakter kuantitatif	Perubahan hasil biji akibat seleksi pada naungan			
	0%		52%	
	%	(g/tanaman)	%	(g/tanaman)
Bobot biji	58,80	3,74	54,72	2,32
Tinggi tanaman, 4 MST	79,39	5,05	45,77	1,94
Diameter batang, 2 MST	22,12	1,41	53,87	2,28
Bobot 100 biji	14,20	0,90	47,57	2,02
Diameter batang, 4 MST	5,41	0,34	42,08	1,78
Luas daun spesifik, 2 MST	-13,25	-0,84	-48,54	-2,06
Indeks luas daun, 2 MST	4,36	0,28	48,47	2,05
Bobot kering polong	8,95	0,57	43,53	1,85
Luas daun, 2 MST	5,48	0,35	50,31	2,13
Luas daun spesifik, 4 MST	-12,21	-0,78	-49,47	-2,10
Masa luas daun, 2 MST	32,37	2,06	56,26	2,39
Tebal lapisan epidermis	40,20	2,56	-35,58	-1,51
Jumlah bulu daun	-52,25	-3,32	-67,76	-2,87

MST: minggu setelah tanam, PAR: *Photosynthetically active radiation*.

Tabel 11. Korelasi genotipik (r_g) karakter kuantitatif kacang hijau pada dua tingkat naungan (%), respon terkorelasi (" G_1 "), respon langsung (" G_1 "), rasio respon terkorelasi dengan respon langsung (" G_1/G_1 "), akar kuadrat heritabilitas pada tanpa naungan (h_y) dan pada lingkungan naungan 52% (h_x).

Karakter kuantitatif	r_g	" G_1 "	" G_1 "	" G_1/G_1 "	h_y	$r_g.h_x$
Bobot biji	0,85	0,84	0,95	0,89	0,91	0,81
Tinggi tanaman, 4 MST	1,13	0,38	0,34	1,10	0,93	1,03
Diameter batang, 2 MST	1,05	0,47	0,39	1,21	0,82	0,99
Bobot 100 biji	1,02	0,22	0,21	1,02	0,98	1,00
Diameter batang, 4 MST	0,95	0,25	0,22	1,10	0,39	0,42
Luas daun spesifik, 2 MST	-0,27	0,05	-0,20	-0,27	0,96	-0,26
Indeks luas daun, 2 MST	0,44	0,03	0,06	0,43	0,99	0,43
Bobot kering polong	0,18	0,03	0,15	0,18	0,89	0,16
Luas daun, 2 MST	0,01	0,0004	0,08	0,005	0,99	0,005
Luas daun spesifik, 4 MST	-0,002	0,0004	-0,19	-0,002	0,96	-0,002
Masa luas daun, 2 MST	0,0004	0,0001	0,14	0,001	0,77	0,0004
Tebal sel epidermis	-0,05	-0,07	0,93	-0,07	0,63	-0,05
Jumlah bulu daun	0,79	-0,64	-0,79	0,81	0,97	0,78

MST: minggu setelah tanam, PAR: *Photosynthetically active radiation*

sel epidermis dan jumlah bulu daun yang menunjukkan nilai negatif, masing-masing -0,07 μm dan -0,64 bulu/cm² luas daun (Tabel 11).

Rasio respon terkorelasi dengan respon langsung karakter LDS pada 2 dan 4 MST, luas daun, ILD, MLD pada 2 MST, tebal sel epidermis, dan bobot kering polong tergolong sangat rendah hingga rendah (Tabel 11).

Seleksi langsung terhadap hasil biji di lingkungan tanpa naungan ternyata lebih baik, karena nilai $r_g.h_x$ karakter hasil biji lebih kecil daripada h_y . Seleksi hasil biji dapat dipercepat melalui seleksi tidak langsung terhadap karakter diameter batang pada 2 dan 4 MST, tinggi tanaman pada 4 MST, dan bobot 100 biji, karena nilai

rasio respon terkorelasi dengan respon langsung keempat karakter tersebut sama dengan satu atau lebih. Hal ini ditunjang pula oleh nilai $r_g.h_x$ lebih besar daripada h_y . Hasil penelitian Arshad *et al.* (2009) dan Idress *et al.* (2006) menunjukkan bahwa tinggi tanaman dapat digunakan sebagai seleksi langsung untuk hasil biji.

Tingginya korelasi genotipik karakter tinggi tanaman pada 4 MST, diameter batang pada 2 dan 4 MST, serta bobot 100 biji pada dua tingkat naungan menunjukkan tidak adanya interaksi antara genotipe dengan naungan (Tabel 11). Dengan demikian, seleksi terhadap ketiga karakter tersebut dapat dilakukan di lingkungan tanpa naungan maupun naungan.

KESIMPULAN

Genotipe kacang hijau toleran naungan memiliki karakter berbeda dengan genotipe rentan, baik dari segi morfologi maupun anatomi. Genotipe toleran naungan dicirikan oleh ukuran daun lebih besar, jumlah bulu daun lebih sedikit, daun lebih tebal, sel epidermis daun lebih tipis, jaringan palisade lebih panjang, jumlah stomata lebih banyak, kandungan klorofil a dan b lebih tinggi, diameter batang lebih besar, bobot kering polong lebih tinggi, ukuran biji lebih besar, dan hasil biji lebih tinggi dibandingkan genotipe rentan.

Terdapat tiga karakter yang harus diperhitungkan dalam menentukan toleransi kacang hijau terhadap naungan, yaitu luas daun, jumlah bulu daun, dan bobot biji per tanaman. Seleksi terhadap hasil biji dapat dipercepat melalui seleksi tidak langsung terhadap karakter diameter batang pada 2 dan 4 MST, tinggi tanaman pada 4 MST, dan bobot 100 biji.

DAFTAR PUSTAKA

- Arshad, M., M. Aslam and M. Irshad. 2009. Genetic variability and character association among morphological traits of mungbean, *Vigna radiata* L. Wilczek genotypes. *J. Agric. Res.* 47(2):121-126.
- Chahal, G.S. and S.S. Gosal. 2003. Principles and procedures of plant breeding. Biotechnological and conventional approaches. Narosa Publishing House. New Delhi. 803 p.
- Evans, J.R., and H. Poorter 2001. Photosynthetic acclimation of plant to growth irradiance: The relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24:755-767.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. 2nd. Longman London and New York.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. p.257-270. In: C.G. Kuo (ed.). Adaptation of Food Crops to Temperatur and Water Stress. Proceeding of an International Symposium. Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan.
- Guo Liu, W., Tao Jiang, Xian-Rong Zhou, and Wen-Yu Yang. 2011. Characteristics of Expansins in Soybean (*Glycine max*) Internodes and Responses to Shade Stress. <http://www.scialert.net/fulltext/?doi=ajcs.2011.26.34&org=11>. Diakses tanggal 29 Maret 2011.
- Hameed, M., Ubada, M., A.R. Rao and M. Waseem. 2002. Evaluation of mung bean germplasm from Baluchistan. *On Line J. Biological Sciences* 2:21-24.
- Handayani, T. 2003. Pola pewarisan sifat toleran terhadap intensitas cahaya rendah pada kedelai (*Glycine max* L. Merr.) dengan pencari spesifik karakter anatomi, morfologi dan molekuler (Disertasi). Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor 175 p. Tidak dipublikasikan.
- Idress, A., M.S. Sadiq, M. Hanif, G. Abbas, and S. Haider. 2006. Genetic parameters and path co-efficient analysis in mutated generation of mungbean, *Vigna radiata* L. Wilczek. *J. Agric. Res.* 44(3):181-189.
- Jufri, A. 2006. Mekanisme adaptasi kedelai terhadap cekaman intensitas cahaya rendah (Disertasi). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 131 p. Tidak dipublikasikan.
- Khumaida, N. 2002. Studies on adaptability of soybean and upland rice to shade stress. (Disertasi). The University of Tokyo. Tokyo. 98 p. Unpublished.
- Kim Gyung-Tae, S. Yano, T. Kozuka, and H. Tsukaya. 2005. Photomorphogenesis of leaves: Shade –avoidance and differentiation of sun and shade leaves. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4:170-174.
- Kisman, N. Khumaida, Trikoesoemaningtyas, Sobir, D. Soepandie. 2007. Karakter morfo-fisiologi daun, pencari adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah. *Bul. Agron.* 35:96-102.
- Kurosaki, H., and S. Yumoto. 2003. Effects of Low Temperature and Shading during Flowering on the Yield Components in Soybeans. *Plant Production Science.* Vol. 6(1): 17-23. http://www.jstage.jst.go.jp/article/pps/6/1/6_17/_article. Diakses tanggal 29 Maret 2011.
- Laosuwana, P., S. Saengpratoom, S. Kalawong and A. Thongsomsri. 1991. Breeding mungbean for shade tolerance. p. 95-100. In: C. Thavarasook *et al.* (eds.) Proc. Mungbean Meeting 90, Tropical Agriculture Research Center, Tsukuba, Japan.
- Muhuria, L. 2007. Mekanisme fisiologi dan pewarisan sifat toleransi kedelai (*Glycine max* L. Merrill) terhadap intensitas cahaya rendah. (Disertasi). Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 163 p. Tidak dipublikasikan.
- Osumi, K., K. Katayama, L.U. de la Cruz, and A.C. Luna. 1998. Fruit bearing behavior of 4 legumes cultivated under shaded conditions. *JARQ.* 32:145-151.
- Pullins, E.E. 2000. Photomorphogenic responses and shade avoidance syndrome of soybean genotypes under field conditions (*Glycine max*). University of Minnesota. Dissertation Abstracts. Unpublished.
- Rajapakse, N.C., R.E. Young, M.J. McMahon, and R. Oi. 1999. Plant height control by photoselective filters: Current status and future prospects. *Hort. Technology* 9:618-624.
- Sadiq, M.S., S. Haidar and D. Abbas. 2005. Genetic parameters for economic traits in exotic germplasm of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *J. Agric. Res.* 43(2):95-102.
- Sarwar, G., M.S. Sadiq, M.Saleem and G. Abbas. 2004. Selection criteria in F3 and F4 population of mungbean. *Pak. J. Bot.* 36(2):297-310.
- Soepandi, D. M.A. Chozin, S.Sastrosumajo, T. Juhaeti, Suhardi. 2003. Pengembangan kedelai sebagai tanaman sela: Fisiologi dan pemuliaan untuk toleransi terhadap naungan. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- Sundari, T., Soemartono, Tohari, dan W.Mangoendidjojo. 2005. Penilaian ketahanan kacang hijau (*Vigna radiatus* L.) terhadap naungan. *Habitat XVI(3)*:189-201.
- Wu, Q., Z. Wang and W. Yang. 2007. Seedling shading affects morphogenesis and substance accumulation of stem in soybean. *Soybean Sci.* 26:205-210.