

Karakter Fotosintesis Genotipe Tomat Senang Naungan pada Intensitas Cahaya Rendah (*The Photosynthetic Characters of Loving-Shade Tomato Genotypes at Low Light Intensity*)

Dwiwanti Sulistyowati ¹⁾, Muhammad Ahmad Chozin ²⁾, Muhamad Syukur ²⁾,
Maya Melati ²⁾, dan Dwi Guntoro ²⁾

¹⁾STPP Bogor, Jln. Aria Surialaga No.1, PO Box 188, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16001

²⁾Departemen Agronomi dan Hortikultura, Faperta, IPB Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

E-mail: dwiwantisulistyo@yahoo.com

Diterima: 9 November 2015; direvisi: 28 Juli 2016; disetujui: 26 Agustus 2016

ABSTRAK. Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi tanaman tomat di Indonesia adalah melalui sistem tanam tumpangsari atau agroforestri. Namun, dalam sistem tanam tumpangsari tanaman sela mengalami defisit cahaya karena ternaungi oleh tanaman lain. Defisit cahaya menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat sehingga berpengaruh terhadap metabolisme. Beberapa jenis tanaman mampu beradaptasi terhadap defisit cahaya sehingga tumbuh di bawah kondisi naungan. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakter fotosintesis genotipe tomat senang naungan pada intensitas cahaya rendah. Percobaan dilaksanakan di Kebun Percobaan Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Bogor dari bulan Oktober 2014 sampai dengan Januari 2015. Percobaan menggunakan rancangan acak petak tersarang yang diulang tiga kali. Faktor pertama terdiri atas dua taraf naungan, yaitu tanpa naungan (0%) dan naungan 50%. Faktor kedua berupa tiga kelompok genotipe tomat terdiri atas senang naungan, toleran, dan peka. Pengamatan dilakukan terhadap komponen hasil berupa jumlah buah, bobot buah, dan produksi pertanaman. Peubah pengamatan fisiologi meliputi kandungan total klorofil, klorofil a, klorofil b, rasio klorofil a/b, antosianin, karoten, laju fotosintesis, konduktansi stomata, konsentrasi CO₂ internal daun, kandungan pati, dan gula daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa genotipe tomat senang naungan jika berada pada kondisi ternaungi akan memiliki karakter fotosintesis berupa peningkatan kadar klorofil b lebih tinggi dibandingkan klorofil a, dan rasio klorofil a/b yang lebih rendah dibandingkan kelompok genotipe yang lain. Genotipe senang naungan memiliki konsentrasi CO₂ internal daun lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan laju fotosintesis tetap lebih tinggi walaupun terjadi penurunan konduktansi stomata. Adanya kandungan gula daun yang lebih tinggi, mengakibatkan produksi pertanaman genotipe senang naungan meningkat ketika ditanam di bawah naungan.

Kata kunci: *Lycopersicon esculentum* Mill.; Intensitas cahaya rendah; Karakter fotosintesis; Genotipe senang naungan

ABSTRACT. Efforts have to be made to increase tomatoes production in Indonesia, one is through intercropping or agroforestry systems. In the intercropping system, however, there is a risk for plants to receive low light intensity. Low light intensity causes a decrease of photosynthesis rate and carbohydrate synthesis, so it will affect plant metabolic processes. Some types of plants are able to adapt to low light intensity, so they can grow well under shading conditions. The aim of this study was to investigate the photosynthetic characters of shade-loving tomato genotypes at low light intensity. The experiment was conducted in the experimental field of Bogor Agricultural Extension Institute, in Bogor, from October 2014 to January 2015. The experiment was arranged in nested randomized design with two factors and three replication. The first factor consisted of two levels of shading intensity, i.e. without shade (0%) and 50% shading and the second factor was three groups of tomato genotypes, i.e. shade-loving, shade-tolerant, and shade-sensitive genotypes. The crop yield components observed were fruit number, fruit weight, and yield per plant. Physiological variable measured were total of chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, ratio of chlorophyll a/b, anthocyanin, carotene, photosynthetic rate, stomatal conductance, leaf internal CO₂ concentration, content of starch, and sugar leaves. The results showed that the photosynthesis characters of shade-loving genotypes indicated increasing content of chlorophyll b that was higher than that of chlorophyll a. It was resulting in decreasing ratio of chlorophyll a/b more than that of other genotypes. Shade-loving genotypes had higher internal leaf CO₂ concentration, than the sensitive ones, so they can maintain the photosynthetic rate remained higher, despite their stomatal conductance were decreasing. The presence of leaf sugar content was relatively high, resulting in the production per plant of the shade-loving genotypes increased when grown in the shade conditions.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill.; Low light intensity; Photosynthesis characters; Shade-loving genotypes

Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) merupakan salah satu jenis sayuran yang banyak digunakan sebagai komponen penyusun agroforestri. Seperti yang dilaporkan oleh Pranoto (2011), bahwa tomat termasuk salah satu tanaman semusim yang dominan digunakan pada sistem penanaman agroforestri di hulu, tengah maupun hilir DAS Cianjur. Bahrin (2012) menambahkan bahwa tomat merupakan satu dari empat tanaman yang tahan terhadap

perbedaan tingkat naungan dengan produktivitas relatif tinggi pada semua zona agroklimat hulu DAS Ciliwung.

Tanaman berusaha meningkatkan absorpsi cahaya pada kondisi defisit cahaya dengan cara meningkatkan jumlah klorofil per unit luas daun (Cabuslay *et al.* 1995). Penurunan rasio klorofil a/b pada tanaman toleran naungan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya bagi tanaman secara keseluruhan.

Klorofil b lebih efisien menangkap cahaya dibanding dengan klorofil a sehingga untuk menghasilkan tanaman yang toleran terhadap pencahayaan dapat dilakukan dengan meningkatkan klorofil b. Hal ini diduga berkaitan dengan organisasi kompleks fotosistem pada *light harvesting complex* (LHC II) (Hidema *et al.* 1992, Hobe *et al.* 2003, Muhuria *et al.* 2006, Kisman *et al.* 2007).

Peningkatan laju fotosintesis pada setiap tingkat naungan akan mencapai titik maksimum yang selanjutnya konstan. Saat konduktansi stomata rendah, secara proporsional tanaman menurunkan laju transpirasi sehingga air yang berada dalam mesofil daun dapat dimanfaatkan secara efisien selama proses fotokimia dari fotosintesis. Pemanfaatan air dalam mesofil secara efisien akan menekan suhu daun dan menurunkan transpirasi besar kecilnya pembukaan stomata daun merupakan regulasi terpenting yang dilakukan oleh tanaman untuk memasukkan CO₂ sebanyak mungkin dan mengeluarkan H₂O sedikit mungkin, untuk mencapai efisiensi pertumbuhan yang tinggi (June *et al.* 1993).

Manurung *et al.* (2008) menyatakan bahwa sistem agroforestri dengan cekaman cahaya rendah menurunkan produksi tomat per tanaman sebesar 26,6% dibandingkan dengan cahaya penuh. Produksi tomat di bawah cahaya menengah dan sinar matahari penuh tidak berbeda nyata (masing-masing 468 dan 436 g/tanaman), tetapi berbeda nyata pada level cahaya rendah, yaitu sebesar 319 g/tanaman. Pernyataan tersebut berbeda dengan beberapa hasil penelitian berikut: misalnya El-Abd *et al.* (1994) dan Tuzel (2009) yang melaporkan bahwa terjadi peningkatan total hasil buah tomat pertanaman pada kondisi ternaungi. Shehata *et al.* (2013) juga menyatakan bahwa tomat yang ditanam pada kondisi naungan 35% dan 65% menunjukkan peningkatan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah cabang dan bunga, serta total hasil pertanaman. Lorenzo *et al.* (2003) menambahkan bahwa naungan menyebabkan hasil panen tomat meningkat sebesar 10%. Khattak *et al.* (2007) melaporkan bahwa kondisi naungan 55% dan 75% meningkatkan produktivitas tomat masing-masing sebesar 34% dan 65%.

Baharuddin *et al.* (2014) melaporkan bahwa pertumbuhan, produksi, dan kualitas 20 genotipe tomat yang ditanam dalam polibag pada tingkat naungan 50% menunjukkan keragaman yang tinggi. Berdasarkan produktivitas relatif genotipe/varietas tomat yang diuji dikelompokkan menjadi genotipe senang, toleran, moderat, dan peka naungan. Hasil yang sama diperoleh oleh Sulistyowati *et al.* (2015) pada percobaan dengan penanaman langsung di bedengan menggunakan 50 genotipe tomat pada kondisi naungan 50%.

Hasil beberapa percobaan tersebut menunjukkan bahwa pada genotipe tomat kondisi naungan memberikan respons yang beragam, diduga faktor genotipe menentukan

perbedaan dalam efisiensi fotosintesis. Genotipe senang naungan pada cahaya rendah kemungkinan mempunyai mekanisme fotosintesis sama dengan genotipe toleran. Terjadinya peningkatan produktivitas pada genotipe tersebut diduga karena iklim mikro kondisi naungan lebih sesuai untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Oleh karena itu penelitian tentang respons genotipe tomat senang naungan diperlukan untuk memahami tentang mekanisme toleransi dengan mengetahui perubahan yang terjadi pada karakter fotosintesis.

Tujuan penelitian adalah mempelajari karakter fotosintesis genotipe tomat senang naungan pada intensitas cahaya rendah. Hipotesis penelitian ini adalah terdapat penyesuaian karakter fotosintetik tomat tahan naungan pada lingkungan ternaungi.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Percobaan berlangsung dari bulan Oktober 2014 – Januari 2015, bertempat di Kebun Percobaan Sekolah Tinggi Penyuluhan Pertanian (STPP) Bogor dengan ketinggian tempat 243 m di atas permukaan laut. Percobaan menggunakan 12 genotipe tomat yang merupakan genotipe terpilih dari 50 genotipe dan telah diuji dari percobaan sebelumnya, berupa empat genotipe senang=SN (SSH 3, Medan 4, Papua 2, Maros 3), empat genotipe toleran=T (Karina, Tomat kecil 1, SSH 9, Bogor), dan empat genotipe peka=P (Kediri 2, Brastagi 6, Marglobe, F 6005001-4-1-12-5). Kriteria pengelompokan genotipe tersebut berdasarkan produktivitas relatif, yaitu genotipe peka (<60%), genotipe moderat (60–80%), genotipe toleran (>80–100%), dan genotipe senang (>100%) (Djukri & Purwoko 2003).

Percobaan disusun secara faktorial dalam rancangan acak petak tersarang (*randomized nested design*) dengan tiga ulangan, ulangan tersarang di dalam naungan. Faktor pertama adalah dua taraf naungan, yaitu N0=tanpa naungan (0%) dan N1=naungan 50%. Faktor kedua berupa tiga kelompok genotipe, yaitu senang, toleran, dan peka. Total perlakuan 72 unit percobaan, masing-masing lima tanaman contoh untuk setiap sampel pengamatan *destructive* maupun *nondestructive* pada masing-masing genotipe tomat setiap ulangan.

Benih 12 genotipe tomat disemaikan pada *tray* semai. Pemberian kapur pertanian sebanyak 2 ton/ha dan pupuk kandang 0,5 kg per lubang tanam. Selanjutnya bibit tomat yang berumur 25 hari setelah semai ditanam di atas bedengan dengan jarak tanam 50 cm x 60 cm, di bawah paranet dengan intensitas naungan 50% dan di tempat terbuka sebagai kontrol. Kegiatan pemeliharaan meliputi

II	I	III	III	I	II
T3	SN1	SN3	SN1	T3	SN4
T4	SN4	SN2	P3	SN3	P1
SN4	T2	P3	T1	T1	SN2
P2	P1	T2	P1	P4	T4
SN3	T1	SN4	T2	P1	SN3
P1	P2	SN1	SN2	SN4	T1
P3	P3	T3	SN3	T4	SN1
SN2	SN2	T4	T3	SN1	P2
P4	T4	P1	P4	SN2	P4
SN1	SN3	T1	SN4	P3	T2
T1	T3	P4	P2	P2	P3
T2	P4	P2	T4	T2	T3
0%			50%		

Gambar 1. Denah percobaan pengaruh naungan dan kelompok genotipe tomat (*Plan experiment effect of shade and tomato genotype groups*)

penyulaman, pemupukan anorganik, pengajiran, penyiangan, serta pengendalian hama dan penyakit. Penyulaman dilakukan pada 1 minggu setelah tanam (MST) dengan mengganti tomat yang mati dengan tanaman yang seumur. Pupuk anorganik diberikan melalui pengocoran, yaitu berupa NPK (16-16-16) konsentrasi 10 g/l diberikan pada fase vegetatif, sedangkan fase generatif menggunakan NPK (10-55-10) konsentrasi 2/gl masing-masing diaplikasikan setiap minggu sebanyak 200 ml/tanaman. Pengajiran dilakukan pada 1 MST, bertujuan agar tanaman tegak. Penyiangan gulma dilakukan secara manual dengan membuang gulma yang tumbuh dari areal pertanaman. Pengendalian hama penyakit dilakukan sewaktu-waktu apabila terlihat gejala serangan.

Pengamatan meliputi kandungan total klorofil (klorofil a+b), klorofil a, klorofil b, rasio klorofil a/b, antosianin, karoten, laju fotosintesis, konduktansi stomata, konsentrasi CO₂ internal daun, kandungan pati, dan gula daun, yang dilakukan pada daun ketiga (dari ujung tanaman) saat 7 MST (vegetatif) dan 10 MST (generatif). Pengamatan kandungan klorofil, antosianin, karoten menggunakan metode Sims & Gamon (2002). Pengamatan kandungan pati dan gula daun menggunakan prosedur Yoshida *et al.* (1976). Laju fotosintesis, konduktansi stomata, dan konsentrasi CO₂ internal daun menggunakan alat Licor-6400.

Komponen hasil dan hasil yang diamati meliputi jumlah buah, bobot per buah, dan produksi per tanaman dilakukan dari panen pertama hingga terakhir setiap tanaman contoh. Pengamatan jumlah buah per tanaman dengan cara menghitung buah yang diperoleh, bobot per buah dengan cara menimbang bobot setiap buah, produksi dengan cara menimbang bobot total buah. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji F, apabila berbeda nyata dilanjutkan dengan kontras pada $\alpha=5\%$ atau $\alpha=1\%$ dengan *software* SAS versi 9.1.3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Klorofil, Antosianin, dan Karoten Daun

Hasil uji kontras menunjukkan bahwa kandungan total klorofil pada semua kelompok genotipe tomat yang dinaungi 50% menunjukkan perbedaan nyata sampai sangat nyata dibandingkan tanpa penanaman, kecuali kelompok peka fase generatif. Respons genotipe senang dan toleran ketika ternaungi memperlihatkan peningkatan kandungan klorofil a dan b, tetapi lebih mengarahkan pada peningkatan klorofil b daripada klorofil a. Hal ini ditunjukkan oleh rasio klorofil a/b genotipe senang naungan maupun toleran pada fase vegetatif nyata mengalami penurunan (Tabel 2). Niinemets (2010), menyatakan bahwa spesies tanaman toleran cahaya rendah berada pada kondisi naungan akan meningkatkan kandungan klorofil lebih tinggi dibandingkan peka. Kandungan klorofil yang lebih besar pada kelompok genotipe senang memungkinkan tanaman lebih banyak mendapatkan energi cahaya yang selanjutnya dapat diolah menjadi energi kimia dalam bentuk elektron tereksitasi. Lebih besarnya peningkatan klorofil pada kelompok genotipe senang dan toleran naungan diduga merupakan salah satu mekanisme adaptasi tomat terhadap naungan.

Penurunan intensitas cahaya akibat naungan akan menekan nisbah klorofil a/b, akibat meningkatnya jumlah relatif klorofil b dibandingkan klorofil a. Hal ini juga ditunjukkan oleh genotipe toleran padi gogo yang memiliki klorofil b yang lebih tinggi daripada a serta nisbah a/b lebih rendah dibanding peka (Sopandie *et al.* 2003, Soverda 2009). Hal yang sama juga dijumpai pada kedelai toleran (Djukri & Purwoko 2003, Kisman *et al.* 2007, Soverda 2012, Hartoyo *et al.* 2014). Menurut Hidema *et al.* (1992), bahwa klorofil b lebih efisien dalam menangkap cahaya dibandingkan dengan klorofil a sehingga respons tanaman toleran naungan lebih diarahkan untuk meningkatkan klorofil b. Tanaman toleran naungan dapat diperoleh melalui kegiatan pemuliaan dengan sasaran meningkatkan kandungan klorofil b pada keturunan individu baru.

Kandungan karoten fase vegetatif tanaman mengalami peningkatan nyata sampai sangat nyata ketika ternaungi baik pada genotipe senang naungan, toleran maupun peka. Namun, kandungan antosianin tidak berbeda nyata antargenotipe (Tabel 3). Antosianin merupakan pigmen nonkloroplas termasuk ke dalam golongan flavonoid yang terdapat di dalam kloroplas, berfungsi untuk mencegah kerusakan akibat radiasi sinar ultra violet. Karotenoid (karoten dan xanthofil) dikenal dengan pigmen asesori, berfungsi sebagai fotoproteksi dan membantu klorofil menyerap dan mentransfer cahaya ke pusat reaksi melalui klorofil b. Hasil percobaan ini seiring dengan penelitian Hartoyo

Tabel 1. Rekapitulasi hasil sidik ragam pengaruh naungan dan kelompok genotipe tomat terhadap peubah yang diamati (*Recapitulation of the variance effect of shade and tomato genotype groups to the observed variables*)

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Perlakuan (<i>Treatments</i>)							
	Naungan (<i>Shading</i>)	Kelompok genotipe (<i>Genotype groups</i>)	Interaksi (<i>Interaction</i>)	KK (<i>CV</i>) %	Naungan (<i>Shading</i>)	Kelompok genotipe (<i>Genotype groups</i>)	Interaksi (<i>Interaction</i>)	KK (<i>CV</i>) %
	Vegetatif (<i>Vegetative</i>)				Generatif (<i>Generative</i>)			
Total klorofil	**	tn	tn	6,65	**	tn	tn	15,73
Klorofil a	tn	tn	tn	17,97	**	tn	tn	16,03
Klorofil b	**	tn	tn	8,29	**	tn	tn	15,33
Klorofil a/b	*	tn	tn	30,27	*	tn	tn	4,79
Antosianin	tn	tn	tn	30,69	tn	tn	tn	29,94
Karoten	**	tn	tn	4,87	tn	tn	tn	24,85
Laju FS	**	*	*	16,09	**	tn	**	0,86
Kondk. stomata	*	tn	tn	4,81	tn	tn	tn	4,48
[CO ₂] internal	*	tn	tn	4,98	*	tn	tn	7,84
Pati daun	*	tn	tn	22,12	tn	tn	tn	26,30
Gula daun	tn	tn	tn	19,21	*	tn	*	12,24
Jumlah buah	-	-	-	-	tn	**	tn	25,54
Bobot perbuah	-	-	-	-	tn	**	**	26,39
Produksi/ tanaman	-	-	-	-	*	**	tn	29,50

tn (ns)=tidak nyata (*non significant*), *) nyata berdasarkan uji F $\alpha=5\%$ (*significant at F test $\alpha=5\%$*), **) sangat nyata berdasarkan uji F $\alpha=1\%$ (*highly significant at F test $\alpha=1\%$*)

Tabel 2. Hasil uji kontras tiga kelompok genotipe tomat untuk peubah kandungan klorofil daun pada naungan 0% dan 50% (*Contrast test results of three tomato genotype groups for variables leaf chlorophyll content in the shade 0 % and 50 %*)

Karakter (<i>Characters</i>)	Naungan (<i>Shading</i>)		Uji kontras (<i>Contrast test</i>)	Naungan (<i>Shading</i>)		Uji kontras (<i>Contrast test</i>)		
	0%	50%		0%	50%			
	Vegetatif (<i>Vegetative</i>)			Generatif (<i>Generative</i>)				
Klorofil total (mg/g)								
Senang	2,11	3,02	(143,36)	*	2,20	3,26	(148,58)	*
Toleran	2,22	2,91	(130,78)	**	2,32	3,18	(136,88)	**
Peka	2,17	2,73	(125,90)	*	2,48	3,19	(128,58)	tn
Klorofil a (mg/g)								
Senang	1,52	2,13	(140,40)	tn	1,59	2,33	(146,40)	*
Toleran	1,60	2,06	(128,85)	tn	1,66	2,29	(137,62)	**
Peka	1,56	1,63	(104,96)	tn	1,80	2,28	(126,81)	tn
Klorofil b (mg/g)								
Senang	0,59	0,89	(150,96)	**	0,60 b	0,93	(154,35)	**
Toleran	0,62	0,85	(135,77)	**	0,67 a	0,90	(135,05)	**
Peka	0,61	0,76	(124,64)	tn	0,68 a	0,91	(133,21)	*
Klorofil a/b (mg/g)								
Senang	2,59	2,40	(92,88)	**	2,63	2,50	(95,39)	*
Toleran	2,57	2,44	(94,82)	**	2,50	2,55	(102,01)	tn
Peka	2,54	2,11	(82,97)	tn	2,64	2,50	(94,98)	tn

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) [*The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading)*], tn (ns)=tidak nyata (*non significant*), *) nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ (*significant at contrast test $\alpha=5\%$*), **) sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=1\%$ (*highly significant at contrast test $\alpha=1\%$*)

Tabel 3. Hasil uji kontras tiga kelompok genotipe tomat untuk peubah kandungan antosianin dan karoten pada naungan 0% dan 50% (Contrast test results of three tomato genotype groups for variables anthocyanin and carotene content in the shade 0% and 50%)

Karakter (Characters)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast test)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast tes)
	0%	50%			0%	50%		
	Vegetatif (Vegetative)				Generatif (Generative)			
Antosianin(mg/100g								
Senang	0,10	0,13	(129,08)	tn	0,09	0,13	(149,16)	tn
Toleran	0,11	0,14	(131,46)	tn	0,09	0,12	(130,65)	tn
Peka	0,10	0,12	(116,27)	tn	0,10	0,12	(120,90)	tn
Karoten (mg/g								
Senang	0,39	0,54	(137,93)	*	0,45	0,56	(122,87)	tn
Toleran	0,39	0,51	(128,81)	**	0,48	0,57	(119,92)	tn
Peka	0,40	0,50	(124,45)	**	0,42	0,43	(103,55)	tn

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) (The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading)), tn (ns)=tidak nyata (non significant, *) nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ (significant at contrast test $\alpha=5\%$), ** sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=1\%$ (highly significant at contrast test $\alpha=1\%$)

Tabel 4. Hasil uji kontras tiga kelompok genotipe tomat untuk peubah konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ internal daun pada naungan 0% dan 50% (Contrast test results of three tomato genotype groups for variables stomatal conductance and leaf internal CO₂ concentration in the shade 0 % and 50 %)

Karakter (Characters)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast test)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast test)
	0%	50%			0%	50%		
	Vegetatif (Vegetative)				Generatif (Generative)			
Konduktansi stomata (μmol H₂O.m⁻².s⁻¹)								
Senang	0,022	0,007a	(33,07)	*	0,008	0,006b	(81,70)	tn
Toleran	0,014	0,003b	(20,37)	*	0,007	0,005b	(83,33)	tn
Peka	0,011	0,002b	(20,23)	tn	0,015	0,010a	(66,67)	tn
Konsentrasi CO₂ internal (ppm)								
Senang	1786	6144a	(344,1)	*	2707	7835a	(289,5)	*
Toleran	3267	2825b	(86,5)	*	1773	2752b	(155,2)	tn
Peka	2361	2365b	(100,2)	tn	1371	1333b	(97,2)	tn

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) (The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading)), tn (ns)=tidak nyata (non significant, *) nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ (significant at contrast test $\alpha=5\%$), ** sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=1\%$ (highly significant at contrast test $\alpha=1\%$)

et al. (2014) bahwa kandungan karoten meningkat pada kedelai toleran naungan yang ditanam di bawah tegakan sengon umur 4 tahun. Muhuria et al. (2006), melaporkan bahwa persentase naungan 50% mengakibatkan peningkatan kandungan antosianin pada tanaman kedelai.

Laju Fotosintesis

Genotipe tomat saat fase vegetatif dan generatif dalam kondisi ternaungi, terjadi pengaruh interaksi nyata dan sangat nyata terhadap laju fotosintesis tanaman (Tabel 1). Pengaruh naungan terhadap laju fotosintesis kelompok genotipe senang naungan saat fase generatif terjadi peningkatan, sedangkan kelompok genotipe lain mengalami penurunan. Kondisi naungan 50% untuk genotipe senang naungan mengalami peningkatan nyata pada konsentrasi CO₂ internal daun,

yaitu saat vegetatif meningkat (244,1%) dan generatif (189,5%). Walaupun konduktansi stomata genotipe senang naungan saat ternaungi nyata mengalami penurunan pada fase vegetatif (Tabel 4). Konduktansi stomata ialah jumlah CO₂ yang dapat masuk melalui hambatan stomata, semakin kecil hambatannya akan semakin besar konduktansinya. Semakin banyak jumlah stomata, konduktansi per satuan luas daun akan semakin tinggi demikian juga semakin lebar bukaanannya (Mohr & Schopfer 1995).

Hal ini menyebabkan kelompok senang naungan lebih mampu mempertahankan laju fotosintesisnya saat ternaungi bahkan pada fase generatif meningkat sebesar 10,52%, mengakibatkan hasil asimilat genotipe senang naungan menjadi lebih tinggi. Dengan demikian, genotipe tomat tersebut mampu memproduksi lebih tinggi saat ternaungi daripada di tempat terbuka.

Tabel 5. Laju fotosintesis tanaman pada interaksi perlakuan naungan dan kelompok genotipe (*Photosynthesis rate of plants in the shade and the interaction genotype groups*)

Karakter (<i>Characters</i>)	Naungan (<i>Shading</i>)		(%)	Naungan (<i>Shading</i>)		(%)
	0%	50%		0%	50%	
	Vegetatif (<i>Vegetative</i>)		Vegetatif	Generatif (<i>Generative</i>)		Generatif
Laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)						
Senang	10,15 bc	9,75 c	(96,1)	8,82 c	9,74 b	(110,5)
Toleran	12,11 b	9,65 c	(79,7)	10,77 a	9,89 ab	(87,2)
Peka	15,40 a	9,48 c	(61,5)	12,83 a	8,69 c	(67,7)

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) dan huruf yang berbeda dalam kolom dan baris yang sama pada perlakuan yang sama, berarti berbeda nyata atau sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ atau $\alpha=1\%$. (*The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading) and the different letters in columns and rows on the same equal treatment, significant different or very noticeable by contrast test $\alpha = 5\%$ or $\alpha = 1\%$*)

Tabel 6. Hasil uji kontras tiga kelompok genotipe tomat untuk peubah kandungan pati dan gula daun pada naungan 0% dan 50% (*Contrast test results of three tomato genotype groups for variables starch and sugar leaves content in the shade 0% and 50%*)

Karakter (Characters)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast test)	Naungan (Shading)		(%)	Uji kontras (Contrast test)
	0%	50%			0%	50%		
	Vegetatif (Vegetative)				Generatif (Generative)			
Kandungan pati (%)								
Senang	0,61	0,48	(79,75)	*	0,69	0,76	(110,91)	tn
Toleran	0,59	0,43	(71,73)	tn	0,57	0,56	(97,80)	tn
Peka	0,67	0,41	(60,67)	*	0,63	0,49	(77,87)	tn
Kandungan gula (%)								
Senang	0,41	0,38	(93,83)	tn	-	-	-	-
Toleran	0,42	0,36	(86,31)	tn	-	-	-	-
Peka	0,44	0,37	(83,62)	tn	-	-	-	-

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) (*The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading)*), tn (ns)=tidak nyata (*nonsignificant*), * nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ (*significant at contrast test $\alpha=5\%$*), ** sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=1\%$ (*highly significant at contrast test $\alpha=1\%$*)

Muhuria *et al.* (2006) menyatakan bahwa pada kondisi naungan terjadi penurunan laju fotosintesis maksimum dan laju elektron maksimum, laju respirasi gelap dan titik kompensasi cahaya.

Kandungan Pati dan Gula Daun

Naungan sebesar 50% menyebabkan penurunan nyata ($p<0,05$) kandungan pati pada genotipe senang naungan dan peka (Tabel 6). Perlakuan interaksi antarfaktor berpengaruh nyata terhadap kandungan gula daun pada fase generatif (Tabel 1 dan 7). Interaksi ini menunjukkan bahwa kondisi naungan 50% pada genotipe senang naungan mengakibatkan peningkatan kandungan gula daun, sebaliknya pada genotipe peka terjadi penurunan.

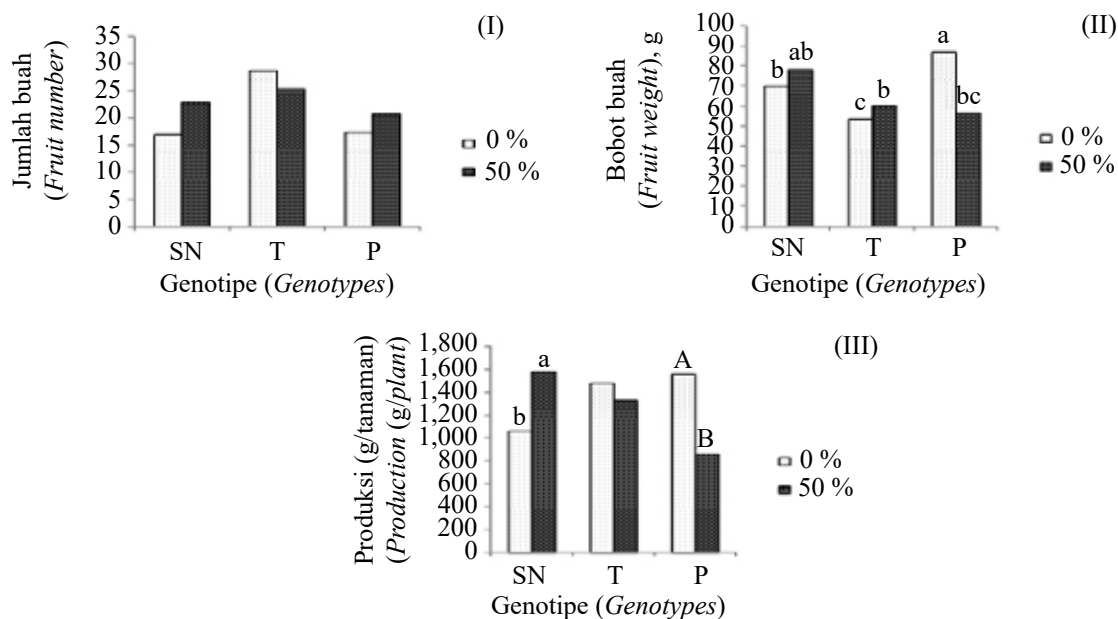
Kemampuan adaptasi genotipe tomat senang naungan dapat diciptakan dengan cara meningkatkan kandungan gula daun daripada pati. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lauth *et al.* (2000) bahwa naungan menyebabkan kandungan sukrosa naik pada padi toleran naungan dan turun pada padi peka. Rasio gula yang tinggi pada genotipe senang naungan saat dinaungi

menguntungkan tanaman karena transpor fotosintat lebih lancar. Transpor fotosintat yang lancar akan dapat mengurangi hambatan fotosintesis yang disebabkan oleh penumpukan karbohidrat (pati) di dalam jaringan daun.

Kandungan gula yang tinggi pada daun diperlukan pada kondisi stres cahaya rendah, yang mengindikasikan bahwa proses fotosintesis genotipe tersebut berlangsung dengan baik. Naungan 50% memperlihatkan kandungan sukrosa dan pati yang lebih tinggi pada kedelai toleran naungan (Muhuria *et al.* 2006), serta kandungan pati yang lebih tinggi pada padi gogo toleran dibandingkan yang peka (Lauth *et al.* 2000).

Produktivitas Tanaman

Gambar 2 memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan sangat nyata pada produktivitas genotipe tomat senang naungan, sebaliknya produktivitas genotipe peka nyata menurun, dan terdapat interaksi sangat nyata pada bobot perbuah (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa genotipe senang naungan menjadi lebih tinggi produktivitasnya apabila ditanam pada kondisi ternaungi dengan bobot



Gambar 2. Perubahan jumlah buah (I), bobot buah (II), dan produksi pertanian (III) kelompok genotipe tomat pada naungan 50%, SN=genotipe senang naungan, T=genotipe toleran, P=genotipe peka (*Changes in fruit number (I), fruit weight (II) and crop production (III) of tomato genotype groups at 50% shading, SN=shade-loving genotypes, T=shade-tolerant genotypes, P=shade-sensitive genotypes*)

Tabel 7. Kandungan gula daun fase generatif tanaman pada interaksi perlakuan naungan dan kelompok genotipe (*Sugar content in the leaves of the generative phase of plant interactions shade treatment and genotype groups*)

Karakter (<i>characters</i>)	Naungan (<i>Shading</i>)		(%)
	0%	50%	
Kandungan gula (%)			
Senang	0,45 b	0,53 ab	
Toleran	0,47 b	0,47 b	
Peka	0,57 a	0,45 b	(79,0)

Angka dalam kurung adalah nilai relatif terhadap nilai kontrol (naungan 0%) dan huruf yang berbeda dalam kolom dan baris yang sama pada perlakuan yang sama, berarti berbeda nyata atau sangat nyata berdasarkan uji kontras $\alpha=5\%$ atau $\alpha=1\%$ (*The numbers in parentheses are values relative to the control value (0% shading) and the different letters in columns and rows on the same equal treatment, significant different or very noticeable by contrast test $\alpha = 5\%$ or $\alpha = 1\%$*)

perbuah (ukuran buah) yang meningkat, sebaliknya terjadi pada genotipe peka cenderung mengalami penurunan. Seiring dengan pernyataan bahwa terjadi peningkatan total hasil buah tomat pertanian pada kondisi ternaungi (El-Abd *et al.* 1994, Lorenzo *et al.* 2003, Tuzel 2009, Shehata *et al.* 2013). Produksi pertanian dipengaruhi oleh ukuran buah (Sandri *et al.* 2003) dan jumlah buah (Muhsanati *et al.* 2009).

Peningkatan produktivitas pada genotipe senang naungan diduga karena pemberian naungan 50% menurunkan suhu sampai pada titik yang mungkin

dapat mengurangi tingkat respirasi. Pemberian naungan 50% mengakibatkan suhu tanaman lebih rendah. Menurunnya tingkat respirasi akan menekan proses pembongkaran karbohidrat sehingga akan lebih banyak terakumulasi pada buah. Khattak *et al.* (2007) melaporkan bahwa pemberian naungan 55% mengakibatkan produksi tomat meningkat sebesar 34%.

Selain faktor lingkungan, faktor genotipe berpengaruh nyata terhadap respons tanaman. Genotipes senang naungan dan toleran memiliki kemampuan aktivitas fotosintesis yang relatif tinggi pada kondisi ternaungi sehingga dapat menghasilkan fotosintat yang memadai untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Fenomena ini terjadi pada beberapa tanaman toleran naungan seperti padi gogo dan kedelai toleran pada naungan 50% menghasilkan produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe peka (Sopandie *et al.* 2003, Sasmita *et al.* 2006).

KESIMPULAN DAN SARAN

Salah satu karakter yang menentukan daya adaptasi genotipe tomat senang naungan terhadap intensitas cahaya rendah adalah peningkatan kadar klorofil b lebih tinggi dibandingkan klorofil a sehingga terjadi penurunan rasio klorofil a/b yang lebih tinggi. Peningkatan yang nyata akibat penaungan terjadi pada peubah pengamatan konsentrasi CO_2 internal daun meskipun konduktansi stomata menurun, mengakibatkan genotipe senang naungan tetap

mampu mempertahankan laju fotosintesis lebih tinggi dibandingkan genotipe lain.

Adaptasi genotipe tomat senang naungan pada peubah pengamatan intensitas cahaya rendah dengan cara melakukan peningkatan kandungan gula daun dibandingkan pati. Rasio gula yang tinggi mengakibatkan transpor fotosintat lebih lancar. Hal ini menyebabkan produktivitas buah genotipe tersebut menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe toleran dan peka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi yang telah membantu mendanai penelitian ini melalui program Penelitian Strategi Unggulan yang diketuai oleh Prof. Dr. Ir. M.A. Chozin, M.Agr., dengan kontrak No. 083/SP2H/PL/Dit.Litabmas/II/2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Baharuddin, R, Chozin, MA & Syukur, M 2014, 'Toleransi 20 genotipe tanaman tomat terhadap naungan', *J. Agron. Indonesia*, vol. 42, no. 2, hlm. 130-5.
- Bahrin, AH 2012, 'Kajian ekofisiologi tanaman semusim penyusun agroforestri pada beberapa zona agroklimat di DAS Ciliwung Hulu', Disertasi, Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Cabuslay, GS, Velgara, BS & Quintana, RU 1995, 'Low light stress: Mechanism of tolerance and screening method', *Phillipine J. of Crop Sci.*, vol. 16, no.1, pp. 39-47.
- Djukri & Purwoko, BS 2003, 'Pengaruh naungan paranet terhadap sifat toleransi tanaman talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott)', *Ilmu Pertanian*, vol. 10, no. 2, hlm. 17-25.
- El-Abd, MTG, Shanan, SA, Abou-Hadid, AF & Saleh, MM 1994, 'Effect of different shading densities on growth and yield of tomato and cucumber', *Egypt. J. Hort.*, vol. 21, no. 1, pp. 64-9.
- Hartoyo, APP, Wijayanto, N & Budi, SWR 2014, 'Respon fisiologi dan produksi kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) toleran naungan berbasis agroforestri sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)', *J. Silviculture Tropika*, vol. 5, no. 2, hlm. 84-90.
- Hidema, Makino, JA, Mae & Ojune, K 1992, 'Change in level of chlorophyll and light harvesting chlorophyll a/b protein of photosynthesis II in rice', *Plant Cell Physiol.*, vol. 33, pp. 1209-14.
- Hobe, S, Fey, H, Rog, H & Paulsen, H 2003, 'Determination of relative chlorophyll binding affinities in the major light-harvesting chlorophyll a/b complex', *The J. of Biological Chemistry*, vol. 273, pp. 5912-19.
- June, T 1993, 'The effect of light on growth of cassava and sorghum light distribution and extinction coefficient', *Agromet J.*, vol. 11, no. 2, pp. 37-42.
- Khattak, AM, Salam, A & Nawab, K 2007, 'Response of exotic tomato lines to different light intensities', *Sarhad J. Agric.*, vol. 23, pp. 927-32.
- Kisman, Khumaida, N, Trikoesoemaningtyas, Sobir & Sopandie, D 2007, 'Karakter morfo-fisiologi daun, penciri adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah', *Bul. Agron.*, vol. 35, no. 2, hlm. 96-102.
- Lautt, BS, Chozin, MA, Sopandie, D & Darusman, LK 2000, 'Perimbangan pati- sukrosa dan aktivitas enzim sukrosa fosfat sintase pada padi gogo yang toleran dan peka terhadap naungan', *Hayati*, vol. 7, hlm. 31-4.
- Lorenzo, P, Gurrevo, MCS, Medrano, E, Garcia, MI, Coparrio & Gimenez, M 2003, 'External greenhouse mobile shading: Effect of microclimate, water use efficiency and yield of tomato crop grown under different salinity levels of the nutrient solution concentration', *Acta Horticulturae*, vol. 609, pp. 181-6.
- Manurung, GES, Roshetko, JM, Budidarsono, S & Kurniawan, I 2008, 'Dudukuh tree farming systems in West Java: How to mobilize self-strengthening of community-based forest management?', In: Snelder, DJ & Lasco, R (eds), *Smallholder tree growing for rural development and environmental services*, World Agroforestry Centre (ICRAF) ICRAF-Bogor, Indonesia.
- Mohr, H & Schopfer, P 1995, *Plant physiology*, Translator Gudrun, David, W, Lawlor Springer-Verlag, New York.
- Muhsanati, Mayerni, R & Sari, TGP 2009, 'Pengaruh pemberian naungan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman stroberi (*Fragaria x annasa*)', *Jerami*, vol. 2, hlm. 31- 4.
- Muhuria, L, Tyas, KN, Khumaida, N, Trikoesoemaningtyas & Sopandie, D 2006, 'Adaptasi tanaman kedelai terhadap intensitas cahaya rendah: Karakter daun untuk efisiensi penangkapan cahaya', *Bul. Agron.*, vol. 34, no. 3, hlm. 133-40.
- Niinemets, U 2010, 'A review of light interception in plant stands from leaf to canopy in different plant functional types and in species with varyeng shade tolerance', *Ecol. Res.*, vol. 25, pp. 693-714.
- Pranoto, AH 2011, 'Kajian agroekologi sistem agroforestri di Daerah Aliran Sungai Cianjur', Disertasi, Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sandri, MA, Andriolo, JL, Witter, M & Ross, TD 2003, 'Effect of shading on tomato plants grown under greenhouse', *Hortic. Bras.*, vol. 21, pp. 642-5.
- Sasmita, P, Purwoko, BS, Sujiprihati, S, Hanarida, I, Dewi, IS & Chozin, MA 2006, 'Evaluasi pertumbuhan dan produksi padi gogo haploid ganda toleran naungan dalam sistem tumpangsari', *Bul. Agron.*, vol. 34, no. 2, hlm. 79-86.
- Shehata, S, Elsagheer, AA, El-Helaly, MA, Saleh, SA & Abdallah, AM 2013, 'Shading effect on vegetative and fruit characters of tomato plant', *J. of Applied Sciences Research*, vol. 9, no. 3, pp. 1434-7.
- Sims, DA & Gamon, JA 2002, 'Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages', *Science Direct*, vol. 81, pp. 337-54.
- Sopandie, D, Chozin, MA, Sastrosumarjo, S, Juhaeti, T & Sahardi 2003, 'Toleransi padi gogo terhadap naungan', *Hayati*, vol. 10, no. 2, hlm. 71-5.
- Soverda, N 2009, 'Adaptasi tanaman padi gogo terhadap naungan', *J. Agron.*, vol. 8, no.2, hlm. 105-10.
- Soverda, N 2012, 'Uji adaptasi dan toleransi beberapa varietas tanaman kedelai pada naungan buatan', *J. Online Univ Jambi Bioplantae*, vol. 1, hlm. 1-13.
- Sulistiyowati, D, Chozin, MA, Syukur, M, Melati, M & Guntoro, D 2015, 'Selection on shade-tolerant genotypes of tomatoes', *J. of Applied Horticulture* (accepted).
- Tuzel, Y, Oztekin, GB & Meric, MK 2009, 'Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato', *Acta Horticulturae*, vol. 807, hlm. 97-102.
- Yoshida, S, Forno, DA, Cock, JH & Gomez, KA 1976, *Laboratory manual for physiological studies of rice*, IRRI, Los Banos, Philipina.