

Karakteristik Daun Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) dan Hubungannya dengan Fotosintesis

Leaf Characteristic of Jatropha curcas L. and Its Relation to Photosynthesis

Ince Raden^{1*}, Bambang S. Purwoko², Hariyadi², Munif Ghulamahdi² dan Edi Santosa²

Diterima 7 Mei 2008/Disetujui 25 Juli 2008

ABSTRACT

The objective of this research was to study the morphology and physiology of *jatropha* leaves and its relation to photosynthesis. Research was conducted using Randomized Complete Block Design with single factor, i.e., leaf ages at the canopy with ten replications. The results showed that *jatropha* had phyllotaxy 5/13 with angular divergence 138°. In early growing leaf enlarged sharply and then constant after 9 week, remaining green for 14 weeks. Chlorophyll a, b, and total achieved maximum at 9 week, i.e., 0.45 g/cm², 0.19 g/cm², and 0.62 g/cm², respectively. Photosynthetic rate was maximum at 6 week, i.e., 8.99 µmol/m²/s, while number of stomata was maximum at 9 week (289.47 mm²). This finding implies that leaf number 11 to 13 or age 6 week after emergence could be used as reference for photosynthetic evaluation.

Key words: *Jatropha curcas* L., leaf arrangement, photosynthetic, reference leaf

PENDAHULUAN

Jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) merupakan salah satu tanaman yang diunggulkan di Indonesia sebagai penghasil minyak untuk biodiesel. Namun demikian, produktivitas jarak pagar masih relatif rendah, sehingga upaya untuk meningkatkan produktivitas menjadi prioritas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas jarak pagar pada tahun pertama cukup bervariasi, yaitu 0.3 kg/pohon (Heller, 1996), 400 kg/ha/tahun (Jones and Miller, 1992), dan 200 kapsul/tanaman atau 0.36 kg/pohon (Hasnam *et al.*, 2007).

Produktivitas tanaman secara umum dipengaruhi oleh kapasitas *sink* dan *source*, di mana daun sebagai "source" memegang peranan penting melalui mekanisme fotosintesis. Secara umum fotosintesis dipengaruhi oleh karakteristik daun (umur daun, dan morfologi daun), besarnya kebutuhan hasil asimilasi oleh sink, dan faktor lingkungan seperti kesuburan tanah, kandungan CO₂ atmosfer, kelembaban, suhu, dan cahaya (Sinclair and Torrie, 1989).

Karakteristik daun ditentukan oleh stadia perkembangan daun (umur daun), posisi daun dan pola penyebaran daun yang dapat mempengaruhi kemampuan fotosintesis tanaman. Kemampuan fotosintesis daun meningkat pada awal perkembangan daun, kemudian akan menurun seiring dengan proses *senescence* akibat adanya perombakan klorofil dan

menurunnya fungsi kloroplas. Karakteristik daun tersebut akan mempengaruhi efisiensi pemanfaatan cahaya oleh daun. Menurut Valladares (2003), cahaya yang diterima pada permukaan daun terdiri atas empat komponen, yaitu cahaya langsung, cahaya difus, cahaya refleksi, dan cahaya transmisi (Valladares, 2003).

Cahaya langsung banyak diperoleh oleh daun yang berada pada lapisan kanopi atas (yang tidak ternaungi) sedangkan daun-daun bagian bawah memperoleh cahaya tidak langsung dalam bentuk cahaya difus, cahaya yang direfleksikan dan ditransmisikan oleh daun lain. Hal ini berarti distribusi cahaya dalam tajuk berhubungan erat dengan karakteristik daun dan arsitektur tajuk. Dengan kata lain distribusi cahaya dalam tajuk tanaman ditentukan oleh arsitektur tajuk yang meliputi bentuk daun, sudut kedudukan, dan pola distribusi daun (filotaksi) dalam ruang tajuk. Penyebaran daun dalam ruang tajuk yang menyebar sedemikian rupa dapat mengakibatkan kuantitas cahaya yang diterima oleh setiap helaian daun tidak sama. Hal ini dapat mengakibatkan laju fotosintesis daun-daun di lapisan tajuk bawah lebih rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji potensi *source* daun secara morfo-fisiologi berdasarkan posisi daun dan umur daun pada kanopi cabang tanaman jarak pagar dalam kaitannya dengan kemampuan fotosintesis, terutama dalam menentukan nomor daun terbaik sebagai referensi.

¹ PS Agronomi Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor. Staf Pengajar DPK Univ. Kutai Kartanegara. Jl. Gn. Kombeng No. 27 Tenggarong (Kaltim). Telp, (0541) 661821 e-mail : irad_unikarta@yahoo.com. (*Penulis untuk korespondensi)

² Staf Pengajar Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB, Bogor.

BAHAN DAN METODE

Percobaan ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Cikabayan Institut Pertanian Bogor (240 m dpl) pada November 2007 - Pebruari 2008. Tanaman jarak pagar yang diamati berasal dari propenan Dompus Nusa Tenggara Barat. Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan satu faktor, yaitu umur daun (1 sampai 14 minggu) pada kanopi dengan 10 ulangan. Setiap ulangan terdiri dari 10 tanaman sehingga total tanaman yang digunakan 10 x 10 = 100 tanaman. Semua daun yang berumur sama pada awal penelitian diberi label. Pengamatan daun dilakukan sejak daun berumur 1 minggu (sejak tunas) hingga daun mulai ada yang *senescence* (14 minggu) dengan selang pengamatan mingguan. Setiap minggu dilakukan sampel deskruksi 10 daun yang berumur sama. Cabang primer yang diamati memiliki panjang 52-80 cm dan diameter 1.78-2.70 cm. Peubah yang diamati meliputi: luas daun dihitung menggunakan gravimetri (Sitompul dan Guritno, 2005); bobot kering daun diukur setelah dioven pada suhu 75-80⁰C selama 2x24 jam (Sitompul dan Guritno, 2005); panjang tangkai daun (*petiole*) diukur dari titik helai daun sampai pangkal tangkai pada cabang; kehijauan daun diukur dengan menggunakan chlorophyll tester (FHK Chlorophyll Tester CT-120) pada empat titik pada setiap daun; klorofil a, b, a/b dan total diamati dengan menggunakan alat spektrofotometer (Yoshida *et al.*, 1976); luas daun spesifik dihitung berdasarkan nisbah luas daun dengan

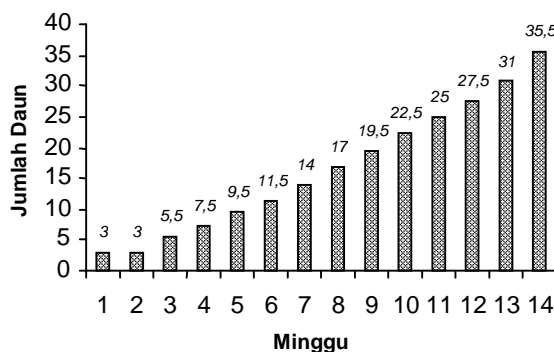
bobot kering daun; dan sudut tangkai daun diukur dengan menggunakan derajat busur pada bagian atas cabang tanaman; laju fotosintesis termasuk suhu, radiasi aktif fotosintesis (PAR), CO₂ sub-stomatal, dan CO₂ (alami) daun diukur pada pukul 10.00-12.00 menggunakan *Leaf Chamber Analyser* (LCA4) dan cuvet daun lebar (PCL4) model ADC Bio Scientific Ltd. ditempatkan pada bagian tengah daun; jumlah dan bukaan stomata daun diamati pada pukul 10.00 pagi dengan cara mengoleskan kutex transparan pada empat tempat pada sisi atas dan bawah daun dan setelah kering diangkat menggunakan selotip. Selotip yang mengandung kutex hasil pola stomata diamati dengan mikroskop pembesaran 400x pada tiga bidang pandang.

Analisis data dilakukan dengan anova (program SAS) dan statistik deskriptif (*descriptive statistics*) serta analisis regresi dan korelasi yang menggunakan program *Microsoft Excel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi Daun

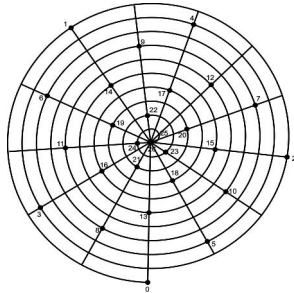
Jumlah daun pada cabang setiap minggu bertambah kecuali minggu ke 1 menuju ke-2. Data menunjukkan bahwa umur fisiologi daun mencapai 14 minggu (3.5 bulan) sejak kuncup hingga menguning, jumlah daun per cabang dari pucuk hingga daun tertua menguning adalah 35.5 helai (Gambar 1).



Gambar 1. Jumlah kumulatif daun pada cabang tanaman jarak pagar per minggu

Tanaman jarak pagar memiliki rumus filotaksi 5/13 artinya terdapat 5 garis spiral yang melingkar cabang atau batang dan melewati 13 daun untuk mencapai daun yang tegak lurus dengan daun

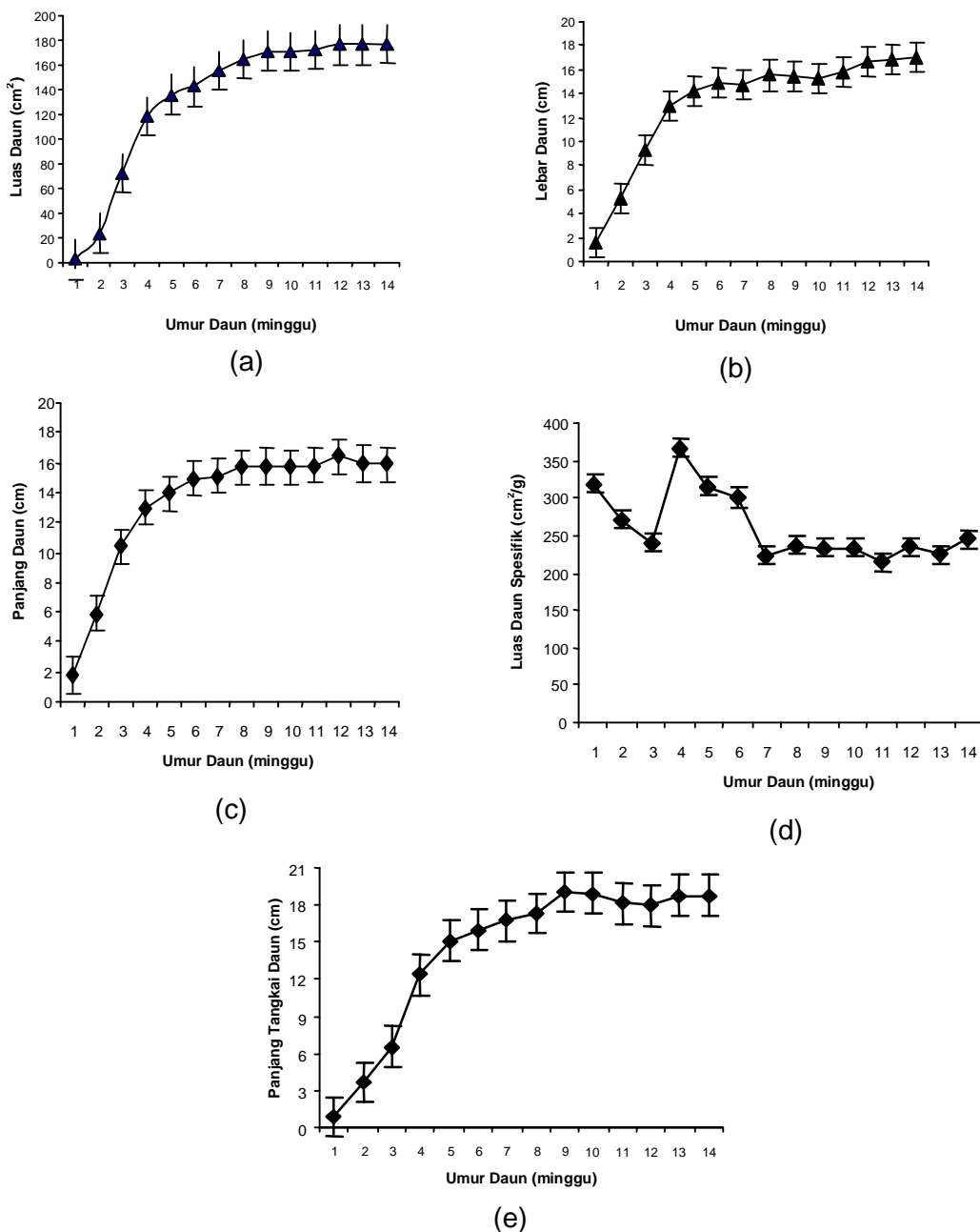
permulaan dan membentuk *angular divergence* (sudut antar daun) 138⁰ (Gambar 2). Arah spiral ada 2, yaitu searah dan berlawanan arah dengan arah jarum jam.



Gambar 2. Pilotaksis daun tanaman jarak pagar tampak dari atas

Perkembangan Daun

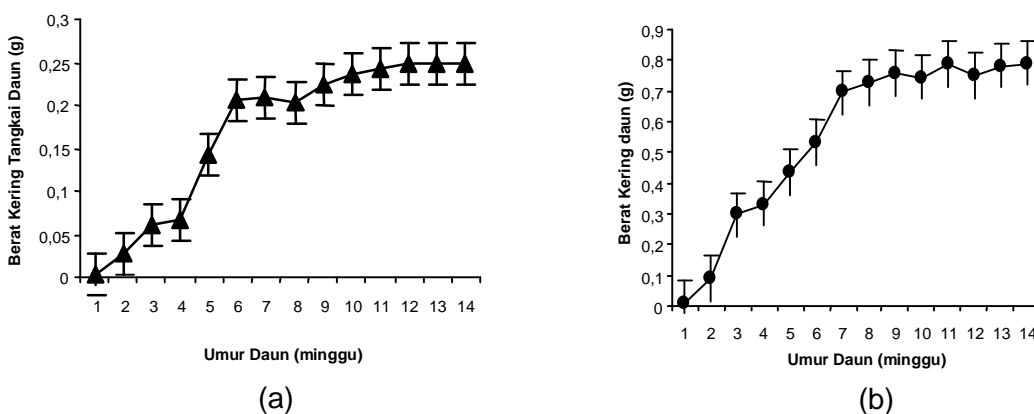
Seiring dengan umur, luas daun individu meningkat signifikan pada minggu ke-2, 3, 4, dan 7 setelah kuncup. Pada awal pertumbuhan peningkatan luas daun lebih cepat sampai pada minggu ke-4 (118.65 cm²), kemudian peningkatannya lebih lambat sampai pada minggu ke-9 171.48 (cm²) setelah itu tidak terjadi lagi peningkatan luas daun (Gambar 3a).



Gambar 3. Perkembangan luas daun (a), lebar daun (b), panjang daun (c), luas daun spesifik (d), dan panjang tangkai daun (e). (Nilai $\bar{x} \pm SE$).

Penambahan ukuran daun (lebar dan panjang) secara signifikan meningkat dengan cepat dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4 kemudian mengalami peningkatan tetapi tidak signifikan (Gambar 3b dan 3c). Sebaliknya, terjadi kecenderungan bahwa semakin bertambah umur daun maka luas daun spesifik (LDS) semakin menurun. Namun demikian, pada minggu ke-4, terjadi peningkatan LDS yang signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju peningkatan berat kering daun lebih rendah dibandingkan laju penambahan luas daun pada daun minggu ke-4 (Gambar 3d).

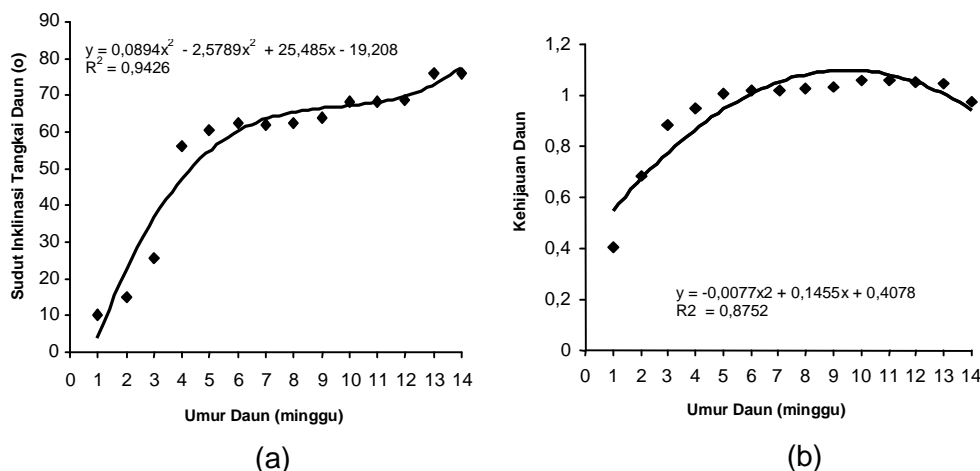
Panjang tangkai daun meningkat tajam sampai pada minggu ke-5 (15 cm), kemudian penambahan panjang tangkai daun masih meningkat tetapi lebih lambat hingga mencapai maksimum pada minggu ke-9 (18.8 cm) (Gambar 3e). Sementara itu, penambahan berat kering tangkai daun pada awal pertumbuhan hingga minggu ke-4 lebih lambat dibandingkan minggu ke-4 (0.07 g) menuju minggu ke-6 (0.21 g) yang peningkatannya tajam (Gambar 4a).



Gambar 4. Perkembangan berat kering tangkai daun (a) dan berat kering daun (b) tanaman jarak pagar per minggu. (Nilai $\bar{x} \pm SE$).

Berat kering daun mengalami peningkatan secara signifikan dengan semakin bertambahnya umur daun. Berat kering daun minggu ke-2, 3, 5 dan 7, yaitu berturut-turut 0.09 g, 0.30 g, 0.45 g dan 0.71 g. Berat kering pada awal pertumbuhan sampai pada minggu ke-7 mengalami peningkatan yang lebih cepat dibandingkan minggu sesudahnya (Gambar 4b).

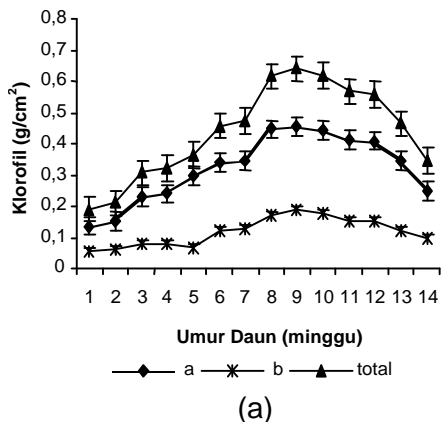
Pada daun-daun muda, tangkai daun membentuk sudut kecil kemudian melebar hingga mencapai maksimum umur 14 minggu (76°) terhadap posisi cabang. Pengujian melalui regresi menunjukkan pengaruh yang nyata antara umur daun dengan sudut inklinasi (P -value $< 0.05\%$) dengan nilai keeratn 90.5% (Gambar 5a).



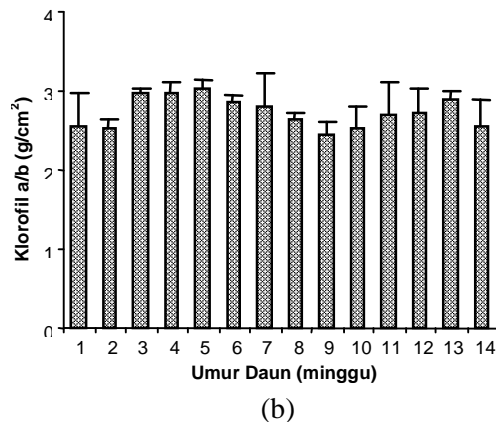
Gambar 5. Hubungan sudut inklinasi tangkai daun (a) dan kehijauan daun (b) dengan umur daun tanaman jarak pagar per minggu.

Kandungan Klorofil

Kandungan klorofil a, b dan total klorofil daun berbeda tergantung pada umur daun. Kandungan klorofil a, b dan total tertinggi pada daun umur 9 minggu, yaitu masing-masing 0.45 g/cm², 0.19 g/cm²



dan 0.62 g/cm², kemudian mengalami penurunan seiring dengan waktu (Gambar 6a). Hal ini sejalan dengan pendapat Rupp dan Traenkle (1995) bahwa kandungan klorofil daun dipengaruhi oleh umur.



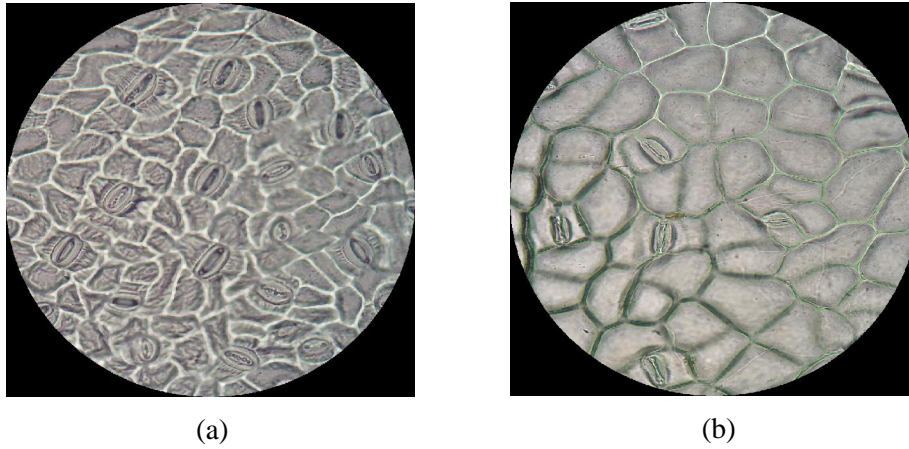
Gambar 6. Kandungan klorofil a, b, dan total (a) dan nisbah klorofil a/b (b) daun tanaman jarak pagar dari daun bermuda hingga senescente

Nisbah klorofil a/b pada awal pertumbuhan meningkat, yaitu 2.55 g/cm², kemudian relatif konstan pada minggu ke-3 sampai ke-5 (2.97-3.02 g/cm²) sebelum menurun dan pada minggu ke-11 (2.70 g/cm²) terjadi peningkatan kembali (Gambar 6b). Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada awal pertumbuhan, laju peningkatan klorofil a lebih tinggi dibandingkan klorofil b kemudian peningkatannya relatif konstan dan selanjutnya peningkatan klorofil b lebih tinggi dibandingkan klorofil a dan pada akhir perkembangan penurunan klorofil b lebih lambat dibandingkan klorofil a atau klorofil b diduga mulai terdegradasi. Hidema *et al.*, 1992) dan Evans and Poorter (2001) menyatakan bahwa penurunan rasio klorofil a/b terjadi karena peningkatan jumlah klorofil b lebih tinggi dibandingkan klorofil a. Peningkatan klorofil b dapat terjadi karena daun bagian bawah menerima cahaya yang lebih sedikit dan adanya konversi klorofil a menjadi klorofil b. Folly and Engel (1999) menyatakan bahwa konversi klorofil a menjadi klorofil b memegang peranan penting dalam pembentukan dan reorganisasi aparatus fotosintesis sehingga memungkinkan tanaman dapat beradaptasi dengan intensitas cahaya rendah.

Berdasarkan uji regresi dan korelasi pengukuran kehijauan daun dengan menggunakan alat klorofil tester dan spektrofotometer menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat ($r = 0.95$ dan $r^2 = 91.2\%$) yang berarti bahwa 91.2% variasi sampel kehijauan daun dapat dijelaskan oleh kandungan total klorofil daun, yaitu kehijauan daun berkaitan erat dengan total klorofil. Makin tinggi total klorofil maka tingkat kehijauan makin tinggi.

Stomata Daun

Daun jarak pagar memiliki stomata pada bagian atas dan bagian bawah (Gambar 7). Jumlah stomata maksimum ditemukan pada daun umur 9 minggu (289.47 mm²). Bagian bawah daun mengandung stomata yang lebih banyak dibandingkan bagian atas daun (Tabel 1). Rasio total stomata bawah dan atas tertinggi dicapai pada minggu ke-4 (21.00 per mm²). Total kerapatan stomata tertinggi pada bagian atas dicapai pada minggu ke-6, yaitu 57.90 per mm² dan bagian bawah minggu ke-9 (242.10 per mm²). Pada stomata bagian bawah, perbandingan stomata membuka lebih banyak dibandingkan menutup pada minggu ke-1 sampai ke-6, sebaliknya minggu ke-7 sampai ke-14 stomata tertutup lebih banyak dibandingkan terbuka. Mohr and Schopfer (1995) menyatakan bahwa proses pembukaan stomata secara langsung merupakan fungsi cahaya karena sel penjaga memiliki klorofil, cahaya (terutama cahaya biru) yang diserap oleh sel penjaga akan merangsang masuknya ion kalium ke sel penjaga. Akumulasi ion kalium (K⁺) pada sel penjaga mengakibatkan terbukanya stomata. Ada dugaan bahwa semakin bertambah umur daun (posisi daun semakin berada di bawah) menyebabkan daun akan ternaungi oleh daun yang ada di atasnya mengakibatkan intensitas cahaya yang sampai pada permukaan daun tersebut lebih rendah dan menginduksi penutupan stomata. Fahn (1995) melaporkan bahwa penurunan intensitas cahaya pada daun *Iris sp.* menyebabkan penurunan jumlah stomata. Allard *et al.* (1991) juga melaporkan bahwa perlakuan radiasi rendah pada *tall fescue* menyebabkan penurunan kerapatan stomata pada kedua permukaan daun dan pengaruh paling kuat terjadi pada stomata abaksial.



Gambar 7. Stomata bagian bawah (a) dan atas (b) daun jarak pagar (pembesaran 400x)

Tabel 1. Kerapatan stomata pada bagian atas dan bawah daun berdasarkan posisi daun (umur daun) pada cabang

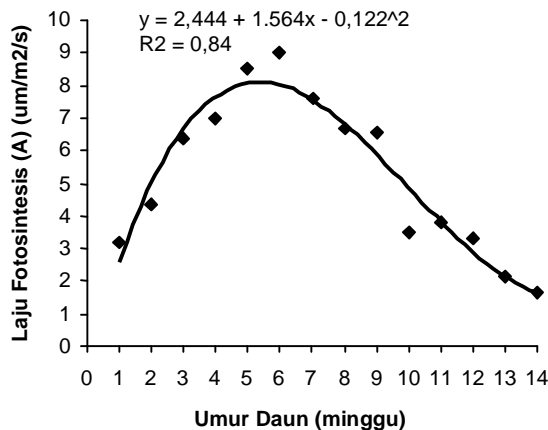
Umur daun (minggu)	Kerapatan stomata (per cm ²)						Rasio total stomata bawah/atas	Total bawah dan atas
	Atas			Bawah				
	b	t	Total	b	t	Total		
1	-	-	-	100.00	26.32	126.31 i	-	126.32 i
2	-	-	-	131.58	78.95	210.52 b	-	210.53 de
3	10.53	5.26	15.80 e	105.26	94.74	200.00 c	12.70 b	215.79 ef
4	10.53	-	10.50 e	131.58	89.47	221.05 bdef	21.00 a	231.58 cde
5	-	42.11	42.11 b	152.63	21.05	173.68 gh	4.13 bc	215.79 cde
6	10.53	47.37	57.90 a	110.53	47.36	157.89 ab	2.72 c	215.79 cde
7	-	10.53	10.50 e	73.68	147.37	221.05 cd	21.00 a	231.58 cb
8	10.53	31.58	42.10 b	84.21	110.53	194.73 a	4.63 bc	236.84 bcd
9	5.26	42.11	47.40 b	100.00	142.11	242.10 b	5.11 bc	289.47 a
10	-	31.58	31.58 dc	78.95	142.11	221.05 cde	7.00 bc	252.63 b
11	-	36.84	36.80 c	68.42	115.79	184.21 fgh	5.0 bc	221.05 ef
12	-	26.32	26.30 d	52.63	115.79	168.42 efg	6.40 bc	194.74 g
13	-	31.58	31.60 d	42.10	126.32	168.42 h	5.33 bc	200.00 fg
14	-	-	-	42.11	115.79	157.89 ab	-	305.46 h

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam kolom yang sama tidak berbeda nyata pada Uji DMRT 0.05. - tidak teridentifikasi, b = membuka, t = menutup

Laju Fotosintesis

Laju fotosintesis secara signifikan berkorelasi secara kubik dengan umur daun, hubungan korelasinya bersifat kubik (Gambar 8). Pada awal pertumbuhan daun, laju fotosintesis meningkat sampai daun mengalami perkembangan penuh dan kemudian menurun secara berlahan seiring dengan meningkatnya

umur daun. Hal ini sejalan dengan pernyataan Lakitan (2004) dan Salisbury dan Ross (1995) bahwa stadia perkembangan daun (umur daun) mempengaruhi laju fotosintesis. Penurunan kemampuan fotosintesis pada daun-daun tua tanaman jarak pagar disebabkan terjadinya degradasi klorofil dan hilangnya fungsi kloroplas.



Gambar 8. Laju fotosintesis daun tanaman jarak pagar berdasarkan umur sejak kuncup hingga senescence

Sebagai sumber utama karbohidrat, potensi daun sebagai *source* yang diukur melalui laju fotosintesis, maksimum dicapai pada daun umur 6 minggu (8.99 μmol/m²/s). Hal ini berimplikasi bahwa jumlah kumulatif daun ke-10-13 atau berumur enam minggu setelah terbentuk dapat digunakan sebagai referensi untuk mengevaluasi laju fotosintesis pada daun jarak pagar.

Uji korelasi laju fotosintesis dengan berbagai peubah yang lain menunjukkan bahwa laju fotosintesis secara signifikan dipengaruhi oleh besarnya selisih konsentrasi CO₂ yang mengalir ke dalam dan keluar daun, suhu daun, jumlah stomata yang terbuka, dan radiasi aktif fotosintesis daun (PAR) (Tabel 2).

Tabel 2. Korelasi laju fotosintesis (A), perbedaan konsentrasi CO₂ yang masuk dan keluar daun (C), suhu daun (Tch), jumlah stomata terbuka, total stomata, dan PAR permukaan daun (Q leaf), serta konsentrasi CO₂ dalam sub-stomatal (Ci) tanaman jarak pagar.

	A (μmol/m ² /s)	C (μmol/mol)	Tch (°C)	Jml stomata Terbuka	Total Stomata	Q leaf (μmol/s/m ²)
C	0.634 ^{z*}					
Tch	0.587 [*]	0.449 ^{tn}				
Jml Stomata Terbuka	0.681 [*]	0.307 ^{tn}	0.527 ^{tn}			
Total Stomata	0.496 ^{tn}	0.410 ^{tn}	0.646 ^{tn}	0.215 ^{tn}		
Q leaf	0.728 [*]	0.603 [*]	0.449 ^{tn}	0.179 ^{tn}	0.737 [*]	
Ci (μmol/mol)	0.049 ^{tn}	0.540 [*]	0.362 ^{tn}	0.221 ^{tn}	0.663 [*]	0.736 [*]

Keterangan : * = berpengaruh nyata, tn = tidak berpengaruh nyata, dan z = nilai r².

KESIMPULAN

Daun jarak pagar memiliki filotaksi 5/13 dengan sudut antar daun 138°. Kandungan klorofil a, b, dan total tertinggi dicapai pada umur daun minggu ke-9 berturut-turut (0.45 g/cm², 0.19 g/cm², 0.62 g/cm²). Total stomata tertinggi dicapai pada daun umur 9 minggu (289.47 mm²). Total stomata daun bagian atas tertinggi dicapai pada minggu ke-6, yaitu 57.90 per mm² dan bagian bawah minggu ke-9 (242.10 per mm²). Daun mulai berfotosintesis sejak umur 1 minggu hingga umur 14 minggu, setelah itu daun mengalami *senescence*. Laju fotosintesis maksimum ditemukan pada daun umur 6

minggu, yaitu 8.99 μmol/m²/s. Daun ke-11 sampai 13 atau umur 6 minggu setelah terbentuk dapat dijadikan referensi untuk mengevaluasi laju fotosintesis.

DAFTAR PUSTAKA

Allard, G., C.J. Nelson, S.G. Pallardy. 1991. Shade effect on growth of tall fescue: I. Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 31:163-167.

Evans, J.R., H. Poorter. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the

- relative importance of specific leaf area and nitrogen partition in maximizing carbon gain. *Plant Cell and Env.* 24:755-767.
- Fahn A. 1995. *Anatomi Tumbuhan*. (Terjemahan Tjitrosomo SS). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. 493 hal.
- Folly, P., N. Engel. 1999. Chlorophyll b chlorophyll a conversion precedes chlorophyll degradation in *Hordeum vulgare* L. *J. Biol. Chem.* 274:21811-21816
- Hasnam, C. Syukur, R.S. Hartati, S. Wahyuni, D. Pranowo, E. Susilowati, E. Puslani, B. Heliyanto. 2007. Pengadaan bahan tanaman jarak pagar di Indonesia; desa mandiri energi serta strategi penelitian di masa datang. Makalah disampaikan pada Lokakarya Nasional Jarak Pagar III di Balittas Malang, 5 November 2007.
- Heller, J. 1996. *Physic Nut. Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resource Institute, Rome. 66 p.
- Hidema, J., A. Makino, Y. Kurita, T. Mae, K. Ohjima. 1992. Changes in the level of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PSII in rice leaves age under different irradiances from full expansion through senescence. *Plant Cell Physiol.* 33:1209-1214.
- Jones, N., J.H. Miller. 1992. *Jatropha curcas*. A Multipurpose species for problematic sites. The World Bank Report. Asia Technical Department. Agriculture Division. 9 p.
- Lakitan B. 2004. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta. Rajawali Press. 205 p.
- Mohr, H., P. Schopfer. 1995. *Plant Physiology*. Springer-Verlag. Berlin. NY. 629 p.
- Rupp, D. L., Traenkle. 1995. A non destructive measurement method for chlorophyll in grapevine. *Staatliche Lehr Ver suchsanstalt Weinobstbau, Weinsberg, Germany.* 45:139-142.
- Salisbury, F.B., C.W. Ross. 1995. *Fisiologi Tumbuhan, Jilid 2*. (Terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryono). Bandung : ITB. 173 hal.
- Sinclair, T.R.R., T. Torrie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency. *Crop Sci.* 29:90-98.
- Sitompul, S.M., B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. 412 hal.
- Valladares, F. 2003. Light heterogeneity and plants: from ecophysiology to species coexistence and biodiversity. p 577-584. *In: Esser, K, U. Luttge, W. Beyschlag, F. Hellwig (Eds). Progress in Botany. Vol. 64. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag.*
- Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cooch, K.A. Games. 1976. *Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice*. The International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines. 83 p.