

Respon Fisiologis dan Pertumbuhan Kakao (*Theobroma cacao*), Kopi (*Coffea arabica*), Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Cengkih (*Syzygium aromaticum*)  
Fase Bibit Terhadap Naungan dan Pemupukan  
(Physiological Responses and Growth of Cacao (*Theobroma cacao*), Coffee (*Coffea arabica*), Rubber (*Hevea brasiliensis*) and Clove (*Syzygium aromaticum*)  
at Seedling Phase to Various Shading and Fertilization Treatments)

Nuril Hidayati, Titi Juhaeti & Fauzia Syarif

Pusat Penelitian Biologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia LIPI  
Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong 16911. E-mail: nurilhid@yahoo.com

Memasukkan Mei 2014, Diterima: Oktober 2014

ABSTRACT

Plants show different physiological responses to light intensities. Study on optimum light intensities for different plants is important, especially for commercial plant commodities, such as industrial plantation plants. This research aims to study the influence of shading and fertilization treatments on plant growth and the activity of some physiological process of four industrial trees namely Cacao (*Theobroma cacao*), Coffee (*Coffea arabica*), Rubber (*Hevea brasiliensis*) dan Clove (*Syzygium aromaticum*). This research was conducted at Cibinong Science Center LIPI. Two treatment factors applied were three levels of shading : 0%, 55%, 75% and three levels of N fertlizer: 0 g/plant, 5 g/plant and 10 g/plant arranged in Randomized Block Design with five replicates. Result of experiment revealed that all plant species showed the best growth performance and optimum physiological activities under 55% of shade level in combination with 10 g of N fertilization. The highest CO<sub>2</sub> was 13.07  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (55% shad). The highest values of transpiration and stomatal conductance were 7.56  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan 0.73  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (55% shade). The highest carbohydrate content was 22.49% (under 0% shade) and the lowest was 12.74% (under 75% shade).

**Keywords:** Physiological activity, growth, shading, fertilization

ABSTRAK

Respon fisiologis tanaman terhadap cahaya optimum berbeda-beda. Perlu dilakukan kajian mengenai kesesuaian cahaya optimum untuk pertumbuhan tanaman, terutama untuk jenis-jenis komoditas penting, seperti tanaman perkebunan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh naungan dan pemupukan N terhadap pertumbuhan dan respon fisiologis empat jenis tanaman perkebunan yakni Kakao (*Theobroma cacao*), Kopi (*Coffea arabica*), Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Cengkih (*Syzygium aromaticum*). Penelitian dilaksanakan di Cibinong Science Center LIPI. Perlakuan yang dicobakan adalah tiga tingkat naungan naungan yakni 0%, naungan 55% dan naungan 75% dan tiga tingkat pemupukan N (urea) yakni 0 g /tanaman, 5 g/tanaman dan 10 g/tanaman yang dirancang dalam Rancangan Acak Kelompok dengan lima ulangan. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa tanaman menunjukkan performa pertumbuhan yang paling baik dan aktivitas fisiologis yang optimal pada kondisi lingkungan dengan perlakuan naungan 55% dan pemupukan N 10 g/tanaman. Asimilasi CO<sub>2</sub> paling tinggi adalah pada naungan 55% sebesar 13.07  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , demikian pula dengan laju transpirasi dan *stomatal conductance* pada naungan 55% lebih tinggi dibandingkan naungan 75%, masing-masing sebesar 7.56  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan 0.73  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Kandungan karbohidrat daun paling tinggi pada naungan 0% yakni sebesar 22.49% dan paling rendah pada naungan 75% sebesar 12.74%.

**Kata Kunci:** Aktivitas fisiologis, pertumbuhan, naungan, pemupukan.

## PENDAHULUAN

Respon fisiologi tanaman dipelajari untuk mengetahui kemampuan tumbuh dan adaptasi suatu jenis tanaman pada lingkungan tertentu sehingga dapat ditentukan suatu lingkungan yang optimal untuk proses fisiologis dan pertumbuhannya. Banyak faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap proses fisiologis, pertumbuhan dan produksi tanaman. Diantara faktor yang berpengaruh signifikan dan langsung adalah cahaya dan ketersediaan hara, disamping ketersediaan air.

Pengaruh faktor lingkungan pertama kali direspon oleh tanaman adalah melalui proses fisiologis seperti pembukaan dan penutupan stomata, pengaturan penguapan melalui transpirasi dan asimilasi CO<sub>2</sub> melalui penyerapan CO<sub>2</sub> dari stomata daun. Proses fisiologis, terutama asimilasi CO<sub>2</sub> ini kemudian menentukan pertumbuhan vegetatif dan reproduktif dan pada akhirnya produktivitas tanaman (Ceulmen & Sauger 1991; Salisbury & Ross 1992).

Respon tanaman terhadap intensitas cahaya yang berbeda tergantung dari sifat adaptif tanaman tersebut. Respon terhadap intensitas cahaya tinggi dapat menguntungkan atau merugikan. Hal ini karena tanaman memiliki ambang batas terhadap intensitas cahaya yang diterima. Intensitas cahaya yang tinggi menyebabkan rusaknya struktur kloroplas yang membantu proses metabolisme tanaman, sehingga menyebabkan produktivitas tanaman menurun (Shao *et al.* 2014; Whittman *et al.* 2001; Salisbury & Ross 1992).

Menurut hasil-hasil penelitian bahwa pemberian naungan berdampak pada perubahan iklim mikro yakni mengurangi intensitas cahaya sekitar 30 – 40%, menjaga kestabilan kelembapan udara sekitar 60–70%, kestabilan suhu udara serta mengurangi penguapan dan menjaga keseimbangan air pada tanaman dan tanah. Hasil penelitian dampak pemberian naungan pada pertanaman tembakau menunjukkan bahwa laju transpirasi tanaman tembakau menurun sebesar 45,6%, evapotranspirasi tanah menurun sebesar 60% dan

kadar air daun meningkat serta total luas daun tembakau meningkat 40% . Penelitian naungan pada kakao menunjukkan bahwa stek kakao mampu berakar dengan baik kalau mendapatkan intensitas cahaya 20% lebih rendah dari intensitas cahaya penuh. Penelitian pada pembibitan karet membuktikan bahwa bibit karet mampu berakar dengan baik kalau mendapatkan 50% intensitas cahaya. Penelitian pada stek vanili menunjukkan bahwa bibit vanili mampu berakar dengan baik kalau mendapatkan 30%-50% cahaya (Nasaruddin 2002; Nasaruddin *et al.* 2006).

Kakao (*Theobroma cacao*), Kopi (*Coffea arabica*), Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Cengkih (*zygium aromaticum*) termasuk tanaman perkebunan biasa dibudidayakan pada kondisi iklim mikro yang berbeda pada fase-fase pertumbuhannya. Kakao dan kopi merupakan tanaman tahan naungan sejak bibit hingga berumur 2 tahun. Oleh karena itu pada awal penanaman, kakao selalu ditanam di bawah naungan, hingga 2 tahun. Menurut laporan bahwa tanaman kakao memerlukan intensitas cahaya rendah, tanaman yang berumur 3-4 bulan membutuhkan sekitar 35%-40% intensitas cahaya matahari dan berangsur-angsur meningkat sejalan dengan peningkatan umur tanaman Nasaruddin (2002).

Karakter-karakter fisiologi tanaman sangat bervariasi diantara spesies sehingga diperlukan pemahaman mengenai sifat-sifat ekologis dan fisiologis dari jenis-jenis tumbuhan dan ketelitian dalam pemilihan jenis tumbuhan berdasarkan karakteristik yang diharapkan. Untuk itu evaluasi karakter fisiologi merupakan salah satu indikator yang tepat (Ashton 1998).

Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap parameter-parameter fisiologis (fotosintesis, transpirasi, *stomatal conductance*, kandungan klorofil dan karbohidrat daun) dan pertumbuhan empat jenis tanaman perkebunan fase bibit dengan tujuan mempelajari respon fisiologis dan daya adaptasi tanaman terhadap perlakuan naungan dan pemupukan sehingga diperoleh kondisi lingkungan tumbuh yang sesuai untuk pertumbuhan yang optimal.

## BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian ini dilakukan di kebun percobaan Cibinong Science Center (CSC) LIPI ditujukan untuk mempelajari lingkungan yang optimum (kesesuaian cahaya dan hara/pupuk N) untuk meningkatkan pertumbuhan dan proses fisiologis empat jenis tanaman perkebunan. Jenis tanaman yang dipilih adalah tanaman Kakao (*Theobroma cacao*) (T1), Kopi (*Coffea arabica*) (T2), Karet (*Hevea brasiliensis*) (T3) dan Cengkih (*Syzygium aromaticum*) (T4). Tanaman fase bibit dengan tinggi rata-rata 40 – 60 cm ditanam/transplanting di polybag berukuran 8 kg dengan media campuran tanah dan pupuk kandang dengan perbandingan 2 bagian tanah dan satu bagian pupuk kandang. Percobaan ini terdiri dari dua faktor. Faktor pertama berupa perlakuan naungan dengan dengan paranet hitam 1) taraf 0% (N0), 2) Naungan dengan taraf 55% (N1) dan 3) taraf 75% (N2). Faktor kedua adalah perlakuan pemupukan N (urea) dengan taraf dosis pupuk 1) 0 g /tanaman (P0), 2) 5 g/tanaman (P1) dan 3) 10 g/tanaman (P2) yang dirancang dalam Rancangan petak terpisah dengan lima ulangan.

Variabel yang diukur adalah pertumbuhan (pertambahan tinggi dan diameter batang) yang dilakukan secara periodik setiap dua minggu hingga tanaman berumur 11 bulan setelah transplanting. Parameter fisiologi (fotosintesis, transpirasi, *stomatal conductance*, klorofil dan karbohidrat daun) diukur pada umur empat bulan setelah perlakuan naungan dan pemupukan diberikan.

Pengukuran parameter fisiologis (fotosintesis, transpirasi, *stomatal conductance*, foton flux density - Q Leaf) dilakukan dengan menggunakan alat *LCi ADC Bioscientific Ltd. Photosynthesis System*. Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan dengan alat *Digital Thermohyrometer AS ONE TH-321*. Pengukuran pH dan kelembaban tanah dilakukan dengan menggunakan *Soil Tester* dan pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan menggunakan *Lux meter LUXOR*.

Kandungan klorofil daun diukur dengan menggunakan *chlorophyll meter SPAD-502; Minolta Co.Ltd., Osaka, Japan*. Satuan dari pengukuran klorofil ini adalah SPAD atau *Single Photon Avalanche Diode* (Boomsma *et al.* 2009). Kandungan karbohidrat daun diukur menggunakan spektrofotometer dengan metode Clegg's Anthrone (1956).

Pengukuran parameter fisiologis yang dilakukan dengan alat fotosintesis bersifat langsung, *instantaneous* dan *non destructive*. Parameter yang diukur adalah laju asimilasi CO<sub>2</sub> dari daun yang dijepit pada *chamber*. Pada saat yang sama terukur pula konduktansi stomata daun (*stomatal conductance*), laju pertukaran air dengan CO<sub>2</sub> melalui daun yang terekam sebagai transpirasi (E), suhu daun (T<sub>e</sub>), konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam chamber (c<sub>a</sub>n), dan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam stomata (*intercellular-ci*) serta energi matahari yang jatuh di permukaan daun berupa foton flux density (Q Leaf) (Long & Hallgen 1993).

Pengukuran dilakukan pada lima individu pohon dari setiap ulangan. Pengukuran dilakukan pada daun yang memenuhi syarat untuk ukuran *chamber* (minimum memiliki lebar dan panjang 2 cm) serta daun yang sudah berkembang maksimum (*fully expanded leaves*), biasanya posisi daun ketiga dan keempat dari pucuk). Pengukuran dilakukan secara simultan untuk semua parameter fisiologis (serapan CO<sub>2</sub>, transpirasi, *stomatal conductance* dan kandungan klorofil daun) dan pada kondisi iklim mikro yang tidak jauh berbeda yakni pada selang waktu pukul 09.00 – 12.00 kondisi langit cerah (*completely clear sky*).

## HASIL

Sebagaimana yang tertera pada Tabel 1 bahwa kondisi cahaya dengan naungan 0% memiliki foton flux density (Q Leaf) sekitar 700 - 1300, naungan 55% dengan Q Leaf sekitar 400-700  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan naungan 75% dengan Q Leaf sekitar 100 – 400  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Q Leaf merupakan faktor energi cahaya yang sangat menentukan besarnya asimilasi CO<sub>2</sub> pada daun sehingga pada

level Q Leaf tertentu memiliki korelasi linear dengan laju asimilasi CO<sub>2</sub> (Hidayati *et al.* 2011; Hidayati *et al.* 2012).

Perlakuan naungan memberikan pengaruh pada proses fisiologis tanaman, termasuk asimilasi CO<sub>2</sub>, *stomatal conductance* dan transpirasi, kandungan klorofil dan karbohidrat daun serta pertumbuhan tanaman (Tabel 2 dan 3). Hasil analisis menunjukkan bahwa respon fisiologis tanaman terhadap perlakuan naungan dan pupuk bervariasi. Asimilasi CO<sub>2</sub> secara nyata berbeda antar jenis tanaman dengan nilai paling tinggi 14.57  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman kakao dan paling rendah 7.26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman cengkeh (Tabel 2). Demikian pula dengan transpirasi dan *stomatal conductance*, dengan nilai paling tinggi masing-masing sebesar 11.55  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan 1.26  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman kopi, dan nilai paling rendah sebesar 3.33  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan 0.20  $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman kakao (Tabel 2). Pembukaan stomata

dan laju transpirasi selalu memiliki kecenderungan berbanding lurus, semakin besar pembukaan stomata semakin tinggi pula laju transpirasi. Pada Gambar 4 dapat dilihat hubungan dari kedua variabel ini dengan nilai korelasi sebesar 0.591.

Kandungan klorofil daun dinyatakan dalam satuan SPAD (*Single Photon Avalanche Diode*). Kandungan klorofil daun juga bervariasi antar jenis tanaman. Sesuai dengan karakter daunnya yang berwarna hijau tua, tanaman karet dan kopi mengandung klorofil lebih tinggi dibandingkan tanaman kakao dan cengkeh, yakni 52.69 SPAD dan 44.51 SPAD (Tabel 2). Sementara kandungan karbohidrat daun paling tinggi sebesar 20.70% pada tanaman cengkeh, diikuti karet (17.47%) dan kopi (16.93%) (Tabel 3).

Pengaruh perlakuan naungan berbeda nyata pada asimilasi CO<sub>2</sub>, transpirasi, *stomatal conductance*, kandungan klorofil dan karbohidrat daun (Tabel 2 dan 3). Laju asimilasi CO<sub>2</sub> paling tinggi adalah

Tabel 1. Kondisi mikroklimat pada petak perlakuan

Komponen Mikroklimat	No	N1	N2
RH (%)	67.2	71.3	72
Suhu (°C)	32.2	31.9	31.2
Intensitas Cahaya (Lux)	8978	6512.5	4342.5
Photon flux density Q Leaf ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	700 - 1300	400-700	100 - 400

Tabel 2. Hasil analisis sidik ragam parameter fisiologi pada perlakuan naungan dan pupuk

Perlakuan	Assimilasi Co <sub>2</sub> ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Transpirasi ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<i>stomatal conductance</i> ( $\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Klorofil Daun (SPAD)
Jenis Tanaman				
Cacao	14.57a	3.33b	0.20b	37.88c
Kopi	7.86b	11.55a	1.26a	44.51a
Karet	12.61a	4.79b	0.33b	52.69a
Cengkeh	7.26b	4.84b	0.35b	31.84c
Naungan				
Naungan 55%	13.07a	7.56a	0.73a	36.41b
Naungan 75%	8.09b	4.69b	0.34b	47.05a
Pupuk				
Kontrol	12.45a	4.14b	0.33b	40.12b
5 g N	8.97b	4.10b	0.29b	42.51a
10 g N	10.31b	10.15a	0.99a	42.57a

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada P = 5 %.

pada naungan 55% sebesar  $13.07 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , demikian pula dengan laju transpirasi dan pembukaan stomata pada naungan 55% lebih tinggi dibandingkan naungan 75%, masing-masing sebesar  $7.56 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan  $0.73 \text{ molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Tabel 2). Kandungan karbohidrat daun paling tinggi pada naungan 0% yakni sebesar 22.49% dan paling rendah pada naungan 75% sebesar 12.74% (Tabel 3). Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan ditunjukkan oleh

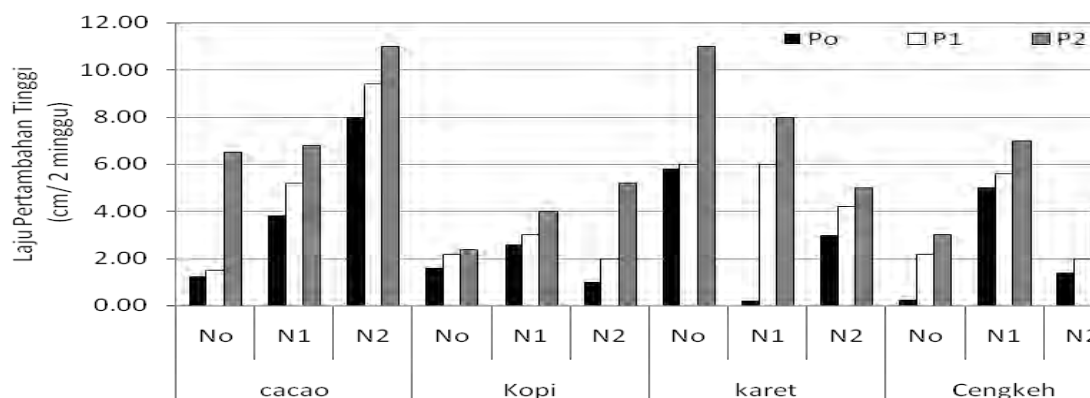
data pertumbuhan tinggi batang dan diameter tanaman yang berbeda antara naungan 0%, 55% dan 75% dengan pertumbuhan paling baik pada naungan 55% (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis sidik ragam parameter pertumbuhan dan karbohidrat daun pada perlakuan naungan dan pupuk

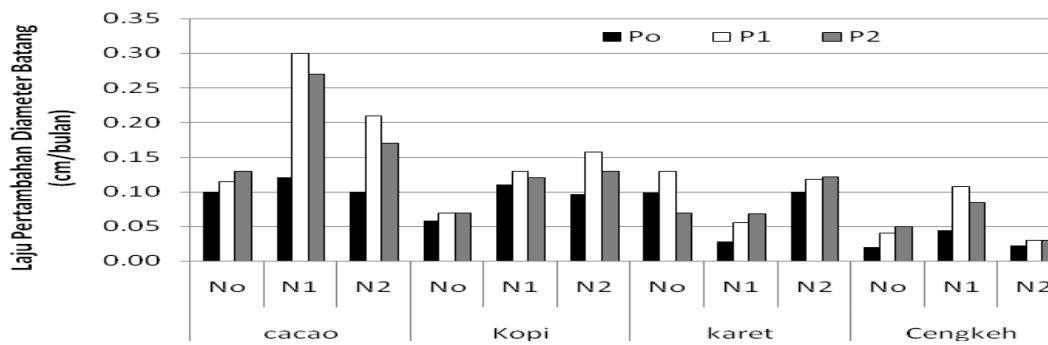
Perlakuan	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Karbohidrat Daun (%)
Jenis Tanaman			
Cacao	92.33b	1.51a	13.29c
Kopi	97.44b	1.21b	16.93b
Karet	104.02a	1.00c	17.47b
Cengkeh	67.82c	0.70d	20.70a
Naungan			
Naungan 0%	70.95c	0.94c	22.49a
Naungan 55%	108.63a	1.29a	16.07b
Naungan 75%	91.63b	1.09b	12.74c
Pupuk			
Kontrol	87.47a	1.09a	16.66b
5 g N	90.67a	1.14a	17.62a
10 g N	93.08a	1.29a	17.02a

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada  $P = 5 \%$ .

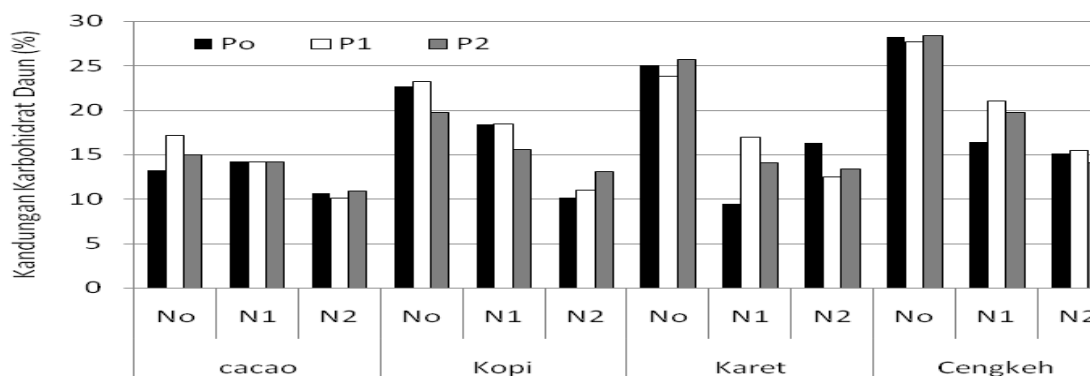
Perlakuan pupuk urea sebesar 5 g dan 10 g per tanaman (dalam media 8 kg tanah) ada kecenderungan memberikan pengaruh pada peningkatan pertumbuhan tanaman (pertambahan tinggi dan diameter batang) sebagaimana yang tertera pada Gambar 1 dan 2, walaupun secara statistik peningkatan ini tidak berbeda nyata (Tabel 3). Parameter tinggi tanaman dan diameter batang tidak berbeda nyata antara perlakuan pupuk. Akan tetapi pada kandungan klorofil dan karbohidrat daun ada kecenderungan lebih tinggi pada tanaman yang diberi pupuk dibandingkan tanaman yang tidak diberi pupuk (Tabel 2 dan 3). Kandungan klorofil paling tinggi mencapai 42.57 SPAD pada perlakuan pupuk N 10 g, diikuti perlakuan pupuk 5 g (42.51 SPAD) dan kontrol (40.12 SPAD). Demikian juga dengan kandungan karbohidrat yang cenderung sedikit lebih tinggi pada perlakuan pupuk (Tabel 3). Pengaruh pupuk N yang tidak signifikan ini mengindikasikan bahwa dosis pupuk yang dicobakan masih terlalu rendah sehingga kurang efektif pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Disamping itu karena percobaan dilakukan di kebun percobaan yang terbuka sehingga pemberian pupuk dapat tercuci oleh air hujan, terlebih lagi hujan dengan intensitas yang tinggi.



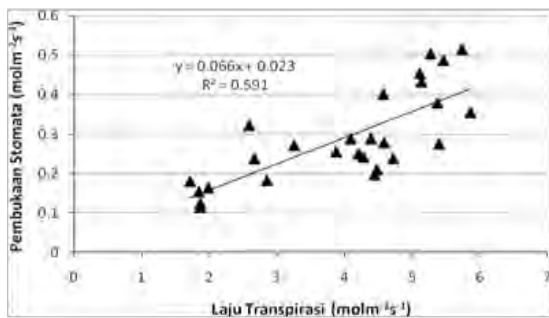
Gambar 1. Laju Penambahan Tinggi Tanaman pada Perlakuan Naungan (N) dan Pupuk (P)



Gambar 2. Laju Penambahan Diameter Batang pada Perlakuan Naungan (N) dan Pupuk (P)



Gambar 3. Kandungan Karbohidrat Daun pada Perlakuan Naungan (N) dan Pupuk (P)



Gambar 4. Korelasi Antara Stomatal conductance dan Transpirasi

Hasil analisa statistik menunjukkan tidak berbeda nyata pada interaksi antara perlakuan naungan dan pemupukan untuk semua variable, kecuali pada klorofil daun.

## PEMBAHASAN

Tanaman Kakao (*Theobroma cacao*), Kopi

(*Coffea arabica*), Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Cengkih (*Syzygium aromaticum*) merupakan salah satu kelompok tanaman C3 yang membutuhkan intensitas cahaya yang berbeda selama masa pertumbuhannya. Oleh karena itu telah dilakukan upaya terhadap tanaman ini agar diperoleh pertumbuhan yang optimal, salah satunya adalah pemberian naungan dengan tujuan untuk mengatur intensitas cahaya sesuai dengan kebutuhan tanaman fase bibit (Nasaruddin 2002; Nasaruddin et al. 2006). Penelitian naungan pada beberapa jenis tanaman sayuran menunjukkan bahwa kebutuhan naungan berbeda pada setiap jenis tanaman. Produktivitas tanaman pada umumnya meningkat pada kondisi cahaya yang sesuai (Ekawati et al. 2010).

Hasil analisis menunjukkan bahwa respon fisiologis tanaman terhadap perlakuan naungan dan pupuk bervariasi. Asimilasi CO<sub>2</sub> secara nyata

berbeda antar jenis tanaman dengan selang nilai paling tinggi  $14.57 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman kakao dan paling rendah  $7.26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada tanaman cengkih. Hasil ini sesuai dengan nilai-nilai asimilasi  $\text{CO}_2$  terhadap jenis-jenis pohon dari penelitian lain yang juga bervariasi antara spesies yang berbeda pada kondisi lingkungan tropis, yakni antara  $3 - 30 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Dilaporkan pula nilai serapan  $\text{CO}_2$  sekitar  $2 - 25 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  untuk pohon-pohon berdaun lebar (Ceulmens & Sauger 1991). Fotosintesis dari *Shorea* dilaporkan sebesar  $7 - 21 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Shorea balangeran*  $21.9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  pada kondisi alam Kalimantan Tengah, *Acacia mangium* sebesar  $24.2 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , *Hopea odorata*, sebesar 6 dan *Ochroma lagopus* sebesar  $27.8 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Chazdon *et al.* 1996; Press *et al.* 1996; Matsumoto *et al.* 2003).

Pengaruh perlakuan naungan berbeda nyata pada asimilasi  $\text{CO}_2$ , transpirasi, *stomatal conductance*, kandungan klorofil dan karbohidrat daun. Asimilasi  $\text{CO}_2$  paling tinggi adalah pada naungan 55% sebesar  $13.07 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , demikian pula dengan transpirasi dan *stomatal conductance* pada naungan 55% lebih tinggi dibandingkan naungan 75%, masing-masing sebesar  $7.56 \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan  $0.73 \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Kandungan karbohidrat daun paling tinggi pada naungan 0% yakni sebesar 22.49% dan paling rendah pada naungan 75% sebesar 12.74%. Pengaruh naungan terhadap pertumbuhan ditunjukkan oleh data pertumbuhan tinggi batang dan diameter tanaman yang berbeda antara naungan 0%, 55% dan 75% dengan pertumbuhan paling baik pada naungan 55%.

Temuan ini sesuai dengan hasil temuan yang dilaporkan bahwa tanaman kakao muda tanpa naungan (K0) memperlihatkan aktivitas fotosintesis terendah yaitu  $12,74 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  hal ini mempengaruhi rendahnya pertumbuhan tanaman kakao muda. Efisiensi fotosintesis yang rendah pada tanaman kakao muda tanpa naungan disebabkan oleh hilangnya sebagian dari  $\text{CO}_2$  yang terhambat dengan meningkatnya intensitas cahaya, hal ini disebut fotorespirasi. Penghambatan ini terjadi pada semua spesies C3, tanaman C3

memiliki laju respirasi yang lebih cepat pada saat terang dan menyebabkan hilangnya seperempat sampai sepertiga  $\text{CO}_2$  yang sedang dihambat oleh fotosintesis, sehingga terjadi penurunan laju fotosintesis (Shao *et al.* 2014; Nasaruddin *et al.* 2006). Menurut Nasaruddin (2002), pada kondisi cahaya penuh nilai photosynthetic active radiation (PAR) pada permukaan daun mencapai  $500 - 1500 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  dan intensitas cahaya efektif untuk fotosintesis optimum tanaman kakao pada intensitas cahaya  $200 - 750 \text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Pada dasarnya kakao adalah tanaman yang suka naungan (*shade loving tree*), laju fotosintesis optimum berlangsung pada intensitas cahaya sekitar 60% (Kustantini 2013).

Semakin tinggi tingkat naungan yang diberikan maka tanaman akan melakukan adaptasi atau penghindaran terhadap cekaman naungan dengan cara meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya tiap unit area fotosintetik. Hanya saja tingkat naungan yang menjadi cekaman ini berbeda pada setiap tanaman. Adaptasi yang dilakukan tanaman adalah dengan meningkatkan jumlah klorofil per unit luas daun dan rasio klorofil b/a (Shao *et al.* 2014; Levitt 1980). Hale & Orcutt (1987) menyatakan bahwa efisiensi penangkapan cahaya tergantung pada jumlah klorofil per unit luas daun. Pembentukan klorofil pada daun yang ternaungi dipengaruhi antara lain oleh cahaya, karbohidrat dalam bentuk gula serta komponen utama pembentuk klorofil yaitu unsur N dan Mg (Shao *et al.* 2014; Dwijoseputro 1980).

Karbohidrat daun paling tinggi pada tanaman tanpa naungan. Sesuai dengan hasil temuan Rey & Stephens (1996) bahwa karbohidrat daun tanaman yang diberi naungan menurun, lebih rendah dibandingkan tanaman tanpa naungan. Tanaman yang berkembang di bawah naungan mempunyai ukuran daun yang lebih tipis dibandingkan dengan daun yang berkembang pada kondisi tanpa naungan. Hal tersebut dikarenakan berkurangnya distribusi fotosintat ke masing-masing sel, sehingga sel penyusun helaian daun mengalami pengurangan ketebalan daun (Sundari *et al.*

2008).

Serapan CO<sub>2</sub> erat kaitannya dengan pembukaan stomata, sementara pembukaan stomata dikontrol oleh cahaya matahari, dimana energi cahaya untuk proses fotosintesis ini dicerminkan oleh *foton flux density* (energy yang diperlukan untuk fotosintesis di permukaan daun : dalam penelitian ini ditunjukkan oleh *Q Leaf*). Semakin tinggi suhu dan cahaya yang diterima permukaan daun maka secara alamiah daun mengadakan perlindungan dengan mengurangi kehilangan air transpirasi melalui mekanisme penutupan stomata sehingga menurunkan nilai konduktansi stomata. Demikian juga korelasi positif ditunjukkan oleh konduktansi stomata dan transpirasi, semakin besar nilai konduktansi stomata, semakin besar pula laju transpirasi dari permukaan daun (Gambar 4). Beberapa hasil penelitian lain membuktikan bahwa korelasi antara pembukaan stomata dan transpirasi lebih besar dibandingkan dengan korelasinya dengan asimilasi CO<sub>2</sub> (Hidayati *et al.* 2012; Hidayati *et al.* 2011). Stomata membuka karena meningkatnya pencahayaan (dalam batas tertentu) dan peningkatan cahaya menaikkan suhu daun sehingga air menguap lebih cepat naiknya suhu membuat udara mampu membawa lebih banyak kelembaban sehingga transpirasi meningkat dan akan mempengaruhi bukaan stomata (Salisbury & Ross 1992). Beberapa temuan melaporkan nilai *stomatal conductance* tanaman tumbuh cepat *S. balangeran* and *A. mangium* masing-masing sebesar 0.49 molm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (Takahashi *et al.* 2005; Takashi *et al.* 2006) dan 1.3 molm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (Matsumoto *et al.* 2003). Menurut Haryanti (2010) pada tanaman *Zephyranthes rosea*, jumlah stomata atas pada kondisi teduh sekitar 30 lebih rendah dibandingkan pada kondisi cahaya sekitar 60 stomata per bidang pandang. Panjang dan lebar porus stomata lebih besar pada kondisi naungan dibandingkan kondisi tanpa naungan dan naungan sedang.

Faktor abiotik seperti cahaya matahari, suhu, konsentrasi CO<sub>2</sub>, *vapour pressure deficit* dan status hara memiliki pengaruh yang besar terhadap asimilasi CO<sub>2</sub>, dan selanjutnya pada

pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Kondisi lingkungan tumbuh yang dapat berakibat pada penurunan fotosintesis atau serapan CO<sub>2</sub> termasuk intensitas cahaya yang kurang, suhu dan ketersediaan hara yang rendah (Catalina *et al.* 2010; Ceulmens & Sauger 1991).

Penerimaan intensitas cahaya matahari yang optimal akan mempengaruhi aktivitas fotosintesis. Menurut Nasaruddin (2002), pada kondisi cahaya penuh nilai Photosynthetic Active Radiation (PAR) pada permukaan daun mencapai 500 – 1500 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> dan intensitas cahaya efektif untuk fotosintesis optimum tanaman kakao adalah pada intensitas cahaya 200 – 750 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Intensitas cahaya yang optimal akan mempengaruhi aktivitas stomata untuk menyerap CO<sub>2</sub>, makin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan daun tanaman, maka absorpsi CO<sub>2</sub> relatif makin tinggi, tetapi pada intensitas cahaya matahari diatas 50% absorpsi CO<sub>2</sub> tanaman kakao mulai konstan (Nasaruddin 2002).

Walaupun secara statistik tidak berbeda nyata interaksi antara perlakuan naungan dan pemupukan, tetapi ada kecenderungan bahwa kondisi lingkungan di bawah naungan 55% dengan pupuk N dengan dosis tertinggi dari yang dicobakan yakni 10g/tanaman memberikan hasil terbaik untuk pertumbuhan. Sesuai dengan hasil temuan lainnya bahwa tanaman kakao pada naungan 55% memiliki rata-rata jumlah daun lebih tinggi dibandingkan dengan naungan 65 dan 75%. Namun tanaman pada naungan 55 dan 65% menghasilkan biomassa tanaman yang tidak berbeda nyata. Hasil temuan lain melaporkan bahwa naungan plastik putih memperlihatkan aktivitas fisiologi khususnya fotosintesis yang lebih tinggi (21,76 mm m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) dibanding perlakuan lainnya. Luas daun/tanaman dan luas helaian daun terlihat perbedaan yang nyata antar perlakuan taraf naungan. Luas daun pada naungan 65% signifikan lebih besar dibanding pada naungan 55% (Nasaruddin *et al.* 2006).



## KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan yang paling baik untuk pertumbuhan dan aktivitas fisiologis tanaman adalah perlakuan naungan 55% dengan pemupukan N. Walaupun pengaruh pupuk tidak signifikan tetapi ada kecenderungan pupuk N meningkatkan laju pertumbuhan. Diduga dosis dan masih terlampau kecil sehingga tidak efektif dampaknya pada performan pertumbuhan tanaman sehingga disarankan untuk ditingkatkan baik dosis maupun frekuensi pemberian agar dapat memberikan pengaruh yang signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashton, MS. 1998. Seedling Ecology of Mixed-Dipterocarp Forest. Dalam: *Review of Dipterocarps, Taxonomy, Ecology and Silviculture*. S Appanah, and JM Thurnbull (Eds), 89-98. CIFOR, Bogor.
- Boomsma, CR, BS. Judith, T. Matthijs & JV. Tony. 2009. Maze morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. *Agonomy*. 101(6): 1426 – 1452.
- Catalina, JB, RHS. Santos, HEP. Martinez, PR. Cecon, & MP. Fardin. 2010. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. *Science Agriculture (Piracicaba, Braz.)*, 67 (6): 639-645,
- Ceulmens, RJ. & B. Sauger. 1991. Photosynthesis. In: *Physiology of Trees*. AS Raghavendra (Ed), 21 - 50. Wiley & Sons Publ. New York 262p.
- Chazdon, RL., RW. Pearcy, DW. Lee, & N. Fetcher. 1996. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. Dalam: *Tropical forest plant ecophysiology*. Mulkey SS, RL Chazdon and AP Smith (Eds). Chapman and Hall, New York. 5 – 55.
- Clegg, KM. 1956. The application of the anthrone reagent to the estimation of starch in cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 7 (1): 40–44
- Dwijoseputro, D. 1980. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT Gramedia. 200 hlm.
- Ekawati, R., AD. Susila & JG. Kartika. 2010. Pengaruh Naungan Tegakan Pohon Terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Beberapa Tanaman Sayuran *Indigenous*. *Jurnal Hortikultur Indonesia*. 1(1): 46-52.
- Hale, MG., & DM .Orcutt. 1987. *The Physiology of Plant Under Stress*. Canada: John Wiley and Sons. 206pp.
- Haryanti, S. 2010. Pengaruh Naungan yang Berbeda terhadap Jumlah Stomata dan Ukuran Porus Stomata Daun *Zephyranthes Rosea* Lindl. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* . 18(1):41-48
- Hidayati, N, T. Juhaeti, & M. Mansur. 2012. Biological Diversity Contribution to Reducing CO<sub>2</sub> In the Atmosphere: CO<sub>2</sub> Absorption of Tree Species In Lowland Forest Ecosystem of Pelabuhan Ratu-West Jawa. *Berita Biologi*. Edisi khusus. 11 (1-a): 113-122
- Hidayati, N., M. Reza, M Mansur, & T. Juhaeti. 2011. Serapan Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Jenis-Jenis Pohon di Taman Buah “Mekar Sari” Bogor, Kaitannya dengan Potensi Mitigasi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Biologi Indonesia*. 7(1): 133-146
- Kustantini, D. 2013. Pengelolaan Tanaman paada Produksi Benih Kakao (*Theobroma cacao* L.). Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan (BBP2TP) Surabaya
- Levitt, J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt, and Other Stresses*. Vol II. New York: Academic Press. 283-303.
- Long, SP. & JE. Hallgren. 1993. Measurement of CO<sub>2</sub> Assimilation by Plants in the Field and the Laboratory. Dalam: *Photosynthesis and Production in a Changing Environment : A Field and Laboratory Manual*. DO Hall, JMO Scurlock, HR Bolhar-Nordenkamp,

- RC Leegood and SP Long (Eds), 129 - 165. Chapman & Hall. 464 p.
- Matsumoto, Y., Y. Maruyama, A Uemura, H Shigenaga, S Okuda, H Harayama, H Kawarasaki, LH Ang, & SK Yap. 2003. Gas Exchange and Turgor Maintenance of Tropical Tree Species in Pasoh Forest Reserve. Dalam: *Ecological of Lowland Rain Forest in Southeast Asia*. T Okuda, N Manokaran, Y Matsumoto, K Niiyama, SC Thomas, PS Ashton (Eds), 241-250. Springer-Verlag, Tokyo.
- Nasaruddin. 2002. Kakao, Budidaya dan Beberapa Aspek Fisiologisnya. Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin. Makassar (belum dipublikasi): Bahan kuliah.
- Nasaruddin, Y., Musa, & MA Kuruseng. 2006. Aktivitas beberapa proses fisiologis tanaman kakao muda di lapangan pada berbagai naungan buatan. *Jurnal Agrisistem*. 2 (1): 26-33
- Press, MC., ND. Brown, MG. Baker & SW Zipperlen. 1996. Photosynthetic Responses to Light in Tropical Rain Forest Tree Seedlings. Dalam: *Ecology of Tropical Forest Tree Seedlings*. MD Swaine (Ed), 41-58. The UNESCO, Paris.
- Rey, JR. & FC. Stephens. 1996. Effects of shading and rhizome isolation on soluble carbohydrate levels in blades and rhizome of the seagrass *Syringodium filiforme*. *Gulf of Mexico Science*. (2). 47-54.
- Salisbury, BF, & CW. Ross, 1992. *Plant Physiology* (Fisiologi Tumbuhan: Terjemahan Diah R. Lukman Sumaryono). Jilid II. Penerbit ITB Bandung, Bandung.
- Shao, Q., H. Wang, H. Guo, A Zhou, & Y. Huang. 2014. Effects of Shade Treatments on Photosynthetic Characteristics, Chloroplast Ultrastructure, and Physiology of *Anoectochilus roxburghii*. *PLoS ONE* 9(2): e85996. doi: 10.1371/journal.pone.0085996
- Sundari, T, Soemartono, Tohari & W Mangoendidjojo. 2008. Anatomi Daun Kacang Hijau Genotipe Toleran dan Sensitif Naungan. *Agronomi*. 36 (3): 221 – 228 (
- Takahashi, K, M. Osaki, M. Shibuya, Y. Tamai, H. Saito, LH. Swido, SJ. Tuah, AR. Susanto, C. Pidjath & P. Erosa. 2005. Growth Phenology and Photosynthetic Traits of tree Species Native to Peat-Swamp Forest. Annual Report: Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystem in Southeast Asia. 68-70.
- Takahashi, K, M. Shibuya, Y Tamai, H. Saito, LH. Swido, SJ. Tuah, AR Susanto & P. Erosa. 2006. Morphological and photosynthetic Characteristics of *Shorea selanica* and *S. balangeran* Sapling Planted at Open and Understory Conditions on Peat Soil in Central Kalimantan. Annual Report: Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystem in Southeast Asia. 62-68.