

Efisiensi Penggunaan Energi Matahari Klon-Klon Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) yang Diusahakan di Bawah Tiga Spesies Tanaman Penaung

Solar Energy Efficiency of Cocoa Clones Cultivated under Three Species of Shade Trees

Oscar Regazzoni^{1*)}, Yogi Sugito¹⁾, Agus Suryanto¹⁾, dan A. Adi Prawoto²⁾

¹⁾Pascasarjana Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, Indonesia

²⁾Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman 90, Jember, Indonesia

^{*)}Corresponding author: oscar_regazzoni17@yahoo.com

Abstrak

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi matahari oleh empat klon kakao yang ditanam di bawah tiga spesies tanaman penaung. Percobaan dilaksanakan mulai bulan September sampai Desember 2013 di Kebun Percobaan Kaliwining yang berada di ketinggian 45 m dpl. memiliki jenis tanah gley humik rendah, tekstur *silty clay loam*, serta tipe iklim D (Schmidt dan Fergusson). Percobaan menggunakan rancangan pola tersarang dengan jenis tanaman penaung sebagai petak utama yaitu jati (*Tectona grandis* L.), krete (*Cassia surattensis* (Burm.) F.), dan lamtoro (*Leucaena leucocephala* L.) serta klon tanaman kakao sebagai anak petak yaitu Sulawesi 1, Sulawesi 2, KKM 22, dan KW 165. Pengamatan nilai efisiensi meliputi intensitas radiasi matahari harian, di atas kanopi, di bawah kanopi, dan bobot kering total tanaman. Hasil percobaan menunjukkan bahwa berdasarkan uji homogenitas metode Bartlett terdapat perbedaan (heterogenitas) kondisi lingkungan pada tiga lokasi naungan. Terdapat interaksi antara naungan dan klon pada semua parameter efisiensi energi matahari yaitu efisiensi intersepsi, efisiensi absorpsi, efisiensi penggunaan energi tertangkap, serta efisiensi konversi energi. Efisiensi penggunaan energi tertangkap mempengaruhi efisiensi konversi energi matahari dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,86. Nilai efisiensi konversi energi matahari yang tinggi dicapai oleh klon KW 165 dan klon Sulawesi 1 yang ditanam di bawah naungan lamtoro yaitu sebesar 3,12% dan 3,36% lebih tinggi 59,8% dibandingkan rerata efisiensi konversi energi matahari semua klon dengan naungan krete,

Kata kunci : efisiensi energi matahari, klon kakao, tanaman penaung, *Theobroma cacao*, *Leucaena leucocephala*, *Cassia surattensis*

Abstract

*This experiment aims to investigate solar energy efficiency of four cocoa clones that cultivated under three different shading species. This observation has been done from September to December 2013 located at Kaliwining Experimental Station in the altitude of 45 m above sea level, soil type is low humic gley, soil texture is silty clay loam, and climate type is D based on Schmidt and Fergusson classification. This experiment used nested design with species of shading plant as main plot which were teak (*Tectona grandis* L.),*

krete (Cassia surattensis (Burm.) F.), lamtoro (Leucaena leucocephala L.) and cocoa clones as the sub plot which were Sulawesi 1, Sulawesi 2, KKM 22, and KW 165. The observation of solar energy efficiency consisted of daily solar radiation intensity, solar radiation intensity above cocoa plant, solar radiation intensity under plant, and also plant total dry weight. The result showed that based on homogeneity test by Bartlett method there was difference (heterogeneity) between shading species. There were some interaction between the kind of shading plant and cocoa clones in parameter of interception efficiency, absorption efficiency, the efficiency of solar energy that caught by plant, and solar energy conversion efficiency. The efficiency of solar energy trapped by plant affected the solar energy conversion efficiency with $R^2 = 0.86$. The highest efficiency of solar energy conversion obtained for KW 165 and Sulawesi 1 clones planted under Leucaena i.e. 3.12% and 3.36% respectively which was 59.84% higher than average of all clones under Cassia suratensis.

Keywords: solar energy efficiency, cocoa clones, shading plant, Theobroma cacao, Leucaena leucocephala, Cassia suratensis

PENDAHULUAN

Salah satu penyebab primer dari produktivitas kakao yang cenderung rendah adalah karena produksi asimilat yang rendah. Tanaman kakao merupakan spesies yang membutuhkan naungan atau sering disebut *shade loving tree* (Sugito, 2009). Meskipun demikian, tanaman kakao tetap membutuhkan intensitas cahaya tertentu untuk pertumbuhan dan perkembangan yang normal. Tanaman kakao muda membutuhkan intensitas cahaya sekitar 25–60% terhadap intensitas cahaya penuh (Abdoellah & Soedarsono, 1996; Sugito, 2009; Prawoto, 2012), sementara intensitas 50–70% memberikan produksi tertinggi untuk kakao dewasa (Prawoto, 2012).

Dari intensitas cahaya 50–70% yang dibutuhkan oleh tanaman kakao, belum terdapat informasi berapa besar yang digunakan dalam proses fotosintesis dan akan menghasilkan biomassa walaupun secara umum hanya sekitar 1–2% yang dapat diubah menjadi karbohidrat hasil fotosintesis (Sugito, 2009). Tanaman penaung yang digunakan dalam budidaya kakao juga akan

menentukan intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam kanopi tanaman, karena arsitektur serta kerapatan kanopi yang berbeda. Hal ini menjadi penting untuk diketahui dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi matahari.

Cahaya matahari adalah faktor iklim yang paling penting dalam pertumbuhan tanaman karena diperlukan dalam proses fotosintesis. Cahaya matahari yang jatuh di permukaan bumi mengalami beberapa proses yaitu diserap oleh kanopi tanaman, diteruskan ke lapisan kanopi tanaman yang lebih bawah, dan yang terakhir dipantulkan kembali ke atmosfer. Tharakan *et al.* (2008) mengatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara intersepsi cahaya matahari dengan pertumbuhan tanaman, baik itu tanaman budidaya, tanaman berkayu, maupun tanaman pohon yang ada di hutan. Hubungan yang kuat ini dinyatakan dalam model efisiensi penggunaan cahaya matahari (*light-use efficiency model*). Setiap individu tanaman memiliki kemampuan dan kebutuhan berbeda dalam menanggapi intensitas cahaya yang datang. Salah satu cara untuk

menentukan kinerja individu tanaman adalah dengan menghitung jumlah intersepsi cahaya oleh tanaman dan menghitung efisiensi intersepsi cahaya yang dapat diubah menjadi bahan kering tanaman (Cadersa & Govinden, 1999). Terminologi yang dapat digunakan untuk menentukan efisiensi energi matahari adalah perhitungan efisiensi intersepsi (E_i), efisiensi absorpsi (E_a), efisiensi penggunaan energi tertangkap (E_{pi}), dan efisiensi konversi energi (EKE) (Sugito, 2009).

Di dalam konsep efisiensi penggunaan energi matahari terdapat dua konsep penting yaitu fraksi *photosynthetic active radiation* (PAR) atau *interception photosynthetic active radiation* (IPAR) (Tharakan *et al.*, 2008) dan efisiensi saat intersepsi radiasi datang tersebut dapat diubah menjadi biomassa tanaman atau yang disebut dengan *light use efficiency* (LUE) (Tharakan *et al.*, 2008) atau *radiation use efficiency* (Earl & Davis, 2003). Di negara yang berada di wilayah iklim tropis seperti Indonesia, PAR yang datang mencapai sekitar $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Baligar *et al.*, 2010). Pada tanaman *understorey* seperti kakao, intersepsi cahaya yang diterima oleh kanopi akan berkurang akibat adanya kanopi naungan dari tanaman yang berada di atasnya. Dari $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR yang datang, hanya 4 – 10% yang dapat diterima oleh kanopi tanaman (Miyaji *et al.*, 1997; Liang *et al.*, 2001).

Di dalam prakteknya, banyak spesies yang dapat digunakan untuk penaung kakao. Spesies yang paling optimum adalah lamtoro (*Leucaena* sp.) karena leguminosae, ukuran daun kecil, tahan dipangkas, bukan inang hama dan penyakit utama kakao, tahan angin kencang dan tidak alelopati terhadap kakao. Krete (*Cassia surathensis*) dapat tumbuh dengan baik di tempat yang terbuka dan terkena sinar matahari langsung, baik di dataran rendah ataupun dataran menengah yaitu pada ketinggian 1–1100 m dpl.

Tanaman berdaun majemuk ini dapat mencapai ketinggian 8–10 m (Heyne, 1987). Arsitektur kanopi krete sedikit lebih rapat daripada lamtoro sehingga dari 100% cahaya yang datang, hanya 15% yang dapat diteruskan. Jati (*Tectona grandis*) dapat tumbuh baik pada deviasi lingkungan yang lebar, mulai dari dataran rendah sampai ketinggian 800 m dpl. dan dari curah hujan kurang dari 900 mm/tahun sampai 3800 mm/tahun, dari temperatur minimum 14°C sampai maksimum 41°C (Salleh, 2001). Jati menghendaki areal yang terbuka namun masih toleran pada penyinaran 75–95% cahaya penuh. Sifat ini memiliki arti penting dalam program penanaman jati di areal perkebunan yang sudah ada tanamannya. Hasil penelitian siklus hara hutan jati umur 20 tahun di India menunjukkan bahwa 64–76% unsur hara dalam biomassa tanaman jati dikembalikan lagi ke dalam tanah (Salleh, 2001). Hasil penelitian Prawoto (2012) menunjukkan karbon tersimpan polatanam kakao-jati sebesar 400% terhadap kakao-lamtoro dan guguran daun jati selama musim kemarau berpotensi mengembalikan hara setara dengan total urea, SP-36, KCl, Dolomit dan Kieserit sebanyak 652 g per pohon/tahun. Atas dasar peluang kompetisi hara yang rendah tersebut serta hasil kayu yang bernilai tinggi, maka tanaman jati memiliki prospek baik untuk diusahakan di dalam kebun kakao sebagai tanaman pengkonservasi lingkungan.

Dari uraian di atas maka perlu diketahui efisiensi penggunaan energi matahari oleh klon kakao yang ditanam di bawah naungan yang berbeda. Dengan mengetahui efisiensi energi matahari tersebut maka dapat diketahui berapa persen cahaya matahari yang diubah menjadi bahan kering tanaman, sehingga ke depannya dapat dicari usaha untuk meningkatkan efisiensinya.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan mulai bulan September sampai Desember 2013 bertempat di Kebun Percobaan (KP) Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia (Puslitkoka) Jember, 45 m dpl., jenis tanah gley humik rendah, tekstur tanah *silty clay loam*, serta tipe iklim D (klasifikasi Schmidt & Fergusson).

Percobaan menggunakan rancangan pola tersarang (*nested design*) dengan jenis tanaman penayang sebagai petak utama yaitu jati (*Tectona grandis* L.), krete (*Cassia surattensis* (Burm.) F.), dan lamtoro (*Leucaena leucocephala* L.) serta klon kakao sebagai anak petak yaitu Sulawesi 1, Sulawesi 2, KKM 22, dan KW 165. Pengamatan intensitas radiasi matahari harian diambil dari stasiun klimatologi KP. Kaliwining sedangkan pengamatan intensitas radiasi matahari di atas dan di bawah kanopi diamati setiap hari antara pukul 12.00–13.00 menggunakan *luxmeter*. Perhitungan uji homogenitas menggunakan metode Bartlett dengan prinsip kecocokan uji *Chi-Square* (Gomez & Gomez, 2010) sebagai berikut:

$$\chi^2 = \frac{(2,3026)(f)(k \log s_p^2 - \sum_{i=1}^k \log s_i^2)}{1 + \frac{k+1}{2kf}}$$

Keterangan:

- k = banyaknya ragam yang diuji
 f = derajat bebas dari k-buah ragam yang diuji
 s_i^2 = nilai ragam masing-masing naungan
 s_p^2 = nilai ragam gabungan $s_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k s_i^2}{k}$

Perhitungan terminologi efisiensi energi matahari meliputi efisiensi intersepsi (Ei), efisiensi absorpsi (Ea), efisiensi penggunaan energi tertangkap (Epi) (Sugito, 2009), serta efisiensi konversi energi matahari (EKE) (Sinclair & Muchow, 1999) sebagai berikut:

$$E_i = \frac{I_j - I_i}{I_j} \times 100\%$$

$$E_a = \frac{I_j - I_r}{I_j} \times 100\%$$

$$E_{pi} = \frac{\Delta w \times K}{I_j \times E_i} \times 100\%$$

$$E_{KE} = \frac{\Delta w \times K}{I \times t \times PAR} \times 100\%$$

Keterangan:

- I_i : energi matahari yang lolos (di bawah kanopi)
 I_j : energi matahari yang jatuh (di atas kanopi)
 I_r : energi matahari yang dipantulkan (direfleksikan) kembali ke atmosfer ($I_j - I_i$)
 Δw : selisih bobot kering tanaman (g) per m² pada satu periode waktu (t)
 K : koefisien panas pembakaran (4.000 kal g⁻¹)
 I : intensitas radiasi matahari harian (kal m⁻² hari⁻¹)
 t : satu periode waktu tertentu
 PAR : *photosynthetic active radiation* (0,45)

Data yang didapat dianalisis menggunakan analisis ragam, apabila terdapat pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5%. Analisis regresi juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antarparameter pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ragam menunjukkan terjadi interaksi antara naungan dan klon yang digunakan terhadap parameter efisiensi konversi. Dari Tabel 1 terlihat efisiensi konversi semua klon yang ditanam di bawah naungan lamtoro tidak berbeda nyata, namun perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Efisiensi konversi merupakan kemampuan tanaman mengubah cahaya matahari yang datang menjadi biomassa tanaman, hal ini terkait dengan cahaya yang dapat ditangkap dan yang dapat diserap. Oleh sebab itulah maka terdapat terminologi yang tidak dapat dipisahkan mengenai keterkaitan efisiensi intersepsi,

efisiensi absorpsi, dan efisiensi penggunaan energi terserap. Ketiga hal tersebut yang akan menjelaskan berapa banyak cahaya yang hilang tidak dapat digunakan tanaman dalam proses fotosintesis.

Hasil analisis ragam menunjukkan terjadi interaksi antara klon dan naungan pada parameter efisiensi intersepsi, efisiensi absorpsi, dan efisiensi penggunaan energi terserap. Pada Tabel 2 terlihat efisiensi intersepsi semua klon pada naungan jati dan krete serta klon Sulawesi 1 dan KKM 22 pada naungan lamtoro tidak berbeda nyata, namun perlakuan tersebut berbeda dengan perlakuan yang lain.

Sebagai akibat dari efisiensi intersepsi yang rendah, pada Tabel 3 terlihat bahwa

klon Sulawesi 2 dan KW 165 yang ditanam di bawah naungan lamtoro memiliki efisiensi absorpsi yang tinggi dan tidak berbeda nyata, namun kedua perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan yang lain.

Dari Tabel 4 terlihat efisiensi penggunaan energi terserap klon Sulawesi 1 dan KKM 22 yang ditanam di bawah lamtoro serta klon Sulawesi 2 pada naungan jati tidak berbeda nyata, namun ketiga perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan yang lain.

Cahaya matahari yang jatuh ke permukaan bumi jika dilihat dari penggunaannya dalam budidaya tanaman terdapat beberapa proses. Cahaya tersebut akan sampai di permukaan daun (ditangkap), kemudian diserap (diabsorpsi), selanjutnya

Tabel 1. Pengaruh jenis tanaman penayang dan klon kakao terhadap efisiensi konversi energi matahari

Table 1. Effect of shade tree species and cocoa clones on the conversion efficiency of illumination

	Efisiensi konversi (<i>Conversion efficiency</i>), %					
	Jati (<i>Tectona grandis</i>)		Krete (<i>Cassia sp.</i>)		Lamtoro (<i>Leucaena</i>)	
	Intensitas 487,38 W m ⁻²		Intensitas 406,15 W m ⁻²		Intensitas 324,92 W m ⁻²	
	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation
Sulawesi 1	0.93	1.19 ab	1.22	1.31 bc	3.36	1.96 f
Sulawesi 2	2.28	1.67 d	0.72	1.10 a	2.72	1.79 de
KKM 22	1.43	1.39 c	0.84	1.15 a	2.67	1.78 de
KW 165	1.31	1.35 c	1.34	1.36 c	3.12	1.90 ef
BNT (<i>LSD</i>) 5%	0.14					

Keterangan (*Notes*): Data yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil Uji BNT 5%; data transformasi $\sqrt{x+0.5}$ (*Data followed by the same letter was not significantly different at 5% according to LSD; Transformation*) $\sqrt{x+0.5}$.

Tabel 2. Pengaruh jenis tanaman penayang dan klon kakao terhadap efisiensi intersepsi cahaya matahari

Table 2. Effect of shade tree species and cocoa clones on the conversion efficiency of light interception

	Efisiensi intersepsi (<i>Efficiency of interception</i>), %					
	Jati (<i>Tectona grandis</i>)		Krete (<i>Cassia sp.</i>)		Lamtoro (<i>Leucaena sp.</i>)	
	Intensitas 487,38 W m ⁻²		Intensitas 406,15 W m ⁻²		Intensitas 324,92 W m ⁻²	
	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation
Sulawesi 1	87.86	9.40 b	88.65	9.44 b	86.09	9.31 b
Sulawesi 2	88.65	9.44 b	85.52	9.27 b	76.38	8.77 a
KKM 22	86.39	9.32 b	87.31	9.37 b	86.03	9.30 b
KW 165	88.08	9.41 b	85.58	9.28 b	78.61	8.89 a
BNT (<i>LSD</i>) 5%	0.20					

Keterangan (*Notes*): Data yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil Uji BNT 5%; data transformasi $\sqrt{x+0.5}$ (*Data followed by the same letter was not significantly different at 5% according to LSD; Transformation*) $\sqrt{x+0.5}$.

cahaya tersebut akan digunakan oleh tanaman, yang terakhir apabila penggunaan cahaya untuk proses fotosintesis maka terdapat bagian cahaya yang akan diubah menjadi bahan kering tanaman (biomassa).

Berdasarkan Gambar 1 dapat terlihat bahwa cahaya yang dapat diintersepsi akan menurun sejalan dengan kenaikan persentase naungan, mengikuti persamaan linear $y = -0,0164X + 10,087$ dengan $R^2 = 0,425$. Nilai efisiensi intersepsi pada naungan lamtoro lebih rendah dibandingkan penaung jati dan krete karena nilai efisiensi absorpsi pada naungan lamtoro lebih tinggi daripada yang lain. Efisiensi absorpsi mengikuti persamaan linear $y = 0,0356x + 2,0695$ dengan $R^2 = 0,423$. Hal ini sangat terlihat pada klon Sulawesi 2 dan klon KW 165 yang ditanam di bawah naungan lamtoro (Tabel 2 dan 3).

Penjelasan ini berlanjut pada nilai efisiensi penggunaan energi terserap, semua klon yang ditanam di bawah naungan lamtoro menunjukkan tingkat efisiensi paling tinggi. Hal ini dapat menjelaskan bahwa dari 11,4–23,6% cahaya yang dapat diserap oleh semua klon, terdapat 2,93–14,01% yang dapat digunakan oleh tanaman untuk sintesis bahan kering biomassa. Perbedaan nilai efisiensi energi matahari terjadi akibat adanya perbedaan distribusi cahaya karena naungan. Perbedaan distribusi cahaya ini disebabkan oleh adanya perbedaan arsitektur intrinsik tanaman penaung yang digunakan dan jarak tanam (Willaume *et al.*, 2004) serta volume kanopi tanaman tersebut (Mierowska *et al.*, 2002).

Pada kondisi tanaman yang ternaungi seperti pada tanaman multistrata di hutan, susunan kanopi penaung dan kanopi tanaman bawah naungan akan menentukan distribusi cahaya yang terjadi. Cahaya yang jatuh di permukaan bumi akan banyak ditahan oleh

tanaman penaung dan hanya sekitar 1–2% dari PAR yang akan lolos ke tanaman yang berada di bawah (Alvarez-Clare & Avalos, 2007). PAR yang lolos serta dapat ditangkap oleh kanopi tanaman inilah yang mempunyai hubungan dengan produksi primer tanaman yaitu biomassa (Rosati & Yong, 2003). Metode pendekatan untuk mengetahui akumulasi bahan kering adalah dengan menghitung jumlah cahaya yang diintersepsi oleh tanaman serta efisiensi cahaya yang dapat diubah menjadi bahan kering (Cadersa & Govinden, 1999).

Berdasarkan hasil percobaan tersebut didapatkan hasil bahwa terdapat interaksi di semua parameter efisiensi cahaya yaitu efisiensi intersepsi, efisiensi absorpsi, efisiensi penggunaan energi terserap, serta efisiensi konversi. Interaksi yang didapat adalah berdasarkan analisis ragam, sedangkan berdasarkan hasil uji homogenitas terhadap parameter tersebut didapatkan hasil yang heterogen. Heterogenitas yang terjadi karena adanya perbedaan tanaman penaung. Perbedaan jenis tanaman penaung akan memberikan perbedaan tidak hanya di atas tanah namun juga di bawah tanah. Perbedaan yang terjadi di atas tanah mengarah kepada perbedaan iklim mikro akibat dari cahaya yang dapat diteruskan. Cahaya yang dapat diteruskan akan berbeda karena terdapat keragaman struktur kanopi yang akan mempengaruhi distribusi cahaya (Buler & Mika, 2009).

Dari Gambar 2 dapat terlihat bahwa hubungan antara Epi dan EKE adalah hubungan yang linear. Energi yang ditangkap oleh kanopi tanaman akan mempengaruhi konversi energi tersebut dengan koefisien determinasi 0,699. Semakin tinggi energi yang dapat diserap maka akan semakin besar pula energi yang dapat dikonversi.

Tabel 3. Pengaruh jenis tanaman penaung dan klon kakao terhadap efisiensi absorpsi cahaya matahari

Table 3. Effect of shade tree species and cocoa clones on the conversion efficiency of light absorption

	Efisiensi absorpsi (Average of absorption efficiency), %					
	Jati (<i>Tectona grandis</i>)		Krete (<i>C. surattensis</i>)		Lamtoro (<i>Leucaena</i>)	
	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation
Sulawesi 1	12.14	3.55 a	11.35	3.44 a	13.91	3.79 a
Sulawesi 2	11.35	3.44 a	14.48	3.87 a	23.62	4.91 b
KKM 22	13.61	3.75 a	12.69	3.63 a	13.97	3.74 a
KW 165	11.92	3.52 a	14.41	3.86 a	21.39	4.67 b
BNT 5%			0,47			

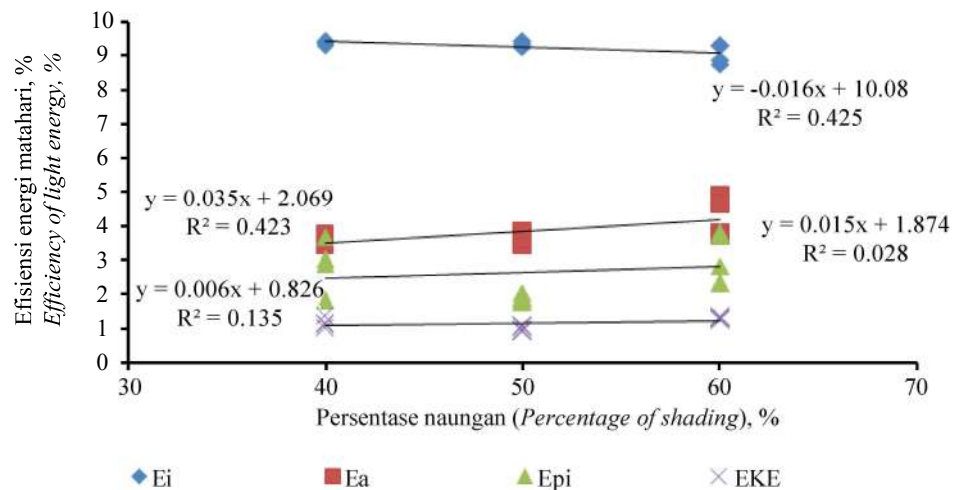
Keterangan (Notes): Data yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil Uji BNT 5%; data transformasi $\sqrt{x+0.5}$ (Data followed by the same letter was not significantly different at 5% according to LSD. Transformation) $\sqrt{x+0.5}$.

Tabel 4. Pengaruh jenis tanaman penaung dan klon kakao terhadap persentase penggunaan energi terserap

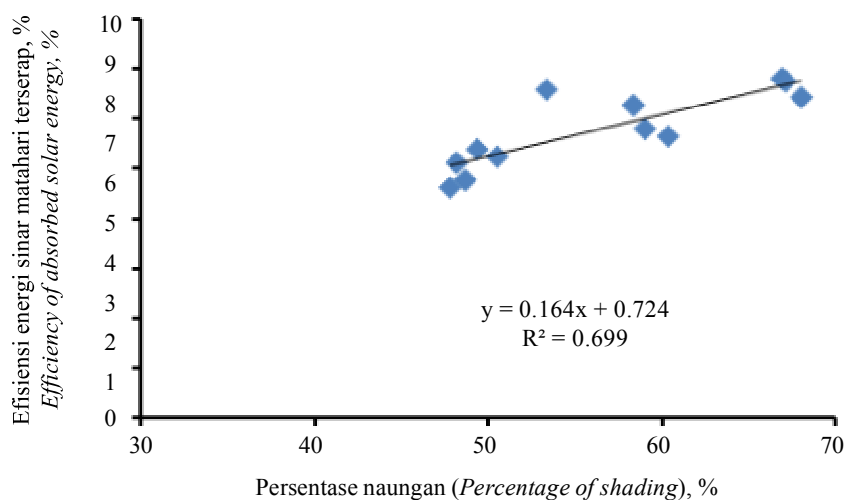
Table 4. Effect of shade tree species and cocoa clone on the percentage of light used

	Efisiensi absorpsi (Average of absorption efficiency), %					
	Jati (<i>Tectona grandis</i>)		Krete (<i>C. surattensis</i>)		Lamtoro (<i>Leucaena</i>)	
	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation	%	Transformasi Transformation
Sulawesi 1	2.93	1.82 a	3.90	2.05 a	13.57	3.71 d
Sulawesi 2	13.20	3.69 d	2.79	1.78 a	7.56	2.84 bc
KKM 22	8.03	2.90 bc	3.12	1.87 a	14.01	3.80 d
KW 165	8.86	3.03 c	3.34	1.93 a	5.28	2.34 ab
BNT 5%			0,62			

Keterangan (Notes): Data yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan hasil Uji BNT 5%; data transformasi $\sqrt{x+0.5}$ (Data followed by the same letter was not significantly different at 5% according to LSD. Transformation) $\sqrt{x+0.5}$.



Gambar 1. Hubungan antara tingkat penaungan dengan efisiensi penyerapan energi matahari
Figure 1. Relationship between percentage of shading and efficiency of absorbed light energy



Gambar 2. Hubungan antara efisiensi energi sinar matahari terserap dengan persentase naungan
 Figure 2. Relationship between efficiency absorbed solar energy and percentage of shading

KESIMPULAN

Penggunaan jenis tanaman penayang serta klon tanaman kakao yang berbeda menyebabkan perbedaan pada nilai efisiensi energi matahari. Nilai efisiensi konversi energi matahari yang tinggi dicapai oleh klon KW 165 dan klon Sulawesi 1 yang ditanam di bawah naungan lamtoro yaitu sebesar 3,12% dan 3,36% lebih tinggi 59,84% dibandingkan rerata efisiensi konversi energi matahari semua klon pada naungan krete.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Direktur Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia melalui dana penelitian Pusat Unggulan IPTEK (PUI) Kakao dari Kementerian Riset dan Teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah, S. & Soedarsono (1996). Penaung dan pemangkasan kakao: Suatu tinjauan dari aspek iklim mikro dan kesuburan tanah. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao* 12, 153–160.
- Alvarez-Clare, S. & G. Avalos (2007). Light interception efficiency of the understory palm *calyptrogyne ghiesbreghtiana* under deep shade condition. *Journal Ecotropica*, 13, 57–65.
- Buler, Z.; A. Mika (2009). The influence of canopy architecture on light interception and distribution in ‘Sampion’ apple trees. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 17, 45–52.
- Cadersa, Y. & N. Govinden (1999). *Relationship Between Canopy Cover and Light Interception in Potato in a Tropical Climate*. Food and Agricultural Research Council. Mauritius.

- Earl, H.J. & R.F. Davis (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, 688–692.
- Gomez, K.A. & A.A.Gomez (2010). *Prosedur Statistik Untuk Penelitian Pertanian*. UI Press, Jakarta.
- Heyne, K. (1987). *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Badan Litbang Kehutanan, Jakarta.
- Liang, N.; Y. Tang & T. Okuda (2001). Is elevation of carbon dioxide concentration beneficial to seedling photosynthesis in the understorey of tropical rain forest?. *Tree Physiology*, 21, 1047–1055.
- Mierowska, A.; N.Keutgen; M.Huysamer & V. Smith (2002). Photosynthetic acclimatitaion of apple spur leaves to summer pruning. *Holticulture Science*, 92, 9–27.
- Miyaji, K.I.; W.S. Da Silva & P.T. Dalvim (1997). Longevity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to position within the canopy and time of emergence. *New Phytologist*, 135, 445–454.
- Prawoto, A.A. (2012). Impact of teak (*Tectona grandis* Linn.) thinning out and peacock-plume [*Paraserianthes falcataria* L. (I. Nielsen)] harvesting on mineral cycle, pod rot incidence, changing of cocoa yield, and land productivity in Indonesia. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 2, 438–448.
- Rosati, A. & T.M. De Jong (2003). Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaf. *Annals of Botany*, 91, 869–877.
- Salleh, H. (2001). *Teak in Sabah. A Sustainable Agroforestry*. The Harris Salleh Experience, 75 p.
- Sinclair, T.R. & R.C. Muchow (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, 215–265.
- Sugito, Y. (2009). *Ekologi Tanaman*. UB Press, Malang.
- Tharakan, P.J.; T.A.Volk; C.A.Nowak & G.J. Ofezu (2008). Assesment of canopy structure, light interception, and light-use efficiency of first year regrowth of shrub willow (*Salix* sp.). *Bioenergy Research*, 1, 229–238.
- Willaume, M.; P-E. Lauri & H.Sinoquet (2004). Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation. *Tree Journal*, 18, 705–71.

0