

Karbon Tersimpan pada Berbagai Umur dan Sistem Pertanaman Kakao: Pendekatan Allometrik

Carbon Stock in Different Ages and Plantation System of Cocoa: Allometric Approach

F. Yuliasmara^{*1)}, Aris Wibawa¹⁾, dan A. Adi Prawoto¹⁾

Ringkasan

Pada tahun 2008, pertanaman kakao di Indonesia mencapai 1,5 juta hektar sehingga memiliki posisi strategis dalam penyerapan karbon untuk mengurangi laju pemanasan global. Metode pengukuran karbon tersimpan khusus untuk tanaman kakao sampai saat ini belum diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karbon tersimpan pada tanaman kakao yang berumur 1–30 tahun dan mengetahui karbon tersimpan pada berbagai sistem pertanaman kakao dengan menggunakan persamaan allometrik yang dimodifikasi. Biomassa tanaman dihitung dengan menggunakan persamaan model regresi pendugaan biomassa tanaman, tinggi tanaman, diameter batang, dan kombinasi keduanya. Pengamatan karbon tersimpan pada berbagai umur dan pola tanam kakao dilakukan dengan rancangan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumus allometrik terbaik untuk menunjukkan biomassa tanaman kakao yaitu model $Y = aD^b$, Y biomassa tanaman, D diameter tanaman pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah, a konstanta 0,1208 dan b konstanta 1,98. Karbon tersimpan pada tubuh tanaman semakin bertambah seiring pertambahan umur mengikuti model $Y = -0,0518X^2 + 2,8976X - 4,524$. Sistem agroforestri meningkatkan karbon tersimpan pada pertanaman kakao. Pada umur tanaman tahun 7 tahun, pola tanam kakao-sengon (*Paraserianthes falcataria*) menghasilkan simpanan karbon paling besar (154 ton/ha).

Summary

Indonesia has 1.5 million hectare of cocoa plantation in 2008. which has strategic position in carbon dioxide absorption to decrease global warming. Biomass approach method in plants carbon stock estimation specific for cocoa is still not available. The aim of this research is to determine carbon stock in 1–30 years ages of cocoa plants and to measure carbon stock in various cocoa planting systems using specific allometric formula of carbon stock estimation. Regression model on plant biomass estimation was estimated based on height, diameter, and their combination. Carbon stock estimation in different ages and plan-

Diterima (Received) : 3 Juni (June) 2009.

1) Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman No. 90, Jember, Indonesia.

*) Alamat penulis (Corresponding Author) : yuliasmara_iccri@yahoo.com

tation system of cocoa was conducted by randomized completely block design with 3 replications. The result showed that model $Y:\acute{a}D^{\acute{a}}$ as the best allometric formula, where Y is plant biomass, D is diameter at the breast hight, β is a constant with a value of 0.1208 and \acute{a} was a constant of 1.98. Increasing of carbon stock in cocoa plantations was proportional to the ages of the plants according to the polinomial equation $Y=0.0518X^2+2.8976X-4.524$. Agroforestry system increased carbon stock in cocoa plantation. Cocoa-Paraserianthes falcataria plantation system produce highest of carbon stock in 7 years.

Key words : Carbon stock, allometric, cocoa, ages of plant, planting system.

PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan isu penting di awal abad ke 21 yang penyebab utamanya adalah peningkatan kadar CO₂ di atmosfer sebagai akibat pembakaran bahan bakar fosil. Menurut Watson *et al.* (2000), selama 150 tahun terakhir telah terjadi peningkatan konsentrasi CO₂ sebesar \pm 28% sehingga suhu bumi meningkat 0,5 °C dibandingkan zaman pra-industri.

Upaya untuk mempertahankan cadangan karbon yang telah ada yaitu dengan konservasi hutan dan penghutanan melalui penanaman tanaman berkayu dan tanaman cepat tumbuh, merupakan usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju pemanasan global (Hairiah & Rahayu, 2007). Hutan primer mempunyai cadangan karbon terbesar di daratan. Menurut Watson *et al.* (2000), cadangan karbon pada beberapa penggunaan lahan sangat bervariasi yakni hutan tropis 212 ton/ha, hutan sub-tropis 59 ton/ha, tundra 6 ton/ha, rawa 15 ton/ha, lahan pertanian semusim 3 ton/ha. Cadangan karbon hutan alami di Jambi sebesar 500 ton/ha. namun

alih guna hutan menjadi lahan ubi kayu mengakibatkan penurunan cadangan C sebesar 72% (Hairiah & Rahayu, 2007). Cadangan karbon pada hutan alami di Sumberjaya Lampung Barat sebesar 262 ton/ha dan turun menjadi 82 dan 52 ton/ha bila hutan dikonversi menjadi kebun kopi multistrata dan kopi monokultur (van Noordwijk *et al.*, 2002).

Kakao sebagai salah satu komoditas perkebunan yang dikembangkan secara luas di Indonesia memiliki posisi strategis dalam usaha peningkatan penyerapan karbon untuk mengurangi laju pemanasan global. Luas lahan kakao di Indonesia pada tahun 2008 mencapai 1.563.423 ha dengan total produksi 796.982 ton (Ditjenbun, 2008). Proses penimbunan C dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses *skuestrasi* (Hairiah & Rahayu, 2007). Oleh karena itu dengan mengukur jumlah karbon yang tersimpan dalam tanaman yang masih hidup pada suatu lahan dapat diketahui banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati dapat menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran. Jumlah C

tersimpan antarlahan berbeda-beda tergantung pada keragaman dan kerapatan tumbuhan serta jenis tanaman dan cara pengelolaannya (Hairiah *et al.*, 2001).

Pada kondisi optimum, laju fotosintesis tanaman kakao mencapai 7,5 mg CO₂ per dm² luas daun (Wessel, 1985) atau ekui-valen dengan 60 mg per dm² per hari dengan asumsi fotosintesis berlangsung dari pukul 08.00–16.00 (Abdoellah, 2008). Tanaman kakao memiliki kemampuan untuk menyerap CO₂ sebesar 80.000 kg/ha/tahun dengan melepaskan CO₂ sebesar 63.000 kg/ha/tahun sehingga serapan bersih tiap tahun mencapai 73.000 kg/ha/tahun untuk diubah menjadi karbohidrat (Abdoellah, 2008). Dengan luas lahan kakao di Indonesia yang mencapai 1.563.423 ha akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan karbon di udara.

Pengukuran biomasa pada tanaman yang paling ideal adalah dengan menggunakan metode destruktif yaitu dengan menimbang berat kering seluruh tanaman. Namun, untuk pengukuran tanaman produktif dan tahunan serta berukuran besar hal tersebut tidak mungkin dilakukan sehingga perlu dilakukan pendekatan allometrik. Pengukuran biomassa tanaman dengan menggunakan persamaan allometrik merupakan metode yang sedang dikembangkan untuk melakukan estimasi karbon tersimpan pada tubuh tanaman. Biomassa tanaman secara geometrik memiliki hubungan yang bersifat sejajar dengan diameter tanaman, berat jenis kayu serta tinggi tanaman (Chave *et al.*, 2005). Prinsip dasar pendekatan allometrik adalah taju tanaman diasumsikan sebagai tabung sehingga

perhitungan volume tanaman berdasarkan rumus volume taju tanaman. Pengukuran biomassa tanaman dilaporkan dapat didekati berdasarkan pada tinggi tanaman (Schumacher & Hall *cit.* Chave *et al.*, 2005), dan diameter batang (Ketterings *et al.*, 2001) (McMahon & Kromauer, 1976).

Kakao merupakan tanaman perkebunan yang memerlukan naungan untuk pertumbuhan yang optimal sehingga dikelola dengan sistem agroforestri. Menurut FAO *cit.* Padmowidjoto (2004), agroforestri merupakan suatu sistem penggunaan lahan yang tepat untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Di samping memiliki kontribusi produksi nyata dan beragam, agroforestri juga berfungsi konservasi terhadap lingkungan dan keadaan sosial sehingga menjamin ekonomi yang lebih luas dan keamanan pangan lebih tinggi. Dengan demikian, perkebunan kakao mempunyai potensi berperan ganda yaitu sebagai penghasil komoditas yang bernilai ekonomi dan sebagai pelestari lingkungan.

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui rumus allometrik spesifik untuk pengukuran biomassa tanaman kakao. Rumus allometrik ini diharapkan dapat digunakan untuk pengukuran karbon tersimpan pada tanaman kakao sehingga pengamatan dapat lebih praktis, efisien, cepat dengan akurasi nilai estimasi yang mendekati kebenaran. Penelitian juga bertujuan untuk mengetahui karbon tersimpan pada berbagai umur dan pola tanam perkebunan kakao.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia dan perkebunan kakao rakyat di Kecamatan Gandusari, Trenggalek. Kebun kakao rakyat tersebut berada di ketinggian 104 m dpl. dengan topografi datar, tipe iklim D menurut klasifikasi Schmidt & Ferguson. Kebun Percobaan Kaliwining terletak di ketinggian 45 m dpl. dengan topografi datar, jeluk mempan lebih dari 100 cm, tekstur tanah atasan geluh lempungan, tanah bawahan lempung jenis tanah glei humik rendah, latosol dan regosol. Suhu maksimum rerata 33 °C, suhu minimum 21,6 °C, intensitas penyinaran matahari 70%, kelembaban relatif 87%, dan evaporasi 3,75 mm per hari. Tipe curah hujan D menurut klasifikasi Schmidt & Ferguson, rerata curah hujan rata-rata 1.957 mm/tahun. Rerata bulan kering 4,3 bulan/tahun dan bulan basah 6,5 bulan/tahun.

Metode estimasi volume tanaman kakao

Estimasi dilakukan dengan metode destruktif dengan 8 tanaman yang digunakan sebagai sampel. Tujuan kegiatan adalah untuk mengetahui metode pengukuran yang paling mendekati volume tanaman sesungguhnya. Volume tanaman dihitung dengan asumsi batang tanaman sebagai tabung sehingga rumus yang digunakan:

$$\text{Volume tabung} = \text{Volume tanaman} \\ (\delta r^2 H) \text{ cm}^3$$

Keterangan :

r (jejari tanaman, cm)
H (tinggi tanaman, cm)

Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah sampai dengan tajuk tertinggi, sedangkan diameter tanaman sangat tergantung pada ketinggian/letak pengukuran.

Kegiatan ini dilakukan untuk menentukan letak pengukuran yang berkorelasi positif terhadap volume tanaman. Dua metode pengukuran volume tanaman di-bedakan berdasarkan perbedaan ketinggian pengukuran diameter tanaman, yaitu metode I pengukuran diameter tanaman pada setinggi dada (*diameter at breast height* (DBH) yaitu pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah) dan metode II pengukuran diameter pada pokok batang (*Basal Area*, BA) pada ketinggian 30 cm di atas permukaan tanah.

Volume tanaman sesungguhnya diperoleh dengan metode air tumpahan. Metode volume air tumpahan digunakan sebagai kontrol dari kedua metode yang diujikan. Bagian tanaman yang telah dipotong-potong dimasukkan ke dalam bak penuh air. Volume air yang tumpah dengan volume bagian tanaman yang dimasukkan ke dalam bak.

Penyusunan rumus allometrik biomassa tanaman kakao

Biomassa tanaman dihitung dengan rumus dasar:

$$\text{Biomassa: } \bar{n} \cdot \delta r^2 H \text{ (g)}$$

Keterangan :

δ : berat jenis kayu,
r : jejari tanaman pada ketinggian 130 cm, dan
H : tinggi tanaman sampai tajuk tertinggi.

Nilai r dan H merupakan variabel pengamatan sedangkan nilai ρ (massa jenis

kayu) merupakan konstanta yang besarnya tergantung pada jenis tanaman yang diukur. Menurut Yuliasmara & Wibawa (2007), massa jenis kayu kakao yaitu $0,37 \text{ g/cm}^3$.

Terdapat tiga model rumus pengukuran biomassa tanaman bagian atas tanah (*above ground biomass*, AGB) yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- a). Model regresi AGB I $Y = \alpha + D^2 H \rho$ (Scumacher & Hall *cit.* Chave *et al.*, 2005), dengan D diameter tanaman (cm), H tinggi tanaman (cm), ρ massa jenis kayu ($0,37 \text{ g cm}^3$) dan konstanta.
- b). Model regresi AGB II $Y = c \rho D^{2+\alpha}$ (McMahon & Kromauer, 1976), dengan D diameter tanaman (cm), c rerata lilit batang tanaman, ρ massa jenis kayu ($0,37 \text{ g cm}^3$) dan α konstanta.
- c). Model regresi AGB III $Y = \alpha D^\beta$ (Ketterings *et al.*, 2001), dengan (D diameter tanaman (cm), α konstanta ($0,1208$) dan β konstanta ($1,98$).
- d). Kontrol digunakan perhitungan konvensional dengan metode volume air tumpahan.

Penentuan model statistik terbaik

Pengujian dilakukan dengan membandingkan model regresi AGB I dengan model regresi AGB III. Penelitian dilakukan dengan menggunakan 377 sampel tanaman dari berbagai umur dan berbagai lokasi. Karbon tersimpan diketahui dengan rumus:

$$C = 0,46 \times \text{biomassa tanaman}$$

Penelitian dilaksanakan pada per-tanaman kakao klonal di KP Kaliwining

menggunakan rancangan percobaan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan dan 10 tanaman sampel untuk tiap ulangan. Pengukuran jumlah karbon tersimpan di-lakukan terhadap tanaman kakao berumur 1, 4, 5, 7, 10, 19, dan 26 tahun.

Pengukuran karbon tersimpan meng-gunakan pendekatan allometrik pada tanaman kakao yang telah dilakukan oleh Yuliasmara & Wibawa (2008). Biomassa tanaman kakao dihitung dengan persamaan hasil kegiatan pertama yakni :

$$\text{Biomassa tanaman (g)} = 0,208 \cdot D^{1,98}$$

Keterangan :

D : diameter tanaman kakao pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah.

Hubungan variabel umur tanaman dengan jumlah karbon tersimpan pada tanaman kakao dilakukan untuk mengetahui pengaruh umur tanaman terhadap karbon tersimpan.

Pengukuran karbon tersimpan pada berbagai sistem pertanaman kakao

Penelitian dilakukan di Kebun Per-cobaan Kaliwining, Kebun Percobaan Sumberasin dan kebun kakao rakyat di Trenggalek. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok lengkap dengan sistem per-tanaman kakao sebagai faktor yang diamati. Pengamatan dilakukan pada areal per-tanaman kakao berumur 7 tahun dengan sistem pertanaman yang diamati yaitu sistem multistrata pada kakao rakyat, agroforestri kakao berpenaung jati jarak tanam $3 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, agroforestri kakao

berpenaung jati jarak tanam 6 m x 6 m, agroforestri kakao berpenaung sengon, dan sebagai kontrol adalah kakao berpenaung lamtoro (S0). Parameter pengamatan yaitu karbon tersimpan pada tanaman kakao, karbon tersimpan pada penaung, karbon tersimpan pada seresah dan tumbuhan bawah.

a. Plotting area pengamatan

Ukuran area pengukuran ditentukan oleh ukuran vegetasi yang ada dalam areal. Jika dalam areal terdiri atas vegetasi dengan diameter kurang dari 30 cm maka ukuran area yang digunakan 5 m x 40 m. Apabila dalam areal tersebut terdapat vegetasi dengan diameter lebih dari 30 cm maka ukuran plot yang digunakan 20 m x 100 m. Pada kebun kakao umumnya digunakan ukuran plot 200 m².

b. Pengukuran biomassa tanaman

Pengukuran biomassa tanaman menggunakan parameter diameter tanaman dan tinggi tanaman sebagai variabel pengamatan. Diameter tanaman diukur pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah. Persamaan allometrik yang digunakan dalam pengukuran biomassa tanaman, yang terdapat dalam kebun kakao yakni untuk penaung dikotil $0,11 \bar{n}D^{2,62}$ (Ketterings, 2001), monokotil $\bar{\delta}nH D^2/40$ (Hairiah, 2007), dan penaung sistem *topping* $\bar{\delta}nr^2H$ (Yuliasmara & Wibawa, 2007).

Pengukuran biomassa seresah dan tumbuhan bawah

Seresah merupakan sisa tumbuhan yang berasal dari guguran daun dan ranting tetapi belum mengalami dekomposisi. Tumbuhan bawah merupakan semak belukar yaitu vegetasi yang memiliki diameter batang < 5 cm. Pengukuran biomassa dilakukan dengan metode destruktif yaitu merusak bagian tanaman. Langkah pertama yaitu pembuatan plot sampel berupa kuadran dengan ukuran 50 cm x 50 cm. Pada setiap petak pengamatan dilakukan enam kali ulangan. Tumbuhan bawah dan seresah di dalam kuadran diambil beserta seluruh akarnya. Sampel tanaman bawah tersebut kemudian dikeringkan dalam oven selama \pm 48 jam pada suhu 80 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode estimasi volume tanaman

Penentuan metode estimasi volume tanaman merupakan tahap yang sangat menentukan akurasi suatu persamaan allometrik. Hasil analisis statistik nilai volume hasil estimasi dibandingkan dengan volume sesungguhnya hasil pencelupan tajuk tanaman menunjukkan bahwa tidak terdapat beda nyata pada kedua metode yang diujikan terhadap kontrol, sehingga diketahui bahwa diameter pada ketinggian 30 cm dan 130 cm dapat digunakan dalam

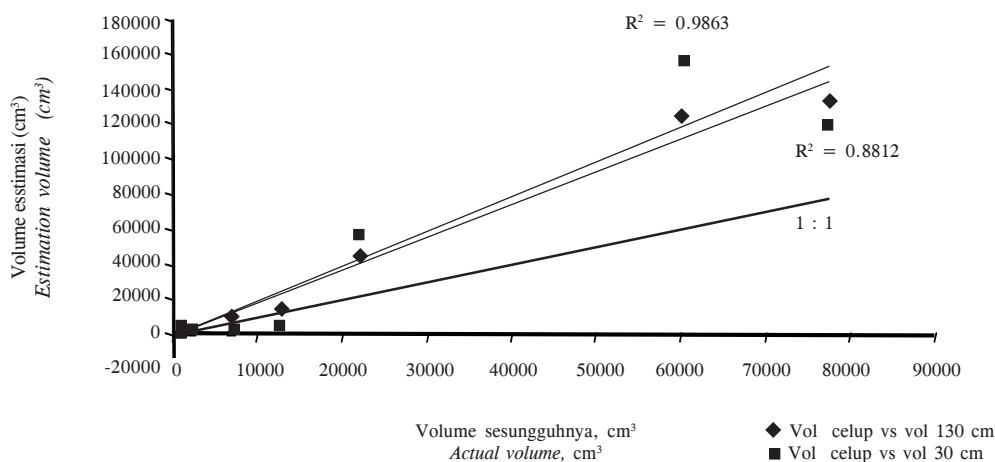
pendugaan volume tanaman sesungguhnya. Tanaman kakao merupakan tanaman perkebunan dengan percabangan rendah sehingga nilai volume tanaman hasil estimasi akan sangat bervariasi tergantung pada letak pengukuran diameter.

Pada pengujian korelasi volume hasil estimasi dengan volume sesungguhnya menunjukkan bahwa pengukuran diameter pada ketinggian 130 cm (metode I) menghasilkan nilai yang berkorelasi erat dengan nilai volume tanaman sesungguhnya, namun nilai volume hasil estimasi dengan pengukuran diameter tanaman pada ketinggian 30 cm (metode II) berkorelasi lebih rendah. Pada gambar 1 terlihat bahwa metode I memiliki nilai R^2 lebih besar yaitu 0,9863 sedangkan metode II memiliki nilai $R^2 = 0,8812$. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode I memiliki korelasi dan sebaran nilai lebih sesuai untuk pendugaan

nilai volume tanaman sesungguhnya daripada metode II. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Kettering *cit.* Yuliasmara & Wibawa (2007), bahwa pengukuran diameter tanaman pada ketinggian 130 cm di atas permukaan tanah, bila pada ketinggian < 130 cm terdapat percabangan maka pengukuran dilakukan pada semua cabang.

Penyusunan rumus allometrik biomassa tanaman kakao

Hasil analisis statistik biomassa tanaman yang dihasilkan oleh masing-masing model rumus allometrik dapat dilihat dari Tabel 2. Nilai yang dihasilkan model II lebih kecil dan menunjukkan beda nyata dengan kontrol, dengan demikian model II tidak dapat digunakan dalam pengukuran biomassa tanaman kakao, model I dan III



Gambar 1. Hubungan antara pengukuran volume tanaman kakao hasil estimasi dengan perhitungan konvensional dari tanaman kakao 2–20 tahun.

Figure 1. Relationship between volume of cocoa trees based on conventional calculation and estimation of 2–20 years age of plants.

menunjukkan nilai biomassa tanaman yang tidak berbeda nyata terhadap kontrol. Model regresi AGB I merupakan model dasar dalam pengukuran biomassa tanaman. Keunggulan dari model ini adalah ketepatan hasil estimasi karena melibatkan variabel diameter dan tinggi tanaman sebagai unsur utama perhitungan volume dan biomassa tanaman. Namun, model I memiliki kelemahan bila digunakan untuk mengukur karbon tersimpan jika tinggi tanaman sulit diamati karena titik tertinggi tanaman tertutup oleh kanopi atau tajuk tanaman kakao (Chave *et al.*, 2005). Model regresi AGB III (*Biomass-diameter regression*) merupakan model dengan menggunakan diameter tanaman sebagai variabel utama, pengamatan lebih sederhana dengan akurasi tinggi dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol maupun terhadap model I (Tabel 2).

Pada pengujian korelasi antara nilai biomassa tanaman hasil estimasi dengan hasil perhitungan konvensional menunjukkan bahwa model I menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang paling besar yaitu 0,981 diikuti oleh model III dengan nilai $R^2 = 0,978$. Penggunaan variabel tinggi

tanaman pada pengukuran karbon tersimpan pada tanaman kakao meningkatkan kualitas model regresi (Chave *et al.*, 2005). Berdasarkan Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa model I dan III memiliki tingkat akurasi dan korelasi yang tinggi terhadap biomassa tanaman kakao hasil perhitungan dengan metode destruksi. Model regresi AGB I dan model regresi AGB III dapat digunakan untuk pengukuran karbon tersimpan pada tanaman kakao.

Penentuan model estimasi terbaik

Penggunaan dan penentuan model regresi sebagai dasar penyusunan rumus allometrik merupakan tahapan penting dalam pendugaan karbon tersimpan pada tanaman (Chave *et al.*, 2001). Kualitas suatu model estimasi tergantung pada kompleksitas, jumlah dan ketepatan pemilihan parameter pengamatan (Burnham & Anderson, 2002). Namun, model estimasi terbaik adalah metode yang memiliki kesederhanaan secara matematis dan kepraktisan dalam pelaksanaan di lapangan dengan nilai akurasi tinggi (Ter-Mikaelian & Khozurkhin, 1997). Pada

Tabel 2. Persamaan regresi model yang diajukan

Tabel 2. Regression equation of the models proposed

No	Model <i>Model</i>	Persamaan Regresi <i>Regression Equation</i>	R^2
1	I	$y = 0.8905x - 1207.5$	0.981
2	II	$y = 0.4559x - 1316.9$	0.901
3	III	$y = 0.7427x + 2289.8$	0.978

Keterangan (*Notes*):

Y : Hasil estimasi konvensional (cm^3) (*Conventional estimation result*).

X : Hasil estimasi allometrik (cm^3) (*Allometric estimation result*).

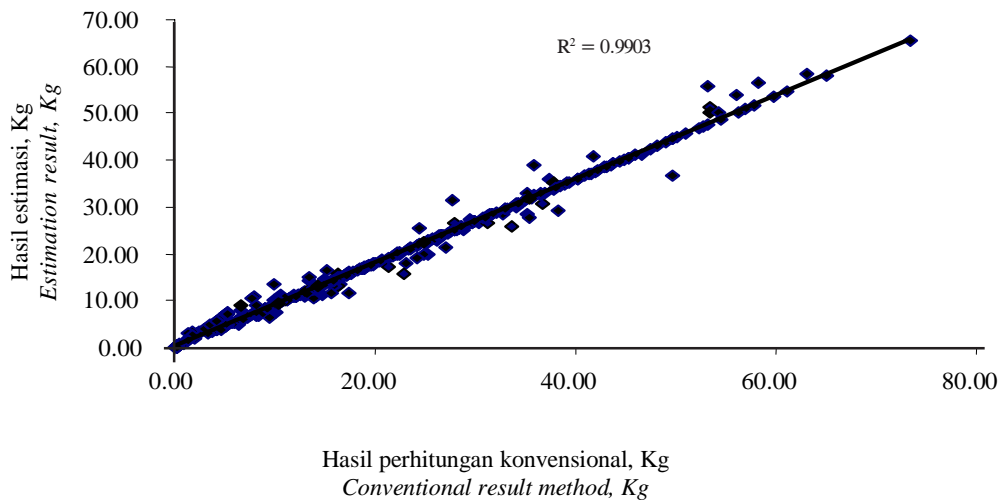
pengukuran karbon tersimpan terdapat tiga parameter yang paling penting yaitu massa jenis kayu (\bar{n}), diameter tanaman (D) dan tinggi tanaman (H). Namun, pada beberapa jenis tanaman yang pengukuran tinggi tanaman sulit dilakukan maka parameter pengamatan yang digunakan adalah massa jenis kayu (\bar{n}), dan diameter tanaman (D) (Chave *et al.*, 2005).

Berdasarkan uji akurasi biomassa hasil perhitungan dengan menggunakan model I dan III pada umur kakao 2 sampai dengan 20 tahun diketahui bahwa tidak terdapat beda nyata antarperlakuan. Hal tersebut ditandai dengan nilai R grafik > 0.95 sehingga dapat dikatakan bahwa kedua model memiliki tingkat akurasi yang sama. Hal tersebut memperkuat pendapat Brown *et al.* (1999), bahwa hubungan antara diameter tanaman dengan tinggi tanaman

yaitu: $H \cdot D^4$. Tanda (.) menunjukkan kedua variabel memiliki nilai pro-porsional atau berbanding lurus sehingga memungkinkan variabel H tidak dimasukkan dalam pengukuran. Pada pelaksanaan pengamatan di lapangan, model III memiliki keunggulan karena lebih aplikatif, mudah dan cepat dibandingkan dengan model I.

Pengaruh umur tanaman

Umur ekonomis tanaman kakao berkisar 25 sampai dengan 30 tahun. Pada umur 0–3 tahun tanaman mengalami pertumbuhan lambat hal tersebut disebabkan tanaman kakao memiliki sifat dimorfisme sehingga pertumbuhan akan mengalami perlambatan pada saat pembentukan jorket. Bibit tanaman kakao pada kisaran umur tanaman 6 sampai dengan 8 bulan terjadi



Gambar 2. Hubungan antara pengukuran karbon tersimpan kakao hasil estimasi dengan perhitungan konvensional dari tanaman kakao umur 2–20 tahun.

Figure 2. Relationship between carbon stock of cocoa trees based conventional calculation and estimation of 2–20 years old.

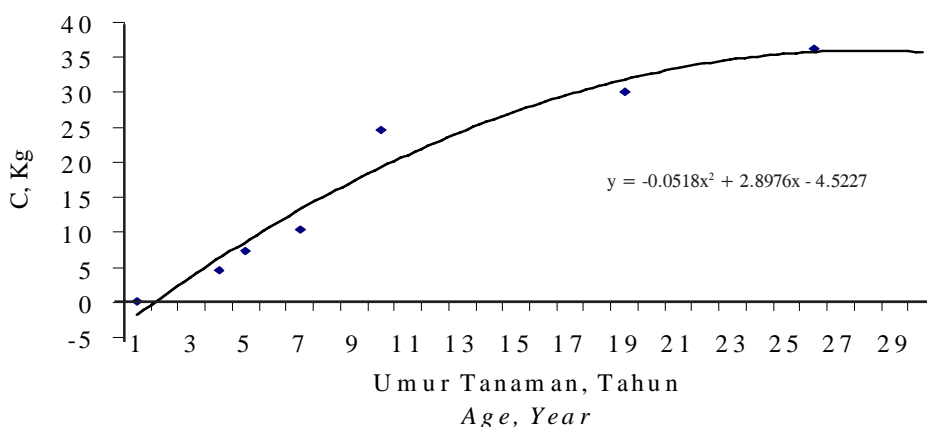
proses pemindahan bibit ke lapangan. Fase pertumbuhan cepat tanaman kakao terjadi pada saat umur tanaman 3 sampai dengan 10 tahun. Tinggi tanaman umur 3 tahun mencapai 1,8–3,0 m dan pada umur 12 tahun dapat mencapai 4,5–7,0 m (Prawoto, 2008). Tinggi tanaman tersebut beragam dipengaruhi oleh intensitas naungan serta faktor-faktor tumbuh yang tersedia. Hasil fotosintesis dialokasikan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman sehingga penambahan biomassa tanaman berjalan cepat.

Pertambahan biomassa tanaman berpengaruh langsung terhadap penambahan jumlah karbon tersimpan. Proporsi karbon sebagai penyusun biomassa tanaman yaitu 0,46 menempatkan karbon sebagai penyusun terbesar dari biomassa total tanaman (Hairiah, 2007). Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan karbon tersimpan pada tanaman kakao berbanding lurus dengan penambahan biomassa tanaman.

Pertambahan karbon tersimpan pada tanaman kakao dianalisis menurut persamaan linear, logaritma, polinomial dan eksponensial. Dari empat model persamaan yang diuji terlihat bahwa persamaan polinomial memiliki tingkat akurasi lebih baik daripada model lain. Nilai R^2 pada polinomial 0,9599 yang menunjukkan bahwa hubungan antara umur tanaman dengan karbon tersimpan lebih tepat digambarkan sebagai persamaan polinomial dibandingkan persamaan linear, logaritma maupun eksponensial. Hubungan umur tanaman dengan karbon tersimpan menurut persamaan polinomial:

$$Y = -0,0518X^2 + 2,8976X - 4,524$$

Gambar 3 menunjukkan terjadi kenaikan jumlah karbon tersimpan secara cepat pada awal pertumbuhan tanaman yaitu umur 3 tahun dan mulai melambat pada umur 10 tahun. Pada umur tanaman 1 tahun, karbon tersimpan yang dihasilkan menunjukkan nilai negatif, sehingga



Gambar 3. Hubungan antara karbon tersimpan dengan umur tanaman kakao.

Figure 3. Relationship between of carbon stock and the age of cocoa plants.

persamaan yang dihasilkan tidak dapat digunakan untuk pengukuran karbon tersimpan.

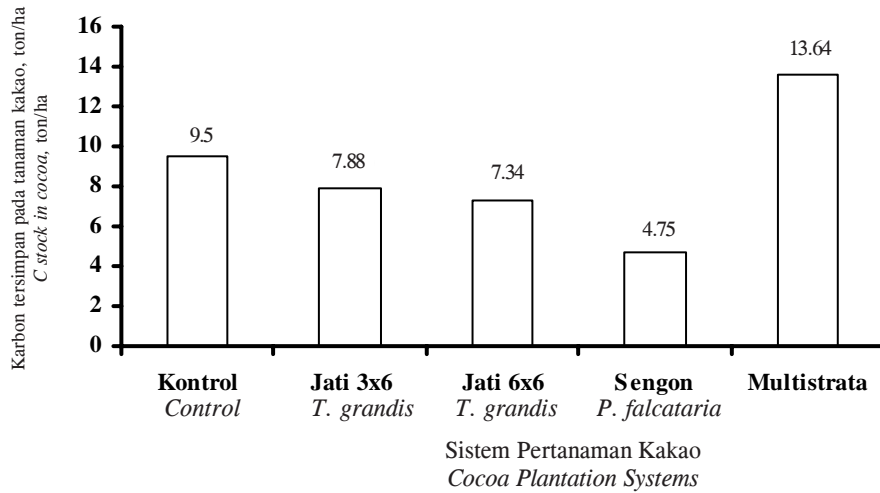
Penentuan karbon tersimpan pada berbagai sistem pertanaman kakao

Menurut Prawoto (2008), habitat asli tanaman kakao adalah hutan tropika, dengan naungan pohon-pohon tinggi, curah hujan tinggi, dan tanaman kakao termasuk tanaman C3 yaitu tanaman yang menyukai naungan (*shade loving tree*). Laju fotosintesis optimum berlangsung pada intensitas cahaya sekitar 70%. Sifat fisiologis tersebut menyebabkan perkebunan kakao menggunakan tanaman penaung untuk melindungi tanaman dari cahaya matahari langsung. Tanaman kakao membutuhkan naungan pada seluruh siklus hidupnya agar dapat tumbuh dan berproduksi optimal. Sifat tanaman kakao yang menyukai naungan memungkinkan tanaman

kakao dibudidayakan dengan sistem agroforestri.

Tanaman kakao selain sebagai tanaman utama juga merupakan penyimpan karbon yang cukup besar pada sistem perkebunan kakao. Karbon tersimpan pada pertanaman kakao berpenaung lamtoro umur 7 tahun sebesar 9,5 ton/ha, pada berpenaung jati dengan jarak tanam 3 x 6 m sebesar 7,88 ton/ha, penaung jati dengan jarak tanam 6 m x 6 m sebesar 7,34 ton/ha dan multistrata 13,64 ton/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman sengon pada pola tanam tersebut sangat tinggi sehingga terjadi kompetisi hara dengan tanaman kakao (Prawoto, 2008). Kakao rakyat dengan penaung multistrata menggunakan sistem pangkasan kurang intensif sehingga menyimpan C yang terbanyak.

Penaung pada tanaman kakao memiliki arti penting terhadap simpanan karbon.



Gambar 4. Karbon tersimpan pada tanaman kakao di berbagai sistem pertanaman kakao.

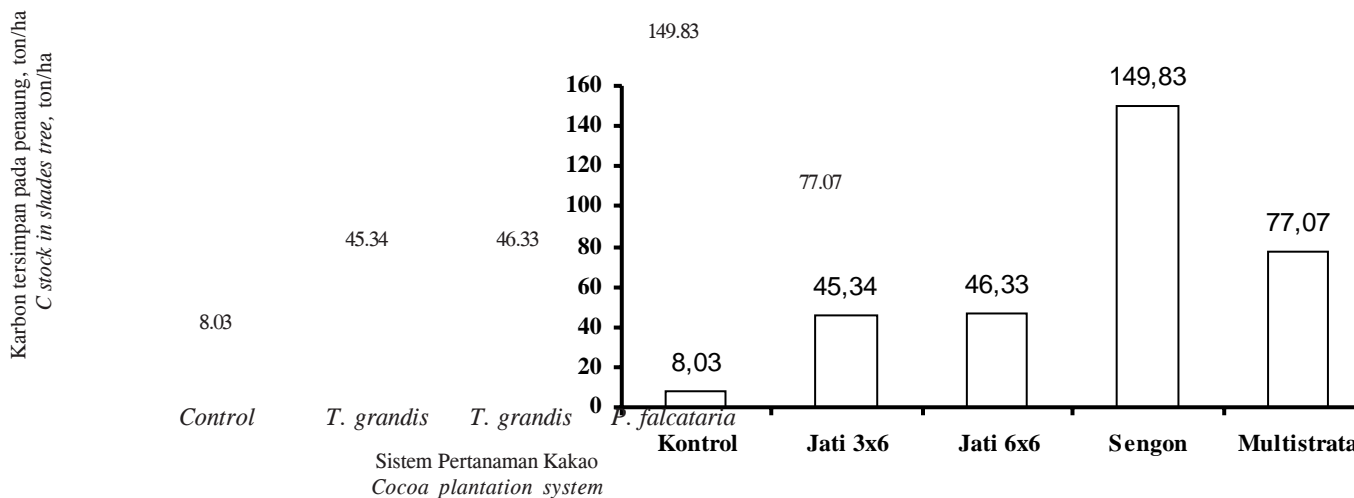
Figure 4. Carbon stock in the cocoa plant on several of cocoa plantation system.

Gambar 5 menunjukkan pola tanam kakao dengan tanaman kayu industri maupun tanaman produktif lainnya dapat meningkatkan kemampuan lahan dalam penyimpanan karbon. Peningkatan penjerapan karbon dapat dilakukan dengan (a) mempertahankan cadangan karbon yang telah ada (b) Penanaman tanaman berkayu dan reforestrasi dengan tanaman cepat tumbuh (Hairiah & Rahayu. 2007).

Pada suatu ekosistem hutan dan perkebunan, tingkat gugur daun sangat tinggi dan merupakan jalan siklus hara yang paling penting dalam ekosistem (Vitousek & Sanford 1986). Penaung jati 3 m x 6 m, jati 6 m x 6 m, sengon, dan multistrata menghasilkan jumlah seresah lebih besar daripada perlakuan kontrol dengan penaung lamtoro. Seresah dan tumbuhan bawah tertinggi dihasilkan oleh perkebunan rakyat (multistrata) yaitu 0,92 ton/ha.

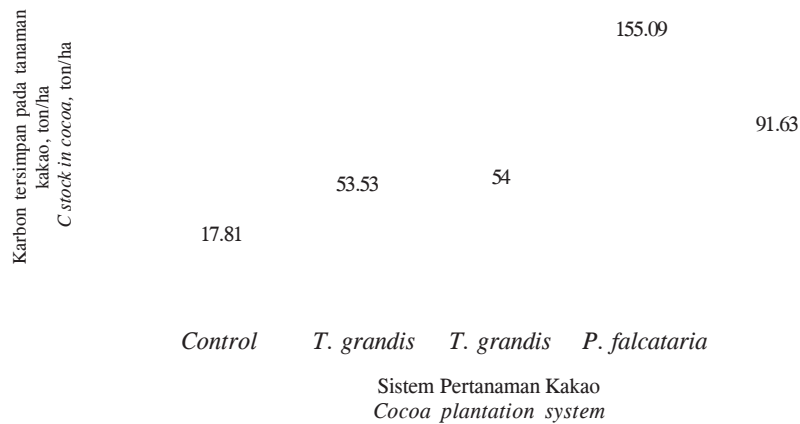
Sistem perkebunan rakyat menggunakan berbagai jenis penaung dengan kerapatan populasi yang sangat tinggi dengan pengelolaan gulma kurang intensif menghasilkan seresah dan tumbuhan bawah dalam jumlah banyak. Heterogenitas seresah dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan tingkat pembusukannya (Grubb, 1977).

Sengon dan lamtoro menghasilkan seresah dan tumbuhan bawah dengan jumlah yang besar. Tanaman sengon dan lamtoro merupakan suku leguminosa sehingga memiliki kemampuan menambat nitrogen. Tingkat kerontokan daun merata sepanjang tahun namun akan meningkat pada musim kemarau. Biomassa seresah dan tumbuhan bawah pada jenis penaung tersebut didominasi oleh gulma/rumput liar. Hal tersebut diduga berkaitan dengan kemampuan menambat nitrogen dan tingkat



Gambar 5. Karbon tersimpan pada tanaman penaung di berbagai sistem pertanaman kakao.

Figure 5 Carbon stock in the shades trees on several cocoa plantation sytems.

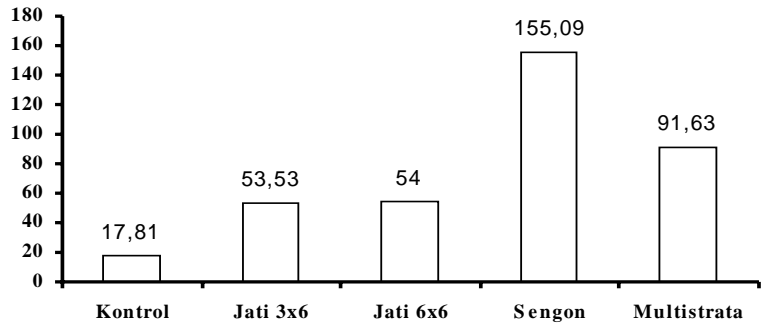


Gambar 6. Karbon tersimpan pada serasah dan tumbuhan bawah di berbagai sistem pertanaman kakao.
 Figure 6. Carbon stock in the litter and understory on several cocoa plantation systems.

penaungan yang relatif ringan sehingga sinar matahari dapat sampai ke permukaan tanah. Padmowijoto (2004), menyebutkan bahwa tanaman lamtoro yang ditanam rapat dengan jarak antar barisan satu meter, mampu menghasilkan pupuk hijau sebanyak 120 ton/ha/th, sehingga dapat memberikan 1000 kg nitrogen, 200 asam fosfat dan 800 kg potasium, berturut-turut setara dengan 100 sak (50 kg) monium sulfat, 20 sak (50 kg) super fosfat dan 24 sak (50 kg) potasium muri. Fiksasi N atmosfer menambah kesuburan tanah, murah dan tidak mengganggu lingkungan.

Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem pertanaman secara agroforestri dapat menaikkan sumbangan perkebunan kakao sebagai penyimpan karbon. Penataan pola tanam kebun perlu dilakukan sehingga perkebunan kakao tidak hanya memberikan keuntungan secara ekonomis namun juga secara ekologis. Keberlanjutan

sistem penggunaan lahan sangat tergantung pada fleksibilitasnya dalam keadaan lingkungan yang terus berubah. Adanya keaneka-ragaman sumberdaya genetik yang tinggi pada tingkat usahatani akan menunjang fleksibilitas suatu penggunaan lahan (Padmowijoto, 2004).



pengukuran karbon tersimpan tanaman kakao karena lebih praktis dan aplikatif, dengan akurasi tinggi.

3. Karbon tersimpan pada tanaman kakao semakin meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman menurut

persamaan $Y = 0,0518X^2 + 2,8976X - 4,524$.

4. Disebabkan oleh laju pertumbuhan yang cepat, maka peningkatan jumlah karbon tersimpan penanang tanam sengon adalah yang tertinggi dibandingkan pola tanam yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah, S. (2008). CO₂ absorption-emission balance in cocoa plantation. *Prosiding Simposium Kakao 2008*, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, p15–18.
- Arifin, J. (2001). *Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang*. Malang. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Brown S; A. Gillespie & A.E. Lugo (1999). Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern US forest. *Ecol. Appl.*, 9, 968–980.
- Burnhan, K.P. & D.R. Anderson (2002). *Model Selection and Inference, A Practical Information-Theoretic Approach*, 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg. New York.
- Chave, J.; B. Reira & M. A. Dubois (2001). Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: Spatial and temporal variability. *Trop. Ecol.*, 17, 79–96.
- Chave, J.; C. Andalo; S. Brown & M. A Cairas (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99.
- Ditjenbun (2007). *Statistik Perkebunan Indonesia 2006–2008. Kakao*. Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.
- Gomez K.A & A.A Gomez (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research Second Edition*. John Wiley and Sons, New York.
- Grubb, P.J. (1977). The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biological Reviews*, 52, 107–145.
- Hairiah, K; S.M. Sitompul; M. Van Noordwijk & C. Palm (2001). *Methods for Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground*. ASB Lecture Note 4B. ICRAF. Bogor.
- Hairiah, K. (2007). *Perubahan Iklim Global: Neraca Karbon di Ekosistem Daratan*. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Hairiah, K. & S. Rahayu (2007). *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Center-ICRAF. Bogor.
- Ketterings, Q.M; R. Coe; M. Van Noordwijk; Y. Ambagau & C.A. Palm (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146, 199–209.
- McMahon, T.A & R.E. Kromauer (1976) Tree structures: deducing the principles of mechanical design. *J. Theor Biol.*, 59, 443–466.

- Niklas, K.J (1995). Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Ann. Bot.*, 75, 265–272.
- Padmowijoto, S. (2004). *Pengembangan model pertanian terpadu*. Workshop Agroforestri 2004, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Prawoto, A. (2008). Pola Tanam dan Tumpangsari. p.105–122. *In*: Wahyudi, T.; T.R Panggabean & Pujiyanto (Eds.). *Panduan Lengkap Kakao. Mana-gemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Prawoto, A. (2008). Pangkasan. p.122–132. *In*: Wahyudi, T.; TR. Pangabean & Pujiyanto (Eds.). *Panduan Lengkap Kakao. Managemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Ter-Mikaelian, M.T. & M.D. Khozurkhin. (1997). Biomass equation for six-five North American tree species. *Ecol. Manag.*, 97, 1–24.
- Van Noordwijk, M.; S. Rahayu.; K Hairiah, Y.C. Wulan; A. Farida & Bruno Verbist (2002). Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to landuse change analysis. *Science in China*, 45, 75–86.
- Vitousek, P.M & R.L. Sanford (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 137–167.
- Watson, R.T; I.R. Noble; B. Bollin; N.H. Ravindranath; D.J. Verado & D.J. Dokken (2000). Land Use, *Land-Use Change and Forestry*. A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wessel, M. (1985). Shade and nutrition. p.166–194. *In*: Wood, G.A.R. & R.A. Lass (Eds.). *Cocoa*. Longman Group Ltd.
- Yuliasmara, F. & A. Wibawa (2007), Pengukuran karbon tersimpan pada perkebunan kakao dengan pendekatan biomassa tanaman. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao*, 23, 159–169.
