

PERSAMAAN ALOMETRIK DAN CADANGAN KARBON VEGETASI PADA HUTAN GAMBUT PRIMER DAN BEKAS TERBAKAR (*Allometric Equation and Vegetation Carbon Stock at Primary and Burnt Peat Forest*)*

I Wayan Susi Dharmawan

Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi
Jl. Gunung Batu No.5 PO Box 165; Telp. 0251-8633234; Fax 0251-8638111 Bogor
e-mail : p3hka_pp@yahoo.co.id; salifa03@yahoo.co.id

*Diterima : 10 Mei 2012; Disetujui : 1 April 2013

ABSTRACT

Bio-sequestration is one of the important carbon stock management that was underlined in several international meetings. Data on carbon stocks of vegetation and peat soil are very important to minimize variation of the carbon stock estimates in peat forests. The objectives of this research were to formulate the allometric equation for estimating tree biomass of the primary and burnt peat forests and to analyze the vegetation carbon stocks of the primary and burnt peat forests. The research was carried out in the primary peat forest (HGP), peat forest repeatedly-burnt annually (HG₁), peat forest three years after fire (HG₃), and peat forest eight years after fire (HG₈). Cluster plots were established in each forest type representing the period after burning and undisturbed condition. Each cluster plot consisted of four circular subplots (radius of 7.32 m) and four circular annular plots (radius of 17.95 m). The total number of both circular subplots and annular plots was 16 respectively. Data on biomass carbon stock were collected on those plots. Results of this research showed that for estimating total tree biomass for all cluster, the most reliable allometric equation was $Y = 0.061 (DBH \times T)^{1.464}$. General allometric equation of all cluster is used for users in the field to calculate of stand biomass carbon stock. This general equation can be applied in all cluster due to the similarity of rainfall climatic zone range as 2,621-3,339 mm/year belongs to climatic zone of moist 1,500-4,000 mm/year (Brown et al., 1989). Allometric equation in each cluster was used for estimation of stand biomass carbon stock in each cluster. The most reliable allometric equation in primary peat forest was $Y = 0.040 (DBH \times T)^{1.52}$; in peat forest repeatedly-burnt annually was $Y = 0.098 (DBH)^{2.350}$; in peat forest three years after fire was $Y = 0.084 (DBH \times T)^{1.376}$; in peat forest eight years after fire was $Y = 0.024 (DBH \times T)^{1.667}$. Total carbon stock from understorey, seedlings, saplings, poles and trees were 73.08 tonC/ha at HGP; 4.93 tonC/ha at HG₁; 13.64 tonC/ha at HG₃; and 26.13 tonC/ha at HG₈, respectively.

Keywords: Carbon stock, peat forest, burning, allometric equation

ABSTRAK

Biosekuestrasi atau penyerapan karbondioksida oleh vegetasi merupakan salah satu pengelolaan cadangan karbon yang penting untuk digarisbawahi dalam setiap pertemuan internasional, tetapi ketersediaan data tersebut masih kurang lengkap dan tersebar. Data cadangan karbon dari vegetasi dan tanah gambut sangat penting untuk mengurangi variasi pendugaan stok karbon di hutan gambut. Tujuan penelitian ini adalah untuk memformulasikan persamaan alometrik dalam pendugaan biomassa pohon di hutan gambut primer dan bekas kebakaran serta untuk menganalisis cadangan karbon vegetasi di hutan gambut primer dan bekas kebakaran. Penelitian dilakukan di hutan gambut primer (HGP), hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (HG₁), hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun (HG₃), dan hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun (HG₈). Kluster plot dibuat di setiap hutan gambut primer dan bekas kebakaran yang mewakili periode kondisi setelah kebakaran dan hutan gambut tidak terganggu. Setiap kluster terdiri dari empat subplot lingkaran (jari-jari 7,32 m) dan empat *annular* lingkaran (jari-jari 17,95 m). Jumlah total adalah 16 subplot lingkaran serta 16 *annular* lingkaran. Data cadangan biomassa karbon dikumpulkan dalam plot-plot tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk menduga biomassa total pada keseluruhan kluster, maka persamaan alometrik yang paling tepat adalah $Y = 0,061 (DBH \times T)^{1,464}$. Persamaan alometrik umum keseluruhan kluster tersebut digunakan untuk pengguna di lapangan dalam menghitung cadangan biomassa karbon tegakan. Persamaan umum ini dapat digunakan karena semua kluster penelitian memiliki wilayah zona iklim curah hujan sebesar 2.621-3.339 mm/tahun yang termasuk dalam zona iklim *moist* 1.500-4.000 mm/tahun (Brown *et al.*, 1989). Masing-masing persamaan alometrik tiap kluster yang diperoleh dari hasil penelitian ini digunakan untuk menduga cadangan biomassa karbon tegakan tiap kluster. Persamaan alometrik terpilih penduga biomassa total untuk hutan gambut primer adalah $Y = 0,040 (DBH \times T)^{1,524}$; untuk hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun adalah $Y = 0,098 (DBH)^{2,350}$; untuk hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun adalah $Y = 0,084 (DBH \times T)^{1,376}$; untuk hutan gambut bekas terbakar

setelah delapan tahun adalah $Y = 0,024 (DBH \times \rho \times T)^{1,667}$. Cadangan karbon total yang merupakan jumlah dari tumbuhan bawah, semai, pancang, tiang, dan pohon adalah sebesar 73,08 tonC/ha di HGP; 4,93 tonC/ha di HG₁; 13,64 tonC/ha di HG₃; dan 26,13 tonC/ha di HG₈.

Kata kunci: Cadangan karbon, hutan gambut, kebakaran, persamaan alometrik

I. PENDAHULUAN

Data cadangan karbon melalui biosekuestrasi dan karbon organik tanah merupakan data penting untuk penghitungan lebih lanjut terkait penentuan faktor emisi/faktor serapan yang memerlukan kegiatan inventarisasi secara tepat. Hutan gambut memiliki potensi serapan karbon yang cukup besar yaitu 200 tC/ha (Agus, 2007). Penyediaan data cadangan karbon vegetasi dan tanah gambut penting untuk mengatasi keterbatasan data yang ada sehingga variasi data cadangan karbon di hutan gambut dapat dikurangi. Data cadangan karbon ini dapat digunakan dalam kerangka implementasi REDD+ khususnya sebagai *baseline data* (pangkalan data) untuk konservasi cadangan karbon dan peningkatan cadangan karbon pada areal-areal konservasi hutan gambut.

Data cadangan karbon dan karbon organik tanah pada hutan gambut sangat bervariasi dan kondisi ini akan mempengaruhi kualitas data yang tersedia. Adanya variasi data yang tinggi ini menghasilkan tingkat ketidakpastian data yang tinggi pula (*high uncertainty*) dan hal ini menjadi masalah yang selalu ditemui dalam kegiatan inventarisasi cadangan karbon dan karbon organik tanah pada hutan gambut. Pendugaan cadangan karbon digunakan sebagai dasar utama untuk perhitungan emisi akibat terjadinya perubahan tutupan hutan oleh kebakaran atau penebangan dengan metode *stock difference method* dalam suatu kurun waktu tertentu. Data cadangan karbon yang hilang akibat terjadinya kebakaran masih belum banyak diinventarisir terutama di hutan gambut sehingga berdampak pada tingginya *uncertainty* perhitungan emisi akibat kebakaran hutan gambut. Contoh tingginya *uncertainty* pada inventarisasi stok

karbon di hutan gambut adalah perhitungan emisi kebakaran gambut. Dari beberapa studi yang diperbandingkan menunjukkan bahwa emisi kebakaran gambut sangat bervariasi, yaitu 1.624 MtCO₂ (Heil *et al.*, 2007), 360 MtCO₂ (Levine, 1999), 1.191 MtCO₂ dan 3.778 MtCO₂ (Page *et al.*, 2002), 1.029 MtCO₂ (Duncan, 2003), 466 MtCO₂ (Van der Werf *et al.*, 2007), dan 6,4 MtCO₂ (IFCA, 2008). Data cadangan karbon di hutan gambut juga dilaporkan bervariasi, yaitu untuk biomassa di atas tanah sebesar 150-200 tC/ha dan biomassa di bawah tanah sebesar 300-6.000 tC/ha (Agus & Subiksa, 2008). Bervariasinya data tersebut, selain disebabkan oleh pendekatan metodologi teknis yang berbeda juga tipologi hutan gambut yang sangat spesifik, baik dari tingkat kematangan gambut maupun variasi jenis vegetasi yang tumbuh di hutan lahan gambut.

Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan lebih banyak penelitian cadangan karbon dan karbon organik tanah pada hutan gambut secara lebih spesifik dengan memperhatikan tipologi kondisi hutan gambut. Penelitian cadangan karbon dan kandungan karbon organik tanah pada hutan gambut primer dan bekas terbakar pada beberapa umur setelah terjadinya kebakaran masih sangat jarang. Perubahan cadangan karbon pada vegetasi hutan gambut dan lahan gambut pada areal bekas terbakar belum banyak diperhatikan. Perlu dilakukan penelitian yang menitikberatkan pada permasalahan bagaimana kecenderungan perubahan cadangan karbon pada vegetasi hutan gambut dan tanah gambut yang mengalami perubahan tutupan lahan akibat kebakaran.

Penelitian ini akan memfokuskan pada evaluasi dinamika cadangan karbon pada

hutan gambut primer dan bekas terbakar berulang tiap tahun, bekas terbakar setelah tiga tahun, dan bekas terbakar setelah delapan tahun. Evaluasi didasarkan pada analisis dinamika/perubahan cadangan biomassa karbon pada hutan gambut bekas terbakar dengan cadangan biomassa karbon pada hutan gambut primer sebagai kontrolnya. Hutan gambut bekas terbakar didefinisikan sebagai hutan gambut yang telah mengalami kebakaran karena gangguan alami (*natural disturbance*) disertai pemicu kebakarannya.

Tujuan penelitian ini adalah: 1) mendapatkan persamaan alometrik untuk pendugaan biomassa pohon pada hutan gambut bekas kebakaran dan hutan gambut primer, 2) mendapatkan informasi cadangan karbon vegetasi pada hutan gambut bekas kebakaran dan hutan gambut primer.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Maret 2011 sampai dengan bulan Desember 2011 di Hutan Pendidikan Universitas Palangkaraya (UNPAR), Kecamatan Katingan Tengah, Kabupaten Katingan, Provinsi Kalimantan Tengah dan Hutan Penelitian CKPP (*Central Kalimantan Peatland Project*) yang terletak di Kecamatan Jabiren, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Plot penelitian di Hutan Pendidikan Universitas Palangkaraya (tiga klaster dan 12 subplot) ditempatkan pada lokasi hutan gambut primer, hutan gambut terbakar setelah tiga tahun, dan hutan gambut terbakar setelah delapan tahun. Plot penelitian di Hutan Penelitian CKPP (satu klaster dan empat subplot) ditempatkan pada hutan gambut terbakar berulang tiap tahun.

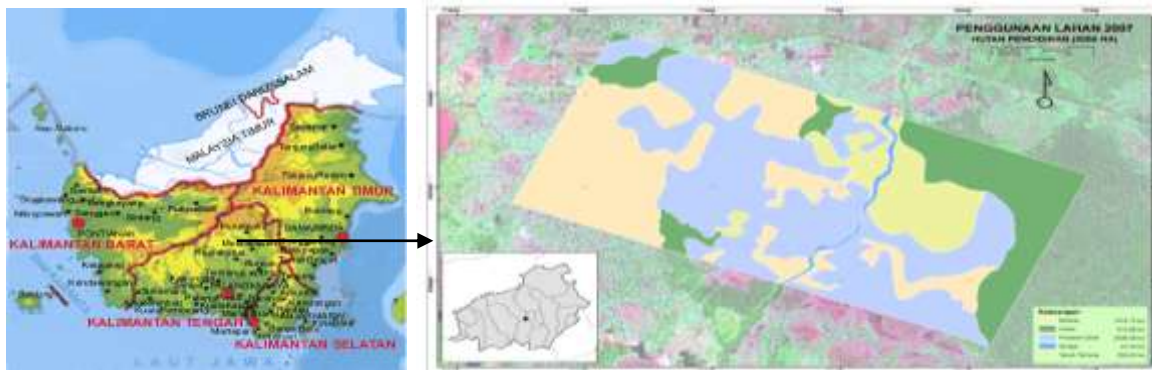
Hutan Pendidikan Universitas Palangkaraya merupakan kawasan hutan gambut seluas 5.000 ha dikelola bersama oleh Dinas Kehutanan Kabupaten Katingan dan Universitas Palangkaraya (Ciptadi *et al.*, 2010). Vegetasi yang mendominasi ada-

lah jenis-jenis tumih, geronggang, ramin, dan jelutung. Fauna yang terdapat dalam kawasan hutan pendidikan antara lain orang utan (*Pongo pygmaeus* Linnaeus), beruang madu (*Helarctos malayanus* Raffles), owa-owa (*Hylobates muelleri* Martin), berang-berang cakar kecil (*Aonyx cinerea* Illiger), kijang (*Muntiacus muntjak* Zimmerman), tupai (*Tupaia dorsalis*), dan musang (*Paradoxurus hermaphroditus* Pallas). Berdasarkan tutupan lahannya, kawasan hutan pendidikan terdiri dari hutan primer dan hutan sekunder seluas 912,86 ha (18,26%), semak belukar seluas 1.474,72 ha (29,49%), lahan terbuka seluas 559 ha (11,18%), areal tergenang seluas 2006,08 ha (40,12%), dan sungai seluas 47,34 ha (0,95%).

Hutan Penelitian CKPP, Kalamancangan terletak pada jalan lintas yang menghubungkan Palangkaraya dengan Banjarmasin. Banyak kawasan hutan di sekitar Kalamancangan yang telah dibuka dengan melakukan kegiatan tebang bersih dan dibakar setiap tahun untuk lahan pertanian. Di kawasan hutan gambut Kalamancangan sering terjadi kebakaran hutan gambut berulang tiap tahun terutama pada musim-musim kemarau. Kebakaran hutan gambut berulang inilah yang menyebabkan pemulihan hutan gambut di Kalamancangan menjadi lebih berat daripada pemulihan hutan gambut di Hampangan. Proses pemulihan hutan gambut akibat kebakaran di Kalamancangan banyak diawali dengan jenis paku-pakuan *Neprolepis* sp., *Neprolepis falcata*, *Stenochlaena palustris*, *Blechnum orientale*, dan jenis herba merambat *Psychotria sarmentosa*, *Nepenthes* sp., dan *Adenantha pavonina*. Jenis paku-pakuan dan herba tersebut akan terus berkembang dan meluas hingga menutupi permukaan lantai hutan yang terbuka.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: satu cuplikan hutan gambut primer dan bekas tebang,



Gambar (Figure) 1. Lokasi Hutan Pendidikan Universitas Palangkaraya (Location of Educational Forest of Palangkaraya University) (Sumber: Ciptadi *et al.*, 2010)

plastik sampel, *tally sheet*, spidol permanen, tali rafia, dan label. Alat yang digunakan antara lain: *phiband*, meteran 50 m, golok, *densiometer*, kaliper, gunting stek, gergaji mesin, termometer udara, *Global Positioning System* (GPS), timbangan, dan oven.

C. Metode Penelitian

1. Desain Pembuatan Plot

Penempatan klaster plot contoh dilakukan secara *purposive sampling* sebanyak empat plot berbentuk lingkaran dengan luasan masing-masing lingkaran adalah 0,1 ha. Keempat plot tersebut diletakkan secara *purposive* pada lokasi hutan primer, bekas terbakar berulang tiap tahun, bekas terbakar setelah tiga tahun, dan bekas terbakar setelah delapan tahun (jumlah total 16 plot). Penggunaan klaster plot contoh ini menggunakan dasar/turunan dari bentuk heksagon di mana permukaan bumi akan habis dibagi oleh bentuk heksagon. Di dalam setiap heksagon diletakkan satu klaster plot secara acak yang terdiri dari empat plot lingkaran. Satu heksagon memiliki luasan sebesar 2.400 ha yang akan diturunkan ke dalam klaster plot seluas 0,4 ha (intensitas *sampling* sebesar 0,016%). Bentuk heksagon dipilih karena memiliki tingkat ketahanan yang tinggi terhadap penyimpangan/perubahan spasial permukaan bumi serta bentuk plot ini juga telah diuji oleh

Environmental Protection Agency (EPA) (Bechtold *et al.*, 2007).

Pembuatan plot dilakukan menurut prosedur *United States Department of Agriculture Forest Service* (2005) (Gambar 2), di mana dalam satu plot terdiri dari empat subplot berbentuk lingkaran terdiri dari: subplot pada pusat plot, subplot pada arah 0° , subplot pada arah 120° , dan subplot pada arah 240° . Titik koordinat lokasi penelitian dan ketinggian tempat ditampilkan pada Tabel 1.

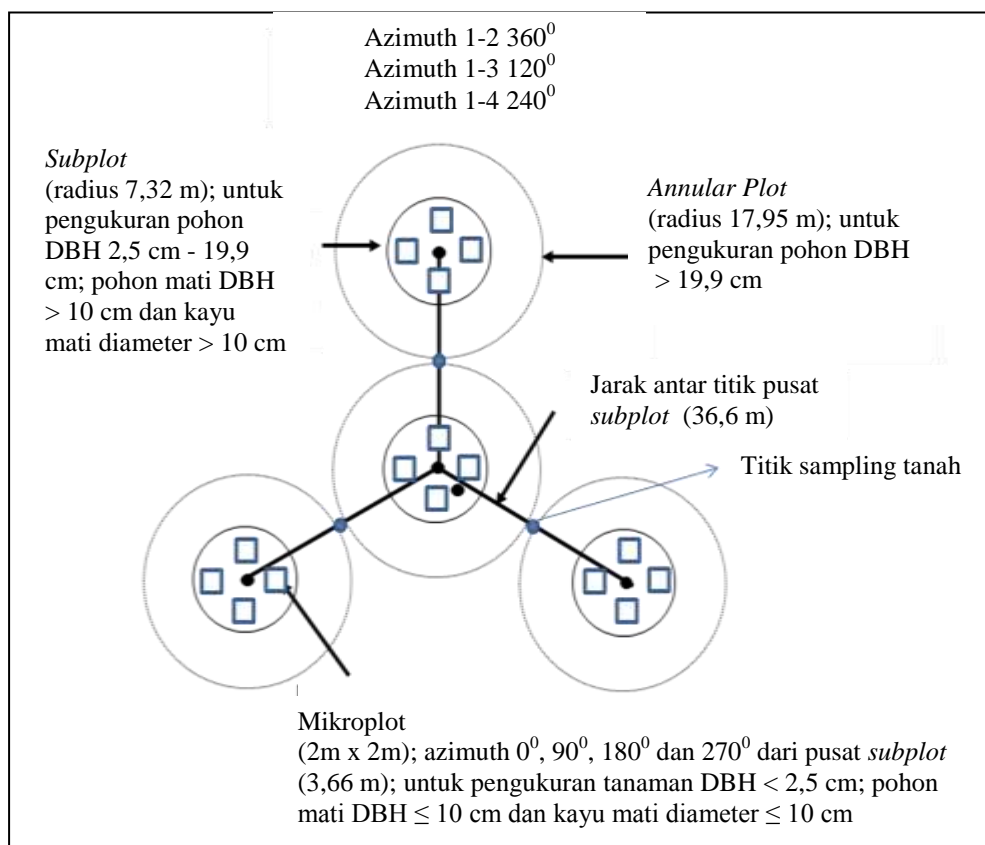
2. Formulasi Persamaan Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Hutan Gambut Bekas Kebakaran dan Hutan Gambut Primer

Penyusunan persamaan alometrik dilakukan sebagai berikut:

a. Pembuatan persamaan alometrik lokal untuk pendugaan biomassa pohon dalam tegakan: $y = a (DBH)^b$, $y = a (DBH \times \text{Tinggi Total})^b$, $y = a (DBH \times \text{Kerapatan Jenis Kayu})^b$, $y = a (DBH \times \text{Tinggi Total} \times \text{Kerapatan Jenis Kayu})^b$.

Keterangan: y = biomassa (kg), DBH = diameter setinggi dada (cm), tinggi total (m), kerapatan jenis kayu (g/cm^3), a dan b = nilai koefisien persamaan.

b. Uji persamaan alometrik yang diperoleh dengan persamaan-persamaan alometrik lainnya yang secara umum banyak digunakan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai simpangan (*mean error*) antar persamaan.



Gambar (Figure) 2. Plot pengukuran dan titik pengambilan sampel tanah (*Measurement plot and soil sampling point*) (diadaptasi dari USDA Forest Service, 2005) (*adopted from USDA Forest Service, 2005*)

Tabel (Table) 1. Posisi koordinat dan ketinggian tempat lokasi penelitian (*Coordinate position and altitude of the research locations*)

Klaster (<i>Cluster</i>)	Plot	Posisi koordinat (<i>Coordinate position</i>)		Ketinggian (<i>Altitude</i>) (m dpl) (m asl)
		S	E	
Hutan gambut primer (<i>Primary peat forest, UNPAR</i>)	1	01° 52,077'	113° 31,632'	54
	2	01° 52,061'	113° 31,633'	57
	3	01° 52,087'	113° 31,649'	60
	4	01° 52,088'	113° 31,608'	58
Hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (<i>Peat forest repeatedly burnt annually, CKPP</i>)	1	02° 19,219'	114° 03,484'	14
	2	02° 19,202'	114° 03,484'	15
	3	02° 19,228'	114° 03,502'	13
	4	02° 19,234'	114° 03,470'	12
Hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun (<i>Peat forest 3 years after fire, UNPAR</i>)	1	01° 52,775'	113° 28,456'	45
	2	01° 52,755'	113° 28,460'	46
	3	01° 52,786'	113° 28,472'	43
	4	01° 52,792'	113° 28,439'	51
Hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun (<i>Peat forest 8 years after fire, UNPAR</i>)	1	01° 53,279'	113° 30,961'	47
	2	01° 53,265'	113° 30,962'	45
	3	01° 53,295'	113° 30,981'	49
	4	01° 53,298'	113° 30,948'	47

- c. Uji persamaan alometrik yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan kriteria nilai koefisien determinasi (R^2), nilai simpangan (*mean error*), *Akaike Information Criterion* (AIC), dan *Residual of Standard Error* (RSE) (Chave *et al.*, 2005).
- d. Analisis uji nilai simpangan (*mean error*) (Chave *et al.*, 2005):

$$\frac{(\text{Nilai sebenarnya} - \text{Nilai hasil dugaan})}{\text{Nilai hasil dugaan}} \times 100\%$$

Analisis uji nilai AIC (Chave *et al.*, 2005): $-2 \ln$ (nilai *likelihood fitted model*) + 2 (jumlah parameter model).

Jumlah dan karakteristik sampel pohon yang digunakan untuk pembuatan persamaan alometrik ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel (Table) 2. Jumlah dan karakteristik sampel pohon yang digunakan untuk pembuatan persamaan alometrik (*Number and characteristic of trees sample which used for allometric equation formulation*)

No.	Lokasi (Location)	Jenis (Species)	Jumlah sampel (Sample number) (n)	Variasi dbh (Variation of dbh) (cm)	Variasi tinggi (Variation of height) (m)	Keterangan (Remarks)
1.	UNPAR	<i>Aglaia argentea</i>	1	17,4	20,86	HGP
2.	UNPAR	<i>Calophyllum pulcherrimum</i>	2	10,9-22,3	14,20-17,30	HGP
3.	UNPAR	<i>Cratoxylon arborescens</i>	10	2,6-29,0	4,80-30,30	HGP/HG ₃ /HG ₈
4.	UNPAR	<i>Diospyros dajakensis</i>	2	8,0-26,0	7,22-28,00	HGP
5.	UNPAR	<i>Endiandra</i> sp.	2	7,2-36,4	9,44-25,30	HGP/HG ₈
6.	UNPAR	<i>Ilex cymosa</i>	3	2,5-11,3	5,08-11,3	HGP/HG ₈
7.	UNPAR	<i>Lithocarpus</i> sp.	2	8,4-15,4	9,54-16,50	HGP/HG ₈
8.	UNPAR	<i>Memecylon multiflorum</i>	3	2,8-4,9	5,48-7,10	HGP/HG ₃ /HG ₈
9.	UNPAR	<i>Mezzettia parvifolia</i>	6	8,6-39,0	9,80-33,05	HGP/HG ₃ /HG ₈
10.	UNPAR	<i>Myristica villosa</i>	3	9,7-21,8	10,20-19,30	HGP/HG ₃ /HG ₈
11.	UNPAR	<i>Palaquium leiocarpum</i>	9	7,5-59,0	10,00-35,30	HGP/HG ₈
12.	UNPAR	<i>Santiria griffithii</i>	4	5,6-61,1	7,16-37,30	HGP/HG ₈
13.	UNPAR	<i>Shorea parvifolia</i>	5	14,0-66,4	13,40-35,30	HGP/HG ₈
14.	UNPAR	<i>Shorea platycarpa</i>	1	71,6	33,80	HGP
15.	UNPAR	<i>Stemonurus scorpiodes</i>	2	5,8-6,5	6,30-9,13	HGP/HG ₃
16.	UNPAR	<i>Syzigium</i> sp.	3	4,4-12,8	8,00-13,30	HGP/HG ₃ /HG ₈
17.	UNPAR	<i>Timonius</i> sp.	3	3,6-34,2	5,22-32,30	HGP/HG ₃
18.	UNPAR	<i>Tetramerista glabra</i>	5	4,8-14,0	7,98-11,20	HG ₃ /HG ₈
19.	UNPAR	<i>Combretocarpus rotundatus</i>	30	2,8-19,5	2,56-15,85	HG ₃ /HG ₈
20.	UNPAR	<i>Neoscortechinia kingii</i>	1	5,4	7,70	HG ₃
21.	UNPAR	<i>Ploirarium alternifolium</i>	1	8,4	11,30	HG ₃
22.	UNPAR	<i>Baccaurea bracteata</i>	2	2,5-10,1	4,9-12,27	HG ₈
23.	UNPAR	<i>Dactylocladus stern</i>	1	13,6	13,00	HG ₈
24.	UNPAR	<i>Gironniera nervosa</i>	1	6,9	8,54	HG ₈
25.	UNPAR	<i>Tristaniopsis stellata</i>	1	8,9	8,54	HG ₈
26.	CKPP	<i>Cratoxylon arborescens</i>	8	3,0-8,5	3,25-7,15	HG ₁
27.	CKPP	<i>Combretocarpus rotundatus</i>	8	11,3-15,3	7,37-11,35	HG ₁

Keterangan (Remarks):

HGP = hutan gambut primer (*primary peat forest*), HG₁ = hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (*peat forest repeatedly-burnt annually*), HG₃ = hutan gambut bekas terbakar setelah 3 tahun (*peat forest three years after fire*), HG₈ = hutan gambut bekas terbakar setelah 8 tahun (*peat forest eight years after fire*)

3. Analisis Cadangan Karbon Vegetasi pada Hutan Gambut Bekas Kebakaran dan Hutan Gambut Primer

Pengukuran biomassa dilakukan berdasarkan bagian-bagian pohon, yaitu batang, cabang, ranting, dan daun, dengan tahapan kegiatan sebagai berikut:

- a. *Destructive sampling* dilakukan terhadap 33 pohon contoh di hutan gambut primer, 16 pohon contoh di hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun, 35 pohon contoh di hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun, dan 35 pohon contoh di hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun.
- b. Sebelum ditebang, dilakukan pengukuran diameter batang dan tinggi pohon total.
- c. Setiap bagian pohon yang telah ditebang yakni batang, cabang, ranting, bunga, buah, dan daun dipisahkan dan ditimbang untuk mengetahui berat biomassa segarnya (kg).
- d. Pada setiap bagian pohon (batang, cabang, ranting, bunga, buah, dan daun) diambil sampel sebesar 250 g untuk diukur berat keringnya di laboratorium.
- e. Sampel ranting, bunga, buah, dan daun dikeringkan dengan oven pada suhu 85°C selama 48 jam; sedangkan sampel batang dan cabang dikeringkan selama 96 jam pada suhu yang sama (JIFPRO, 2000).
- f. Penghitungan berat kering total biomassa (JIFPRO, 2000):

$$B_s = \frac{B_{ks} \times B_{bt}}{B_{bs}}$$

Keterangan:

B_s = berat kering total biomassa (kg), B_{ks} = berat kering sampel biomassa (g); B_{bt} = berat basah total biomassa (kg); B_{bs} = berat basah sampel biomassa (g).

- g. Analisis kandungan karbon tanaman (analisis jaringan tanaman di laboratorium) dengan menggunakan metode *Walkley & Black* (JIFPRO, 2000), yaitu metode analisis C organik dengan

menggunakan pendekatan pembakaran dan titrasi.

Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dilakukan sebagai berikut (JIFPRO, 2000; USDA, 2005):

- a. Membuat empat sub-plot (2 m x 2 m) untuk *destructive sampling*. Empat sub-plot tersebut terletak di dalam tiap plot lingkaran untuk sensus pohon.
- b. Memotong semua tumbuhan bawah (herba dan semai kecil), tidak termasuk akar.
- c. Menimbang seluruh berat basah tumbuhan bawah.
- d. Setelah pengukuran berat basah total, mengambil sampel tumbuhan bawah sebanyak 250 g untuk pengukuran berat kering dan kandungan karbon di laboratorium.

Pengukuran nekromas dilakukan dalam subplot bujursangkar dengan ukuran 2 m x 2 m untuk nekromas dbh ≤ 10 cm dan subplot lingkaran dengan ukuran radius 7,32 m untuk nekromas dbh > 10 cm (Gambar 2). Tahapan pengukuran biomassa nekromas dilakukan sebagai berikut (JIFPRO, 2000; USDA, 2005):

- a. Mengidentifikasi tunggak-tunggak kayu yang masih berdiri, tunggak-tunggak kayu yang sudah roboh, dan ranting-ranting ataupun cabang di lantai hutan.
- b. Menghitung volume kayu berdiri dengan mengukur dbh dan panjang kayu berdiri.
- c. Menimbang kayu yang sudah roboh, ranting, dan cabang untuk mengetahui biomasanya. Ambil contoh nekromas sebanyak 250 g untuk penimbangan berat kering nekromas.

Jika tidak ditemukan nekromassa dalam plot pengamatan dengan batasan diameter yang telah ditentukan, maka tidak dilakukan pengukuran nekromassa.

Tahapan pengukuran biomassa serasah dilakukan sebagai berikut:

- a. Membuat empat sub-plot (2 m x 2 m) untuk pengukuran serasah. Empat sub-

- plot tersebut terletak di dalam tiap plot lingkaran untuk sensus.
- Mengambil semua serasah dalam plot 2 m x 2 m.
 - Menimbang seluruh berat basah serasah.
 - Setelah pengukuran berat basah total, mengambil sampel serasah sebanyak 250 g untuk pengukuran berat kering dan kandungan karbon.
 - Mengering-ovenkan sampel serasah pada suhu 85°C selama 48 jam.
 - Menimbang berat kering serasah.

Untuk menghitung kadar karbon, maka dilakukan konversi dari biomassa ke dalam bentuk karbon. Biomassa tersebut dikalikan dengan faktor konversi hasil analisis karbon organik dari laboratorium. $C = B \times \text{hasil analisis karbon organik dari laboratorium}$, di mana C: Jumlah cadangan karbon (ton/ha), B: Biomassa total tegakan (ton/ha).

Untuk mengetahui kandungan karbondioksida, maka hasil perhitungan karbon (C) di atas dikonversikan ke dalam bentuk CO₂ dengan menggunakan persamaan: $CO_2 = (Mr. CO_2 / Ar. C) \times \text{kandungan C}$, atau $CO_2 = 3,67 \times \text{kandungan C}$, di mana Mr. CO₂: Berat molekul relatif senyawa CO₂ (44), Ar. C: Berat molekul relatif atom C (12).

Biomassa tegakan diperoleh dengan mengalikan biomassa per pohon (ton/pohon) dengan kerapatan tegakan (pohon/ha) sehingga diperoleh biomassa tegakan (ton/ha).

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Office Excel* (2003) dan *software statistik* versi 9.0 (SAS Institute, 1995). Analisis uji beda nyata nilai tengah cadangan karbon organik vegetasi di antara klaster plot yang diukur dengan ulangan sebanyak empat ulangan (empat subplot pada masing-masing klaster) dengan menggunakan Uji Tukey. Uji beda nyata nilai tengah tersebut diuji dengan hipotesis sebagai berikut: $H_0: \tau_1 = \dots = \tau_4 = 0$ (perlakuan tidak

berpengaruh terhadap respon yang diamati), H_1 : paling sedikit ada satu i di mana $\tau_i \neq 0$. Jika nilai F_{hitung} lebih besar dari $F_{\alpha, db1, db2}$ maka hipotesis H_0 ditolak dan hipotesis H_1 diterima (Mattjik & Sumertajaya, 2002).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Formulasi Persamaan Alometrik Pendugaan Biomassa Karbon pada Hutan Gambut Bekas Kebakaran dan Hutan Gambut Primer

Pada persamaan alometrik pohon penduga biomassa total di atas permukaan tanah (Lampiran 1), diperoleh persamaan alometrik terbaik untuk HG₃, HG₈, dan HGP serta seluruh klaster, yaitu persamaan yang menggunakan parameter diameter setinggi dada (DBH), kerapatan jenis kayu (ρ), dan tinggi pohon total (T). Jenis-jenis yang diambil sebagai contoh dalam *destructive sampling* di hutan gambut primer yaitu *Ilex cymosa*, *Memecylon multiflorum*, *Stemonurus scorpiodes*, *Diospyros dajakensis*, *Calophyllum pulcherrimum*, *Syzigium* sp., *Lithocarpus* sp., *Aglaia argentea*, *Mezzettia parvifolia*, *Myristica villosa*, *Palaquium leiocarpum*, *Shorea parvifolia*, *Timonius* sp., *Cratoxylon arborescens*, *Endiandra* sp., *Santiria griffithii*, *Palaquium rostratum*, dan *Shorea platycarpa*. Jenis-jenis yang diambil sebagai contoh dalam *destructive sampling* di hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun yaitu *C. arborescens* dan *Combretocarpus rotundatus*. Jenis-jenis yang diambil sebagai contoh dalam *destructive sampling* di hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun yaitu *C. arborescens*, *C. rotundatus*, *Timonius* sp., *Syzigium* sp., *Memecylon multiflorum*, *Neoscortechinia kingii*, *Stemonurus scorpiodes*, *Ploirarium alternifolium*, *M. parvifolia*, *M. villosa*, dan *Tetramerista glabra*. Jenis-jenis yang diambil sebagai contoh dalam *destructive sampling* di hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun yaitu *C. arborescens*, *C. rotundatus*, *Baccaurea bracteata*, *Memecylon*

sp., *I. cymosa*, *T. glabra*, *Myristica iners*, *Santiria laevigata*, *Syzigium* sp., *Gironniera nervosa*, *Endiandra* sp., *Palaquium rostratum*, *Lithocarpus* sp., *Tristaniopsis stellata*, *M. parvifolia*, *M. villosa*, *Dactylocladus stern*, dan *Shorea parvifolia*.

Pada HG₁, persamaan alometrik terbaik diperoleh pada persamaan yang hanya menggunakan DBH saja. Hal ini disebabkan oleh hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (HG₁) memiliki kondisi tegakan yang relatif seragam (tinggi dan kerapatan jenis kayunya) sehingga cukup didekati dengan parameter DBH saja. Persamaan alometrik terbaik tersebut didasarkan pada kriteria uji nilai koefisien determinasi (R^2) yang paling besar serta nilai rerata simpangan (*mean error*), AIC, dan sisaan galat baku (*residual standard error*) yang paling kecil. Untuk melihat kualitas dari persamaan yang diperoleh, maka persamaan alometrik terpilih dibandingkan dengan dua persamaan lainnya yang umum digunakan yaitu persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et al.* (2005) dan Ketterings *et al.* (2001) serta dibandingkan juga dengan persamaan alometrik khusus untuk hutan gambut yang telah dikembangkan oleh Jaya *et al.* (2007). Berdasarkan perbandingan keempat persamaan tersebut diperoleh hasil bahwa persamaan lokal terpilih hasil penelitian ini memiliki nilai rerata simpangan yang paling kecil sebesar 18,67% dengan nilai koefisien determinasi sebesar 98,2%. Persamaan alometrik oleh Jaya *et al.* (2007) menghasilkan nilai simpangan paling besar yaitu 26,75% meskipun memiliki nilai koefisien determinasi yang tinggi yaitu 90%. Persamaan alometrik oleh Ketterings *et al.* (2001) menghasilkan nilai simpangan yang hampir sama dengan persamaan lokal terpilih tetapi memiliki nilai koefisien determinasi yang lebih kecil dari persamaan alometrik terpilih (Tabel 3). Implikasinya adalah persamaan alometrik lokal terpilih yang dihasilkan dari penelitian ini dan persamaan Ketterings dapat digunakan untuk pendugaan

biomassa total di hutan gambut. Persamaan Ketterings tersebut mendekati persamaan alometrik terpilih disebabkan oleh lokasi pembuatan *destructive sampling* dilaksanakan di hutan sekunder campuran di Sepunggur, Muara Bungo, Jambi dengan curah hujan tahunan sebesar 3.000 mm/tahun (Ketterings *et al.*, 2001). Kondisi tersebut sama dengan kondisi lokasi dibangunnya persamaan alometrik penelitian ini yang didominasi oleh hutan gambut akibat kebakaran dengan curah hujan tahunan berkisar 2.621-3.339 mm/tahun yang termasuk dalam zona iklim *moist* 1.500-4.000 mm/tahun (Brown *et al.*, 1989).

Secara umum, biomassa tiap pohon pada tegakan di hutan gambut mengalami penambahan sesuai dengan penambahan diameternya. Semakin besar diameter suatu pohon, maka biomassa yang terkandung pada pohon tersebut semakin besar. Penambahan biomassa dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis. Tumbuhan menyerap CO₂ dari udara dan mengkonversinya menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis. Kondisi ini dapat terjadi karena adanya proses fotosintesis pada setiap tumbuhan. Proses fotosintesis dapat terjadi karena adanya spektrum cahaya matahari yang diserap oleh tumbuhan (Campbell *et al.*, 2002).

Hasil fotosintesis ini kemudian digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan ke arah horisontal dan vertikal. Oleh karena itu, biomassa pohon dapat diduga melalui persamaan alometrik dengan menggunakan DBH pohon yang merupakan salah satu bentuk pertumbuhan pohon ke arah horisontal. Oleh karena itu, semakin besarnya diameter terjadi disebabkan adanya penyimpanan biomassa hasil konversi CO₂ yang semakin bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya CO₂ yang diserap pohon tersebut. Secara umum hutan dengan *net growth* (terutama pohon-pohon yang sedang berada dalam fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak CO₂, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan

Tabel (Table) 3. Perbandingan antara persamaan alometrik lokal terpilih penduga biomassa pohon total dengan persamaan alometrik Chave *et al.* (2005), Ketterings *et al.* (2001), dan Jaya *et al.* (2007) (*Comparison of the selected allometric equation for estimating total tree biomass with allometric equations of Chave et al. (2005), Ketterings et al. (2001), and Jaya et al. (2007)*)

Persamaan alometrik (Allometric equation)	Bentuk persamaan (Equation)	Nilai R ² (R ² value)	Rerata simpangan (Mean deviation) (%)	Kisaran diameter (Diameter range) (cm)	Lokasi (Location)
Lokal terpilih (Selected local)	$Y = 0,061 (DBH \times T)^{1,464}$	0,982	18,67	2,5-71,6	Hampangin dan Kalamangan (Kalimantan Tengah); Curah hujan 2.621-3.339 mm/tahun
Chave <i>et al.</i> (2005)	$Y = 0,0509 \times \rho \times DBH^2 \times T$	0,989	20,13	5,0-156,0	Balikpapan dan Sebuku (Kalimantan Timur); Curah hujan 1.500-3.500 mm/tahun
Ketterings <i>et al.</i> (2001)	$Y = 0,11 \times \rho \times DBH^{2,62}$	0,980	18,68	8,0-48,0	Muaro Bungo (Jambi); Curah hujan 3.000 mm/tahun
Jaya <i>et al.</i> (2007)	$Y = 0,1066 (DBH^2)^{1,243}$	0,900	26,75	2,0-30,0	Eks proyek lahan gambut/PLG (Kalimantan Tengah); Curah hujan 2.500-3.000 mm/tahun

yang kecil menahan dan menyimpan persediaan karbon tetapi tidak dapat menyerap CO₂ ekstra (Retnowati, 1998).

Persamaan alometrik diperoleh setelah memasukkan semua data biomassa hasil pengukuran ke dalam grafik yang kemudian diregresikan dengan *Power Regression Type*, yang dikenal dengan *Power Function*. *Power Function* mengambil bentuk persamaan $y = ax^b$, dengan a dan b merupakan konstanta. Metode persamaan alometrik merupakan metode yang menghubungkan antar parameter organ tanaman secara eksponensial maupun logaritmik dalam suatu hubungan yang harmonis dan proporsional. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk membuat hubungan antara diameter batang pohon dengan parameter lainnya seperti volume kayu, biomassa pohon maupun cadangan karbon dari pohon yang masih berdiri (Purwanto dan Kurniasari, 2009).

Penggunaan *Power Function* ini disebabkan pertumbuhan suatu pohon tidak

selalu linier dan tidak selalu eksponensial. Pada awal pertumbuhan, suatu tumbuhan akan mengalami fase logaritmik dalam waktu yang cukup singkat. Pada fase logaritmik, tumbuhan tumbuh sangat cepat, kemudian ia akan memasuki fase linier sehingga pertumbuhannya terlihat agak konstan. Setelah fase linier, maka ia akan memasuki fase stationer. Pada fase stationer ini, tidak terlihat penambahan biomassa secara signifikan pada tumbuhan hingga akhirnya mengalami kematian.

B. Analisis Cadangan Karbon Vegetasi pada Hutan Gambut Bekas Kebakaran dan Hutan Gambut Primer

Tabel 4 menunjukkan nilai fraksi karbon (C) organik bagian daun, cabang, ranting, batang, semai, tumbuhan bawah, serasah, dan nekromas. Dalam penelitian ini, nilai fraksi C organik didasarkan pada

hasil analisis laboratorium dan bukan didasarkan pada nilai *default value* 0,5. Berdasarkan hasil analisis kandungan karbon organik diperoleh hasil bahwa bagian tanaman ranting, cabang, batang, semai/tumbuhan bawah, serasah, dan nekromas memiliki nilai fraksi C yang hampir sama dan tidak jauh berbeda yaitu berkisar antara 40,42-47,76%. Sementara itu, bagian daun tanaman memiliki nilai rerata kandungan karbon organik yang lebih rendah dari bagian lainnya yaitu sebesar 36,44%. Hal ini disebabkan bagian daun tanaman berbeda-beda menyerap karbon tergantung dari ukuran daun, tebal daun, dan jumlah stomata (Campbell *et al.*, 2002). Secara keseluruhan, jika semua kandungan karbon organik pada semua bagian pohon dirata-rata tertimbang maka diperoleh nilai fraksi C sebesar 45,29%. Nilai fraksi C ini lebih kecil daripada nilai fraksi C *default value* yang digunakan oleh Brown (1997) dan IPCC (2006) masing-masing sebesar 50% dan 47%. Konsekuensi nilai fraksi karbon organik pohon yang lebih kecil dari Brown (1997) dan IPCC (2006) adalah bahwa cadangan karbon vegetasi akan lebih kecil dan nilai emisi karbon vegetasi juga akan semakin turun.

Cadangan karbon di hutan lahan gambut di daerah *temperate* bervariasi antara 1-70 ton C/ha (Dyck & Shay, 1999; Grigal *et al.*, 1985). Cadangan karbon di atas permukaan tanah gambut di Indonesia berkisar antara 150-200 tonC/ha (Agus & Subiksa, 2008). Fakta tersebut mengindikasikan bahwa cadangan

karbon vegetasi hutan gambut di tropis khususnya di Indonesia sangatlah besar jika dibandingkan dengan hutan gambut di *temperate*. Biomassa vegetasi pada lahan gambut terbuka berkisar antara 0,7-4 tonC/ha (Moore *et al.*, 2002). Pada lahan gambut terbuka, vegetasi yang mendominasi adalah herba, *bryophytes*, dan tumbuhan bawah. Produktivitas biomassa vegetasi lahan gambut sangat dipengaruhi oleh tinggi muka air pada lahan gambut (Moore *et al.*, 2002; Chapin *et al.*, 2004). Dalam keadaan alami, hutan gambut berfungsi sebagai penambat (*sequester*) karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer, walaupun proses penambatan berjalan sangat pelan setinggi 0-3 mm gambut per tahun (Parish *et al.*, 2007) atau setara dengan penambatan 0-5,4 t CO₂/ha/tahun (Agus, 2007). Apabila hutan gambut ditebang dan didrainase, maka karbon tersimpan pada gambut mudah teroksidasi menjadi gas CO₂ (salah satu gas rumah kaca terpenting). Selain itu lahan gambut juga mudah mengalami penurunan permukaan (subsiden) apabila hutan gambut dibuka. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dan perencanaan yang matang apabila akan mengkonversi hutan gambut. Perencanaan harus mengacu pada hasil studi yang mendalam mengenai karakteristik gambut setempat dan dampaknya bila hutan gambut dikonversi.

Cadangan karbon hasil penelitian ini (Tabel 5) lebih kecil daripada cadangan karbon yang dilaporkan oleh studi lainnya (Tabel 6) (Jaya *et al.*, 2000; Waldes

Tabel (Table) 4. Fraksi C organik bagian daun, cabang, ranting, batang, semai, tumbuhan bawah, serasah, dan nekromas (*C organic fraction of leaf, branch, twig, stem, seedling, understory, litter, and necromass*)

Bagian (Part)	Rerata (Mean) (%)	Jumlah sampel (Number of samples) (n)
Pohon (<i>Trees</i>):		
Daun (<i>Leaf</i>)	36,44 ± 11,34	106
Ranting (<i>Twig</i>)	46,24 ± 3,73	106
Cabang (<i>Branch</i>)	44,90 ± 4,39	106
Batang (<i>Stem</i>)	45,58 ± 4,27	106
Semai dan tumbuhan bawah (<i>Seedling and understory</i>)	41,01 ± 5,60	128
Serasah (<i>Litter</i>)	40,42 ± 3,46	4
Nekromas (<i>Necromass</i>)	47,76 ± 3,88	51

Tabel (Table) 5. Cadangan karbon vegetasi (jumlah total tingkat tumbuhan bawah, semai, pancang, tiang, dan pohon) pada masing-masing klaster plot hutan gambut (*Vegetation carbon stocks (total number from understorey, seedling, sapling, pole, and tree) at each cluster of peat forest plot*)

Klaster (<i>Cluster</i>)	Biomassa (<i>Biomass</i>) (ton/ha)	Cadangan C (<i>C Stock</i>) (ton/ha)	Serapan CO ₂ (<i>CO₂ Sequestration</i>) (ton/ha)
Hutan gambut primer (<i>Primary peat forest</i>)	(169,90 ± 40,58) a*	(73,08 ± 18,17) a*	(267,97 ± 66,63) a*
Hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (<i>Repeated-burnt peat forest</i>)	(11,60 ± 5,61) c	(4,93 ± 2,51) c	(18,08 ± 9,21) c
Hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun (<i>Three years after burning peat forest</i>)	(32,32 ± 5,37) bc	(13,64 ± 2,27) bc	(50,03 ± 8,31) bc
Hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun (<i>Eight years after burning peat forest</i>)	(60,62 ± 7,44) b	(26,13 ± 3,19) b	(95,81 ± 11,69) b
Nilai peluang (<i>Probability value</i>)	0,0001	0,0001	0,0001

Keterangan (*Remarks*):

*Angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 1% menurut uji nilai tengah Tukey (*Number followed by the same letter showing not significantly different at 1% level according to the Tukey mean test*)

Tabel (Table) 6. Beberapa hasil penelitian biomassa dan C tersimpan pada vegetasi di lahan gambut/biomassa di atas permukaan (*Several of research results of vegetation biomass and carbon stock in peatland/above ground biomass*)

Studi (<i>Study</i>)	Lokasi (<i>Location</i>)	Tipe hutan (<i>Forest type</i>)	Biomassa (<i>Biomass</i>) (ton/ha)	C tersimpan (<i>Carbon stock</i>) (ton/ha)
Jaya <i>et al.</i> (2005)	Kalteng	Rawa gambut alam	583	268,18
Waldes & Page (2002)	DAS Sebangau, Kalteng	Rawa gambut campuran	312	143,52
Kaneko (1992)	Thailand	Hutan gambut	287-491	132,02-225,86

Sumber (*Source*): Jaya *et al.* (2007)

& Page, 2002; Kaneko, 1992; Jaya *et al.*, 2007). Di tempat lain dilaporkan bahwa total cadangan karbon di hutan alam gambut di Kabupaten Pelalawan, Riau sebesar 126,01 ton/ha pada hutan bekas tebangan dan 83,49 ton/ha pada hutan sekunder (Rochmayanto, 2008).

Brown (1997) melaporkan hasil studinya tentang cadangan biomassa vegetasi di atas permukaan pada beberapa daerah tropis kering. Di hutan primer Kamerun (Afrika) tercatat biomassa atas permukaan sebesar 310 ton/ha dengan cadangan karbon sebesar 155 ton/ha. Di hutan sekunder Nikaragua (Amerika) dilaporkan biomassa atas permukaan sebesar 183 ton/ha dan cadangan karbon sebesar 91,5 ton/ha. Di Malaysia, pada hutan rawa tercatat cadangan biomassa atas permukaan

sebesar 220 ton/ha dengan cadangan karbon sebesar 110 ton/ha. Rata-rata cadangan karbon hutan gambut pada biomassa hidup di wilayah Asia Selatan dan Asia Tenggara sebesar 77 ton/ha (FAO, 2006). Adanya variasi berbagai laporan tersebut dapat diduga sebagai akibat perbedaan ekosistem dan tingkat gangguan yang terjadi pada masing-masing tipe ekosistem hutan gambut tersebut.

Pada HGP, cadangan karbon pada tingkat pohon memberikan proporsi terbesar, yaitu 63,61% dan hal ini disebabkan oleh banyaknya dominansi pohon di HGP sebagaimana terlihat dari jumlah individu berdasarkan sebaran kelas diameter. Pada HG₁, cadangan karbon pada tingkat tumbuhan bawah serta pancang-tiang memberikan proporsi terbesar,

Tabel (Table) 7. Proporsi cadangan karbon pada masing-masing *pool* karbon terhadap keseluruhan *pool* karbon (*Proportion of carbon stock at each carbon pool compared to the whole carbon pools*)

Klaster (<i>Cluster</i>)	<i>Pool</i> karbon (<i>Carbon pool</i>)	Cadangan C (<i>C Stock</i>) (ton/ha)	Proporsi (<i>Proportion</i>) (%)
Hutan gambut primer (<i>Primary peat forest</i>)	Tumbuhan bawah (<i>Understorey</i>)	0,28	0,31
	Semai (<i>Seedling</i>)	2,20	2,48
	Pancang dan tiang (<i>Sapling and pole</i>)	14,20	16,01
	Pohon (<i>Tree</i>)	56,41	63,61
	Serasah (<i>Litter</i>)	1,16	1,31
	Nekromas (<i>Necromass</i>) ≤ 10 cm	1,92	2,16
	Nekromas (<i>Necromass</i>) > 10 cm	12,52	14,12
	Total	88,69	100,00
Hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun (<i>Repeated-burnt forest</i>)	Tumbuhan bawah (<i>Understorey</i>)	2,53	32,19
	Semai (<i>Seedling</i>)	0,03	0,32
	Pancang dan tiang (<i>Sapling and pole</i>)	2,38	30,31
	Pohon (<i>Tree</i>)	0,00	0,00
	Serasah (<i>Litter</i>)	1,52	19,35
	Nekromas (<i>Necromass</i>) ≤ 10 cm	0,84	10,69
	Nekromas (<i>Necromass</i>) > 10 cm	0,56	7,14
	Total	7,85	100,00
Hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun (<i>Three years after burning peat forest</i>)	Tumbuhan bawah (<i>Understorey</i>)	0,54	2,44
	Semai (<i>Seedling</i>)	0,40	1,80
	Pancang dan tiang (<i>Sapling and pole</i>)	12,70	57,36
	Pohon (<i>Tree</i>)	0,00	0,00
	Serasah (<i>Litter</i>)	2,18	9,85
	Nekromas (<i>Necromass</i>) ≤ 10 cm	3,55	16,04
	Nekromas (<i>Necromass</i>) > 10 cm	2,77	12,51
	Total	22,15	100,00
Hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun (<i>Eight years after burning peat forest</i>)	Tumbuhan bawah (<i>Understorey</i>)	0,34	1,00
	Semai (<i>Seedling</i>)	1,34	3,98
	Pancang dan tiang (<i>Sapling and pole</i>)	24,45	72,55
	Pohon (<i>Tree</i>)	0,00	0,00
	Serasah (<i>Litter</i>)	2,95	8,76
	Nekromas (<i>Necromass</i>) ≤ 10 cm	2,27	6,72
	Nekromas (<i>Necromass</i>) > 10 cm	2,36	6,99
	Total	33,71	100,00

masing-masing sebesar 32,19% dan 30,31%. Pada HG₃, cadangan karbon pada tingkat pancang-tiang memberikan proporsi paling besar, yaitu 57,36%. Sementara itu pada HG₈, proporsi terbesar adalah pada pancang-tiang sebesar 72,55%. Semai memberikan proporsi berkisar antara 0,32-3,98% pada keseluruhan klaster (Tabel 7). Dengan demikian, proporsi cadangan karbon berbeda-beda tergantung pada tingkat gangguan kebakaran yang terjadi pada hutan gambut. Pada hutan gambut bekas kebakaran, proporsi terbesar semua didominasi oleh tingkat pancang-tiang yaitu ukuran diameter 2,5-

19,9 cm. Sementara itu, di hutan gambut primer didominasi oleh proporsi pohon dengan ukuran diameter > 19,9 cm.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Analisis dan hasil penelitian yang telah diuraikan sebelumnya memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Persamaan alometrik di hutan gambut sangat spesifik dan tergantung pada tingkat gangguan yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk

menduga biomassa total di atas permukaan tanah pada keseluruhan klas-ter, maka persamaan alometrik umum yang paling tepat adalah $Y = 0,061 (DBH \times \rho \times T)^{1,464}$. Persamaan alometrik terpilih penduga biomassa total di atas permukaan tanah untuk hutan gambut primer adalah $Y = 0,040 (DBH \times \rho \times T)^{1,524}$; untuk hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun adalah $Y = 0,098 (DBH)^{2,350}$; untuk hutan gambut bekas terbakar setelah tiga tahun adalah $Y = 0,084 (DBH \times \rho \times T)^{1,376}$; untuk hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun adalah $Y = 0,024 (DBH \times \rho \times T)^{1,667}$.

2. Cadangan karbon total di atas permukaan tanah pada tumbuhan bawah, semai, pancang-tiang, dan pohon dari hutan gambut yang terbakar berulang tiap tahun sampai dengan hutan gambut bekas terbakar setelah delapan tahun memiliki tren atau kecenderungan meningkat.

B. Saran

Persamaan alometrik yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk mengkuantifikasi cadangan karbon vegetasi hutan gambut dalam rangka mendukung kebijakan penurunan emisi karbondioksida sebesar 26% di mana 14% di antaranya berasal dari sektor kehutanan. Persamaan alometrik hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung kebijakan Peraturan Presiden No. 71 tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Para pemegang ijin usaha kehutanan dapat menggunakan persamaan alometrik tersebut untuk menghitung cadangan karbon vegetasi hutan gambut pada areal-areal hutan yang menjadi wilayah konsesinya. Para peneliti dan akademisi lainnya dapat melakukan validasi persamaan alometrik pada beberapa hutan gambut bekas kebakaran lainnya sehingga akan didapatkan nilai ketepatan model persamaan yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya disampaikan kepada Kepala Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi yang telah mendanai penelitian ini sampai dengan selesai bersumber dari dana rutin penelitian. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Dr. Aswin Usup selaku Direktur Hutan Penelitian Universitas Palangkaraya yang telah memberikan ijin dan memfasilitasi untuk kelancaran penelitian. Apresiasi sangat tinggi disampaikan kepada anggota Dewan Redaksi yang telah mencurahkan waktunya untuk mencermati dan mengoreksi naskah ini. Penghargaan setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Syafruddin Hk., Iskandar, Haddy Sudiana, Ridwan, dan Usman Sopian yang telah banyak membantu selama melakukan kegiatan penelitian di lapangan maupun analisis laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. (2007). Potensi dan emisi karbon di lahan gambut. *Bunga Rampai Konservasi Tanah dan Air, Seminar MKTI-2 Tahun 2007*. Bogor: MKTI.
- Agus, F., & Subiksa, I G.M. (2008). *Lahan gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Bechtold, W., Tkacz, B., & Riitters, K. (2007). *The historical background, framework and application of forest health monitoring in the United States*. International Symposium on Forest Health Monitoring. Seoul.
- Brown, S., Gillespie, A.J.R., & Lugo, A.E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical

- forests: a primer UN FAO. *Forestry Paper 134*, pp 55. Diakses 10 Oktober 2011 dari <http://www.fao.org/docrep/W4095E/W4095E00.htm>
- Campbell, N.A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (2002). *Biologi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chapin, C.T., Bridgham, S.D., & Pastor, J. (2004). pH and nutrient effects on aboveground net primary productivity in Minnesota, USA. *Wetlands 24*, 186-201.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia 145*, 87-99.
- Ciptadi, Usup, A., Uda, S.K., Corlett, R., Rosa, M.P., & Afentina. (2010). Baseline study for preparation of REDD implementation at educational forest of Palangkaraya University. *Bahan presentasi pada 2nd International Workshop on Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia 28th-29th September 2010*. Palangkaraya.
- Duncan, B.N., Bey, I., Chin, M., Mickley, L.J., Fairlie, T.D., Martin, R.V., & Matsueda, H. (2003). Indonesian wild- fires of 1997: Impact on tropospheric chemistry. *Journal of Geophysical Research 108* (D15), 4458.
- Dyck, B.S., & Shay, J. (1999). Biomass and carbon pool of two bogs in the experimental lakes area, Canada. *Can. J. Bot. 77*, 291-304.
- [FAO] Food and Agricultural Organization. (2006). *Global forest resources assessment 2005*. Diakses 12 September 2011 dari www.fao.org/forestry/fra2005.
- Grigal, D.F., Buttleman, C.G., & Kernik, L.K. (1985). Biomass and productivity of the woody strata of forested bogs in northern Minnesota. *Can. J. Bot. 63*, 2416-2424.
- Heil, A., Langmann, B., & Aldrian, E. (2007). Indonesian peat and vegetation fire emissions: Factors influencing large-scale smoke-haze dispersion. *Mitigation and Adaptation Strategy for Global Change 12*(1), pp. 113-133.
- [IFCA] Indonesian Forest Climate Alliance. (2008). *Reducing emissions from deforestation and degradation in Indonesia*. (Consolidation Report).
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IGES, Japan: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Jaya A., Page, S.E., Rieley, J.O., Limin, S., & Boehm, H.D.V. (2000). Impact of forest fire on carbon storage in tropical peatlands. Dalam L. Rochefort & J.Y. Daigle (Eds.). *Sustaining our peatlands* (pp. 106-113). *Proceedings of the 11th International Peat Congress, Québec City, Canada*.
- Jaya, A., Siregar, U.J., Daryono, H., & Suhartana, S. (2007). Biomasa hutan rawa gambut tropika pada berbagai kondisi penutupan lahan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam IV*(4), 341-352.
- [JIFPRO] Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center. (2000). *Manual of biomass measurements in plantation and in regenerated vegetation*. Japan: Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center.
- Kaneko, N. (1992). Comparison of forest structure of tropical peat swamp forests in Southern Thailand and Malaysia. Dalam K. Kyuma, P. Vijarnsorn, & A. Zakaria (Eds.). *Coastal Lowland Ecosystems in Southern Thailand and Malaysia*.

- Ketterings, M. Q., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C.A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equation for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forest. *Forest Ecology and Management* 146, 199-209.
- Levine, J.S. (1999). The 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia: gaseous and particulate emissions. *Geophysical Research Letters* 26, 815-818.
- Mattjik, A.A., & Sumertajaya, M. (2002). *Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab* (Jilid I). Bogor: IPB Press.
- Moore, T.R., Bubier, J.L., Frohling, S.E., Lafleur, P.M., & Roulet, N.T. (2002). Plant biomass and CO₂ exchange in an ombrotrophic. *J. Ecol.* 90, 25-36.
- Page, S.E., Siegert, F., Rieley, J.O., Böhm, H.D.V., Jaya, A., & Limin, S. (2002). The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420, 61-65.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silviu, M., & Stringer, L. (Eds.). (2007). *Assessment on peatlands, biodiversity and climate change* (Main Report). Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Purwanto, R.H., & Kurniasari, D.A. (2009). Potensi kayu perkakas dan kayu bakar jenis jati (*Tectona grandis*) di hutan rakyat Desa Natah, Gunung Kidul. *Jurnal Ilmu Kehutanan* III(2).
- Retnowati, E. (1998). Kontribusi hutan tanaman *Eucalyptus grandis* Maiden sebagai rosoot karbon di Tapanuli Utara. *Buletin Penelitian Hutan* 611, 1-9.
- Rochmayanto, Y. (2008). *Analisis biaya manfaat REDD*. (Laporan Hasil Penelitian). Kuok: Balai Penelitian Kehutanan.
- SAS Institute. (1995). *SAS user's guide : statistics version 6th ed.* Cary, NC: SAS Inst.
- [USDA] United States Department of Agriculture. (2005). *Forest inventory and analysis national core field guide*. (Volume 1: Field data collection procedures for phase 2 plots). Diakses 20 Oktober 2011 dari <http://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/>.
- Van der Werf, G. R., Dempewolf, J., Trigg, S. N, Randerson, J. T, Kasibhatla, P. S, Giglio, L, Murdiyarso, D, Peters, W, Morton, D. C, Collatz, G. J, Dolman, A. J., & DeFries, R. S. (2007). Climate regulation of fire emissions and deforestation in equatorial Asia. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*.
- Waldes, N., & Page, S.E. (2002). Forest structure and tree diversity of a peat swamp forest in Central Kalimantan, Indonesia. In Rieley, J.O. & Page, S.E. (Eds.), *Peatlands for people, natural resources function, and sustainable management* (pp. 16-22). Jakarta: BPPT dan Indonesian Peat Association.

Lampiran (Appendix) 1. Persamaan alometrik penduga biomassa pohon total dan karbon total di atas permukaan tanah pada tiap lokasi penelitian (*Allometric equation for estimating total above ground biomass and total above ground carbon estimation at each research location*)

Klaster (<i>Cluster</i>)	Persamaan biomassa pohon total (<i>Total tree biomass equation</i>) (kg)					Persamaan karbon total (<i>Total carbon equation</i>) (kg)			Keterangan (<i>Remarks</i>)
	Alometrik (<i>Allometric</i>)	R ²	Rerata simpangan (<i>Mean error</i>) (%)	Kriteria informasi akaike (<i>Akaike information criterion</i>) (AIC)	Sisaan galat baku (<i>Residual standard error</i>) (RSE)	Allometrik (<i>Allometric</i>)	R ²	Rerata simpangan (<i>Mean error</i>) (%)	
Hutan gambut primer, n = 33 pohon contoh (<i>Primary peat forest, n = 33 sample trees</i>)	Y=0,102X ^{2,559}	0,982	21,57	400,60	407,00	Y=0,037X ^{2,612}	0,978	24,85	X = DBH
	Y=0,351X ^{2,410}	0,965	30,82	409,17	463,43	Y=0,131X ^{2,460}	0,960	35,06	X = DBH x ρ
	Y=0,019X ^{1,563}	0,983	22,98	402,60	419,51	Y=0,006X ^{1,597}	0,981	29,23	X = DBH x T
	Y=0,040X ^{1,524}	0,984	21,62	395,74	378,11	Y=0,014X ^{1,558}	0,982	22,79	X = DBH x ρ x T
Hutan gambut bekas terbakar berulang tiap tahun, n = 16 pohon contoh (<i>Repeated-burnt peat forest, n = 16 trees samples</i>)	Y=0,098X ^{2,350}	0,977	16,20	55,72	5,03	Y=0,036X ^{2,426}	0,977	16,40	X = DBH
	Y=0,214X ^{2,656}	0,955	22,06	70,90	8,09	Y=0,082X ^{2,737}	0,952	23,58	X = DBH x ρ
	Y=0,046X ^{1,418}	0,973	17,43	66,32	7,01	Y=0,016X ^{1,465}	0,974	17,60	X = DBH x T
	Y=0,069X ^{1,521}	0,958	21,07	58,33	5,46	Y=0,025X ^{1,569}	0,957	21,81	X = DBH x ρ x T
Hutan gambut bekas terbakar setelah 3 tahun, n = 35 pohon contoh (<i>Three years after burning peat forest, n = 35 trees samples</i>)	Y=0,069X ^{2,602}	0,951	24,83	182,44	12,79	Y=0,027X ^{2,617}	0,955	25,44	X = DBH
	Y=0,374X ^{2,325}	0,966	20,90	182,78	12,86	Y=0,152X ^{2,338}	0,969	20,38	X = DBH x ρ
	Y=0,030X ^{1,463}	0,967	20,55	175,77	11,63	Y=0,012X ^{1,466}	0,964	21,44	X = DBH x T
	Y=0,084X ^{1,376}	0,978	17,20	170,49	10,78	Y=0,035X ^{1,379}	0,975	18,70	X = DBH x ρ x T
Hutan gambut bekas terbakar setelah 8 tahun, n = 35 pohon contoh (<i>Eight years after burning peat forest, n = 35 trees samples</i>)	Y=0,091X ^{2,501}	0,943	22,61	192,24	14,72	Y=0,042X ^{2,479}	0,944	22,21	X = DBH
	Y=0,276X ^{2,522}	0,956	24,62	193,22	14,92	Y=0,129X ^{2,491}	0,951	25,52	X = DBH x ρ
	Y=0,015X ^{1,604}	0,944	22,76	173,47	11,26	Y=0,007X ^{1,592}	0,948	21,92	X = DBH x T
	Y=0,024X ^{1,667}	0,985	14,80	157,09	8,91	Y=0,011X ^{1,651}	0,984	15,22	X = DBH x ρ x T
Seluruh klaster, n = 119 pohon contoh (<i>whole cluster, n = 119 trees samples</i>)	Y=0,064X ^{2,657}	0,975	21,30	1.350,13	285,99	Y=0,026X ^{2,677}	0,975	22,23	X = DBH
	Y=0,312X ^{2,444}	0,978	24,60	1.355,62	292,66	Y=0,130X ^{2,461}	0,976	26,14	X = DBH x ρ
	Y=0,023X ^{1,535}	0,979	20,93	1.304,24	235,83	Y=0,009X ^{1,547}	0,979	22,55	X = DBH x T
	Y=0,061X ^{1,464}	0,982	18,67	1.290,59	222,69	Y=0,025X ^{1,475}	0,981	19,63	X = DBH x ρ x T

Keterangan (*Remarks*):

Y : biomassa total/karbon total (*total biomass/total carbon*) (kg), R² : koefisien determinasi (*determination coefficient*), DBH : diameter setinggi dada (*diameter at breast height*) (cm), ρ : kerapatan jenis kayu (*wood density*) (g/cm³), T : tinggi pohon total (*total tree height*) (m), n : jumlah pohon contoh (*number of sample trees*)