

## Estimasi Simpanan Karbon Total dalam Tanah dan Vegetasi Hutan Gambut Tropika di Indonesia

### *Estimation of Total Carbon Stocks in Soil and Vegetation of Tropical Peat Forest in Indonesia*

Ujang Suwarna<sup>1\*</sup>, Elias<sup>1</sup>, Dudung Darusman<sup>1</sup>, dan Istomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor,  
Jalan Lingkar Akademik, Kampus IPB Dramaga PO Box 168, Bogor 16680, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor,  
Jalan Lingkar Akademik, Kampus IPB Dramaga PO Box 168, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 29 Februari 2012/Disetujui 7 Juni 2012

#### **Abstract**

*The study was conducted in the forest concession area of PT. Diamond Raya Timber, Riau Province, Indonesia. Measurement and calculation carbon stocks in soil and vegetation of tropical peat forest should be done accurately to anticipate carbon trading. The objective of the study is to estimate carbon stocks in soil and vegetation in 4 forest conditions. The study found that biomass and carbon stocks in the soil was 8 times higher than in the vegetation in primary forest condition, and 10 times in logged over forest and secondary forest condition. Carbon stocks in vegetation and soil were 189.45 ton C ha<sup>-1</sup> and 1537.37 ton C ha<sup>-1</sup> in primary forest, 161.76 ton C ha<sup>-1</sup>, and 1713.77 ton C ha<sup>-1</sup> in logged over area, 139.05 ton C ha<sup>-1</sup> and 1486.39 ton C ha<sup>-1</sup> in secondary forest, and 43.09 ton C ha<sup>-1</sup> and 1205.59 ton C ha<sup>-1</sup> in degraded forest. Allocation of carbon stocks in the standing trees in primary forest, logged over area, secondary forest, and degraded forest were 70, 60, 62, and 7% respectively.*

*Keywords: tropical peat forest, carbon stocks, biomass, necromass, peat soil*

#### **Abstrak**

*Penelitian dilaksanakan di areal hutan konsesi PT. Diamond Raya Timber, Provinsi Riau, Indonesia. Dalam kerangka mengantisipasi mekanisme perdagangan karbon perlu dilakukan pengukuran dan penghitungan simpanan karbon tanah dan vegetasi hutan alam gambut tropika secara akurat. Penelitian bertujuan menduga simpanan karbon tanah dan vegetasi hutan alam gambut tropika pada 4 kondisi hutan gambut. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa cadangan biomassa dan karbon tersimpan pada tanah di hutan primer sebesar 8 kali lipat lebih besar daripada tumbuhan, sedangkan di hutan bekas tebangan dan di hutan sekunder mencapai 10 kali lipat. Simpanan karbon pada tumbuhan dan tanah gambut masing-masing sebesar 189,45 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.537,37 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan primer, 161,76 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.713,77 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan bekas tebangan, 139,05 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.486,39 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan sekunder, dan 43,09 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.205,59 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan terdegradasi. Penyebaran simpanan karbon pada pohon dan permudaan di hutan primer, hutan bekas tebangan, hutan sekunder, dan hutan terdegradasi berturut-turut sebesar 70, 60, 62, dan 7%.*

*Kata kunci: hutan gambut tropika, simpanan karbon, biomassa, nekromassa, tanah gambut*

*\*Penulis untuk korespondensi, email: usuwarn@yahoo.com, telp. +62-8128902974*

## Pendahuluan

Berdasarkan data Kementerian Kehutanan tahun 2006, Indonesia memiliki total lahan gambut seluas 21 juta ha, terdiri dari lahan gambut tidak berhutan seluas 9 juta ha (43%) dan lahan gambut berhutan seluas 12 juta ha (57%) (BAPPENAS 2009). Lahan gambut yang masih berhutan tersebut harus dikelola secara benar dengan menerapkan prinsip pengelolaan hutan lestari (PHL) untuk mengurangi terjadinya deforestasi (penyusutan luas hutan gambut) dan degradasi (penyusutan produktivitas hutan gambut) yang kemungkinan disebabkan antara lain oleh kegiatan pemanenan hutan yang tidak ramah lingkungan dan kegiatan konversi hutan alam gambut menjadi berbagai penggunaan lahan lain.

Dalam konteks perdagangan karbon dengan skema REDD (*Reducing Emission from Deforestation and Degradation of Forest*), hutan alam gambut tropika Indonesia memiliki peranan penting sebagai penyimpan karbon baik dalam tanah maupun vegetasi hutan. Apabila simpanan karbon tersebut dikelola secara benar dengan prinsip pengelolaan hutan lestari (PHL), maka Indonesia akan mampu menghambat terjadinya emisi CO<sub>2</sub> dari hutan alam gambut tropika. Daryono (2009) menyarankan bahwa strategi pengelolaan hutan gambut yang dapat dilakukan antara lain keberadaan hutan gambut yang ada harus tetap dijaga dari kerusakan dan pemanfaatan lahan gambut harus memberikan dampak positif terhadap pengembangan ekonomi dan sosial.

Indonesia perlu mempersiapkan segala sesuatunya terhadap kemungkinan terjadinya mekanisme perdagangan karbon, salah satunya dengan cara melakukan pengukuran dan penghitungan secara akurat terhadap simpanan karbon total di tanah dan vegetasi hutan alam gambut tropika, disertai metodologi dan landasan ilmiah yang teruji. Penelitian ini bertujuan menduga simpanan karbon total di tanah dan vegetasi hutan alam gambut tropika pada 4 kondisi hutan gambut, yaitu hutan primer, hutan bekas tebangan, hutan sekunder, dan hutan terdegradasi.

## Metode

Penelitian lapangan dilaksanakan pada bulan Juni–Agustus tahun 2011 pada 4 kondisi hutan gambut alam tropika di areal konsesi atau izin usaha pemanfaatan hasil hutan kayu hutan alam produksi (IUPHHK-HA) PT. Diamond Raya Timber, Dumai, Provinsi Riau. Kondisi hutan alam gambut primer didefinisikan sebagai hutan alam gambut yang belum banyak mengalami gangguan dan memiliki tajuk hutan yang masih rapat. Kondisi hutan gambut bekas tebangan didefinisikan sebagai hutan yang telah mengalami aktivitas pemanenan hutan, namun masih memiliki potensi vegetasi yang tinggi (tajuk masih rapat). Kondisi hutan gambut sekunder didefinisikan sebagai hutan bekas tebangan yang telah mengalami gangguan lebih lanjut sehingga potensinya menurun dan telah menunjukkan adanya jenis-jenis pionir yang berbeda dengan jenis alami sebelumnya. Kondisi hutan gambut terdegradasi didefinisikan sebagai hutan sekunder

yang telah mengalami gangguan lebih lanjut sehingga potensinya sangat sedikit dan hanya berupa semak, tumbuhan bawah atau tanah kosong.

Objek penelitian yang diukur meliputi komunitas tumbuhan (pohon, tiang, pancang, semai, semak, herba, dan tumbuhan bawah), *necromass* (pohon mati berdiri, pohon mati rebah, dan tunggak) berdasarkan tingkat dekomposisi (lapuk, setengah lapuk, dan tidak lapuk), serasah (kasar/segar dan halus/lapuk), contoh bagian pohon (batang, cabang, rating, daun, dan akar), dan contoh tanah gambut setiap kedalaman 1 m.

Luas total petak contoh penelitian (PCP) sebesar 8 ha, terdiri dari 2 PCP hutan primer, 2 PCP hutan bekas tebangan, 2 PCP hutan sekunder, dan 2 PCP hutan terdegradasi. Setiap PCP berbentuk bujur sangkar berukuran 100 × 100 m (1 ha). Dimensi tumbuhan, struktur tegakan, dan komposisi jenis pada setiap PCP diukur melalui analisis vegetasi dengan metode jalur berpetak. Setiap PCP dibagi menjadi sub petak dengan metode *nested sampling* yang terdiri dari sub petak 20 × 20 m untuk pengamatan *necromass* (berdiameter > 10 cm) dan pohon (berdiameter > 20 cm), sub petak 10 × 10 m untuk tiang (berdiameter 10–20 cm), sub petak 5 × 5 m untuk pancang, semak, dan herba, sub petak 2 × 2 m untuk semai dan tumbuhan bawah, dan sub petak 1 × 1 m untuk serasah dan tanah gambut. Data hasil analisis vegetasi digunakan untuk menghitung indeks nilai penting (INP), jumlah jenis, kerapatan, dan penyebarannya. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan keterwakilan pengambilan contoh biomassa. Pendugaan biomassa hutan sangat berguna untuk menilai struktur dan kondisi hutan serta produktivitas hutan (Navar 2009).

Metode tidak langsung untuk pendugaan biomassa pohon berdiameter ≥ 5 cm dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik lokal yang disusun dalam penelitian ini dengan cara menebang pohon contoh berdiameter ≥ 5 cm yang mewakili kelas diameter dan kelompok jenis dominan. Pohon contoh (74 pohon) diambil dari PCP hutan sekunder (61 pohon) dan dari hutan bekas tebangan (13 pohon). Metode pengukuran dan pengumpulan data pohon contoh mengikuti tahapan kerja yang telah dijelaskan oleh Elias & Wistara (2009), sedangkan metode pengambilan contoh uji setiap bagian pohon contoh di lapangan mengikuti cara yang diterapkan oleh Elias & Wistara (2010).

Pengambilan contoh akar dari setiap pohon contoh yang ditebang dilakukan dengan cara menggali akar dari dalam tanah setelah pohon contoh direbahkan. Penggalan akar dari pohon contoh berdiameter kecil (< 20 cm) dilakukan secara manual menggunakan tenaga manusia, sedangkan penggalan akar dari pohon contoh besar (> 20 cm) dilakukan secara mekanis dengan menggunakan tenaga mesin (*logfisher*).

Metode langsung untuk pendugaan biomassa semak, herba, tumbuhan bawah, dan semai dilakukan dengan cara memanen dan menimbang berat basah nya. Peubah yang diukur di lapangan adalah berat basah total biomassa (*Wb*), sedangkan peubah yang diukur di laboratorium terhadap contoh uji adalah berat basah contoh uji (*Bbc*), berat kering contoh uji (*Bkc*), kadar air, berat jenis, kadar zat terbang, kadar abu, dan kadar karbon. Penghitungan biomassa dan massa karbon dengan metode langsung menggunakan

rumus [1]:

$$Wk = Fk \times Wb \quad [1]$$

$$Fk = (Bkc/Bbc) \times 100\% \quad [2]$$

keterangan:

*Fk* = faktor konversi dari bobot basah biomassa ke bobot kering biomassa

*Bbc* = berat basah contoh uji (g)

*Bkc* = berat kering contoh uji (g)

*Wb* = berat basah total biomassa (kg)

*Wk* = berat kering oven total biomassa (kg)

*Necromass* merupakan batang pohon yang sudah mati baik yang masih tegak/pohon mati berdiri, pohon mati rebah/tumbang, maupun tunggak pohon. Tingkat dekomposisi *necromass* dibedakan menjadi 3 kelas dekomposisi, yaitu lapuk, setengah lapuk, dan tidak lapuk. Contoh *necromass* diambil sebanyak 3 ulangan dari 3 tingkat dekomposisi dan 10 jenis dominan *necromass* untuk diuji kerapatan kayunya ( $\text{g cm}^{-3}$ ) dan kadar karbonnya (% C) di laboratorium.

Contoh uji dari 74 pohon contoh yang ditebang diambil sebanyak 3 ulangan dari setiap bagian pohon contoh (batang, cabang, ranting, daun, dan akar). Jumlah total contoh dari pohon contoh yang ditebang adalah 1.110 contoh. Contoh uji dari semai, semak, herba, dan tumbuhan bawah diambil sebanyak 3 ulangan dari 8 PCP. Jumlah total contoh dari semai, semak, herba, dan tumbuhan bawah adalah 96 contoh. Contoh uji dari serasah diambil sebanyak 3 ulangan dari setiap kelas serasah (serasah halus/lapuk dan serasah kasar/segar) dari 8 PCP. Jumlah total contoh dari serasah adalah 48. Contoh uji dari 10 jenis dominan *necromass* (kayu mati) diambil sebanyak 3 ulangan dari setiap kelas dekomposisi (tidak lapuk, setengah lapuk, dan lapuk). Jumlah total contoh dari *necromass* adalah 90. Contoh uji dari tanah gambut diambil sebanyak 3 ulangan dari setiap kedalaman gambut 1 meter dari 8 PCP. Jumlah total contoh dari tanah gambut adalah 66. Dengan demikian, total contoh yang diuji kadar karbonnya di laboratorium dalam penelitian ini adalah 1.410 contoh.

Penentuan kerapatan kayu menggunakan ASTM D 2395-97a (ASTM 2008b). Kerapatan kayu ( $\text{g cm}^{-3}$ ) merupakan pembagian antara berat kering tanur contoh uji dengan volume contoh uji kondisi basah. Penentuan kadar air (KA) kayu menggunakan ASTM D 4442-07 (ASTM 2008a). Penurunan berat contoh uji (*bbc*–*bkc*) yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanur (*bkc*) merupakan kadar air contoh uji. Persen kadar air (% KA) yang diperoleh dari masing-masing contoh digunakan untuk menghitung berat kering oven biomassa total. Penentuan kadar zat terbang (KZT) menggunakan ASTM D 5832-98 (ASTM 1990b). Selisih berat awal dan berat akhir yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering contoh uji merupakan kadar zat terbang dalam persen. Penentuan kadar zat abu (KZA) menggunakan ASTM D 2866-94 (ASTM 1990a). Berat akhir abu yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanur contoh uji merupakan kadar abu contoh uji dalam persen. Penentuan kadar karbon (%C) menggunakan SNI 06-3730-1995 (BSN 1995). Penentuan kadar karbon tetap bahan yang telah diarsangkan menggubakan persamaan [3].

$$KK = 1 - KZT - KZA \quad [3]$$

keterangan:

*KK* = kadar karbon (%)

*KZT* = kadar zat terbang (%)

*KZA* = kadar zat abu (%)

Penghitungan biomassa dan massa karbon dan metode tidak langsung untuk pohon  $\geq 5$  cm menggunakan persamaan alometrik lokal penduga biomassa dan massa karbon pohon yang dibuat dalam penelitian ini berdasarkan hubungan antara diameter pohon setinggi dada (*D*) dan biomassa pohon (biomassa =  $aD^b$ ), dan berdasarkan hubungan antara diameter pohon setinggi dada (*D*) dengan massa karbon pohon (massa karbon =  $aD^b$ ). Persamaan alometrik lokal diperoleh melalui metode pemanenan pohon contoh berdiameter 5–63 cm sebanyak 74 pohon yang mewakili 7 kelas diameter dan 18 jenis dominan di lokasi penelitian. Model tersebut dibangun dari 52 pohon contoh (70% dari total pohon contoh) yang mewakili 7 kelas diameter dan 16 jenis dominan. Model divalidasi dengan menggunakan 22 pohon contoh (30% dari total pohon contoh) yang mewakili 7 kelas diameter dan 12 jenis dominan.

Metode pendugaan cadangan karbon tanah gambut mengacu pada Murdiyarso *et al.* (2004). Karbon gambut dapat dihitung berdasarkan volume gambut pada luasan tertentu dan klasifikasi tingkat kematangan gambut. Volume gambut dihitung dengan mengalikan ketebalan gambut dan luasan lahan gambut. Bobot isi dan persen C organik (% C-organik) dari contoh tanah gambut ditentukan di laboratorium Fakultas Pertanian IPB. Contoh tanah ditimbang di laboratorium untuk mendapatkan berat basah contoh tanah (*bbc*). Contoh tanah tersebut dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C sampai konstan untuk mendapatkan berat kering contoh tanah (*bkc*). Berat kering contoh tanah (g) dibagi dengan volume contoh tanah ( $\text{cm}^3$ ) untuk mendapatkan bobot isi tanah gambut ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Sebagian contoh tanah kering tersebut dihancurkan menjadi tepung untuk mendapatkan data kadar abu melalui pembakaran dalam tanur dan selanjutnya dilakukan analisis % C-organik di laboratorium. Penghitungan simpanan karbon tanah gambut menggunakan rumus [4]:

$$KC = BADC \quad [4]$$

keterangan:

*KC* = simpanan karbon tanah gambut ( $\text{ton C ha}^{-1}$ )

*B* = bobot isi (*bulk density*\_BD) tanah gambut ( $\text{g cc}^{-1}$  atau  $\text{ton m}^{-3}$ )

*A* = luas tanah gambut ( $\text{m}^2$ )

*D* = ketebalan gambut (m)

*C* = kadar karbon tanah gambut (% C-organik)

## Hasil dan Pembahasan

**Komposisi jenis dan struktur tegakan hutan gambut tropika** Berdasar hasil analisis vegetasi diketahui bahwa jumlah seluruh jenis pohon dan permudaan per ha di 4 kondisi tutupan hutan gambut adalah sebanyak 42 jenis. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Istomo (2006) bahwa jumlah seluruh jenis pohon dan permudaan per ha di hutan gambut alam primer adalah

permudaan per ha di hutan gambut alam primer adalah 45 jenis. Tabel 1 menunjukkan semakin tinggi tingkat degradasi hutan maka semakin menurun jumlah pohon dan permudaan per ha. Tabel 1 juga memperlihatkan kecenderungan bahwa semakin tinggi tingkat permudaan (dari semai hingga pohon) maka semakin tinggi jumlah jenis yang ditemukan per ha. Hal ini tidak terjadi pada kondisi hutan gambut yang telah terdegradasi.

Tabel 2 mengindikasikan bahwa perubahan tutupan hutan gambut menyebabkan perubahan dominasi jenis pohon dan permudaan. Pada tingkat permudaan semai, pancang, dan tiang di semua kondisi hutan gambut didominasi oleh 1 jenis komersial yaitu balam (*Palaquium obovatum*) dan banyak jenis kurang komersial seperti pasir-pasir (*Uranda*

*secundiflora*), darah-darah (*Knema cinerea*), dan jambu-jambu (*Eugenia* sp.). Pada tingkat permudaan pohon di kondisi hutan gambut primer didominasi oleh jenis-jenis komersial seperti balam, meranti batu (*Shorea uliginosa*), dan punak (*Tetramerista glabra*). Pada kondisi hutan gambut bekas tebangan dan hutan sekunder, permudaan tingkat pohon hanya didominasi oleh balam. Hal ini sesuai dengan Istomo (2006) yang menemukan bahwa jenis dominan pada tingkat permudaan pohon di hutan gambut alam primer adalah balam, meranti batu, dan ramin (*Gonystylus bancanus*).

**Biomassa di hutan gambut tropika** Model persamaan alometrik pendugaan biomassa pohon disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1 Komposisi jenis untuk setiap tingkat pertumbuhan pohon pada setiap kondisi tutupan hutan gambut

Kondisi hutan	Tebal gambut (cm)	Jumlah jenis per ha				Jumlah batang per ha			
		Semai	Pancang	Tiang	Pohon	Semai	Pancang	Tiang	Pohon
Hutan primer	230 dan 480	23	21	28	33	8600	1240	588	245
Hutan bekas tebangan	280 dan 460	23	21	26	28	7350	1128	738	202
Hutan sekunder	200 dan 320	27	20	26	33	5450	624	250	182
Hutan terdegradasi	100 dan 330	16	13	7	0	2850	312	18	0

Tabel 2 Jenis dominan urutan INP (indeks nilai penting) ketiga terbesar untuk setiap tingkat pertumbuhan pohon pada setiap kondisi tutupan hutan gambut

Kondisi hutan	Tingkat pertumbuhan							
	Semai		Pancang		Tiang		Pohon	
	Jenis	INP (%)	Jenis	INP (%)	Jenis	INP (%)	Jenis	INP (%)
Hutan primer	<i>Urandra secundiflora</i>	26,82	<i>Palaquium obovatum</i>	66,46	<i>Eugenia</i> sp.	37,46	<i>Shorea uliginosa</i>	34,52
	<i>Palaquium obovatum</i>	25,07	<i>Eugenia</i> sp.	51,16	<i>Urandra secundiflora</i>	36,96	<i>Palaquium obovatum</i>	31,91
	<i>Mangifera parvifolia</i>	20,99	<i>Ilex bogoriensis</i>	37,58	<i>Palaquium obovatum</i>	35,39	<i>Tetramerista glabra</i>	24,04
Hutan bekas tebangan	<i>Urandra secundiflora</i>	31,29	<i>Eugenia</i> sp.	41,31	<i>Gardenia resinifera</i>	35,63	<i>Parastemon urophyllum</i>	33,01
	<i>Eugenia</i> sp.	25,85	<i>Palaquium obovatum</i>	32,83	<i>Ilex bogoriensis</i>	28,64	<i>Palaquium obovatum</i>	30,38
	<i>Parastemon urophyllum</i>	17,69	<i>Ilex bogoriensis</i>	30,62	<i>Lindera subumbelliflora</i>	27,99	<i>Knema cinerea</i>	29,49
Hutan sekunder	<i>Knema cinerea</i>	22,02	<i>Eugenia</i> sp.	63,76	<i>Urandra secundiflora</i>	50,16	<i>Palaquium obovatum</i>	41,94
	<i>Urandra secundiflora</i>	22,02	<i>Gardenia resinifera</i>	39,35	<i>Knema cinerea</i>	36,64	<i>Knema cinerea</i>	38,66
	<i>Palaquium obovatum</i>	18,35	<i>Knema cinerea</i>	33,79	<i>Palaquium obovatum</i>	31,67	<i>Eugenia</i> sp.	27,75
Hutan terdegradasi	<i>Gardenia resinifera</i>	31,86	<i>Dillenia excelsa</i>	64,85	<i>Shorea uliginosa</i>	64,85	-	-
	<i>Knema cinerea</i>	28,32	<i>Knema cinerea</i>	53,64	<i>Eugenia</i> sp.	53,64	-	-
	<i>Palaquium obovatum</i>	21,24	<i>Lindera subumbelliflora</i>	36,08	<i>Mangifera parvifolia</i>	36,08	-	-



Model persamaan alometrik pendugaan biomassa di atas permukaan tanah untuk pohon berdiameter 563 cm di lokasi penelitian ini berupa  $W = 0,204 D^{2,393}$  dengan nilai  $R^2 = 97\%$  (Tabel 3). Model tersebut selaras dengan model pangkat untuk pendugaan biomassa zona lembap yang diusulkan Brown (1997) adalah  $W = 0,118D^{2,53}$  dengan nilai  $R^2 = 97\%$ . Ducey *et al.* (2009) menyatakan hal sejalan bahwa model persamaan alometrik penduga biomassa di atas permukaan tanah yang sesuai untuk hutan alam hujan tropika Amazon bagian Timur adalah model  $TAGB = aDBH^b$ . Basuki *et al.* (2009) menyatakan hal berbeda bahwa model persamaan alometrik penduga biomassa di atas permukaan tanah yang sesuai untuk hutan Dipterokarpa campuran di hutan alam hujan tropika Kalimantan Tengah, Indonesia adalah model  $\ln(TAGB) = c + a\ln(DBH)$ . Chave *et al.* (2005) menyatakan bahwa faktor penting untuk menduga biomassa pohon di atas permukaan tanah adalah diameter batang setinggi dada, tinggi total pohon, berat jenis kayu, dan tipe hutan. Persamaan alometrik penduga berat kering pohon berdiameter > 5 cm yang diusulkan Ketterings *et al.* (2001) adalah  $W = 0,11bj D^{2,60}$ . Menurut Djomo *et al.* (2010), model penduga biomassa atas permukaan untuk jenis campuran dengan hanya menggunakan variabel diameter pohon setinggi dada memberikan galat rata-rata 7,4% sedangkan dengan menggunakan 3 peubah secara bersamaan (diameter, tinggi, dan kerapatan kayu) memberikan galat rata-rata 3,4%.

Model persamaan alometrik pendugaan biomassa akar pohon berdiameter 563 cm di lokasi penelitian ini adalah  $W = 0,064 D^{2,252}$  dengan nilai  $R^2 = 89\%$  (Tabel 3). Model tersebut selaras dengan model pangkat yang digunakan oleh Niiyama *et al.* (2010) untuk menduga biomassa akar pohon di hutan alam dataran rendah di Pasoh Malaysia, yaitu  $W = 0,02186 D^{2,487}$ . Brassard *et al.* (2011) membuktikan bahwa model hubungan  $D$  dengan  $W$  memiliki nilai  $R^2$  yang lebih tinggi daripada model hubungan  $D$  dan  $H$  dengan  $W$ . Menurut Finer *et al.* (2010), faktor lingkungan dan faktor tegakan hutan belum dapat menjelaskan secara nyata adanya variasi dalam biomassa akar halus, kecuali faktor luas bidang dasar pohon.

Pendekatan paling sederhana untuk menduga biomassa akar adalah memakai konstanta rasio akar pucuk ( $R/S$  ratio). Walaupun rasio  $R/S$  bervariasi menurut tapak dan umur tegakan, kisaran nilai rasio  $R/S$  dapat ditentukan dari

berbagai literatur ilmiah. Nilai rata-rata rasio  $R/S$  dalam penelitian ini adalah 0,33 untuk biomassa dan 0,27 untuk massa karbon. Hal senada disampaikan oleh rasio  $R/S$  biomassa *Acacia crassicarpa* adalah 0,22 dengan faktor konversi sebesar 52 % dari biomassa ke karbon (Chen *et al.* 2011). Ratio antara biomassa bawah permukaan (akar pohon) dengan biomassa atas permukaan (batang, cabang, ranting, dan daun) adalah sebesar 0,18 (Niiyama *et al.* 2010). Peichl & Arain (2007) menyatakan bahwa rasio  $R/S$  pohon *Pinus strobus* L. di Kanada adalah 0,32 pada umur tegakan 2 tahun, 0,24 pada umur 15 tahun, 0,16 pada umur 30 tahun, dan 0,22 pada umur 65 tahun. Wang *et al.* (2003) menjelaskan bahwa rasio  $R/S$  biomassa berkisar 0,09–0,67 atau rata-rata sebesar 0,27 di berbagai hutan Cina bagian utara timur.

Hasil pendugaan biomassa pohon dan permudaan, semak, herba, tumbuhan bawah, serasah, *necromass*, dan akar untuk rata-rata semua PCP pada 4 kondisi hutan gambut disajikan pada Tabel 4. Biomassa pohon dan permudaan (pohon, tiang, pancang, dan semai) di atas tanah pada penelitian ini merupakan bagian terbesar dari seluruh biomassa tumbuhan hutan rawa gambut yaitu rata-rata mencapai 57,70%. Biomassa tumbuhan non pohon (herba, semak, dan tumbuhan bawah) rata-rata 3,35%. Biomassa tumbuhan mati (serasah dan *necromass*) di lantai hutan sebesar 17,15%. Biomassa di bawah permukaan tanah yang meliputi biomassa akar seluruh jenis rata-rata sebesar 21,80%.

Tabel 5 memperlihatkan bahwa sebagian besar penelitian simpanan biomassa di hutan gambut dan di hutan tanah mineral dilakukan terhadap simpanan biomassa di atas permukaan tanah. Hal ini diduga karena pengukuran simpanan biomassa di atas permukaan tanah cenderung lebih mudah jika dibandingkan dengan biomassa di bawah permukaan tanah. Biomassa di atas permukaan tanah pada ekosistem hutan gambut menunjukkan nilai yang bervariasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan tempat tumbuh dan metode pengukuran biomassa hutan gambut. Hasil pendugaan biomassa dalam penelitian ini relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian biomassa dengan beberapa tipe hutan lain di lahan kering. Rendahnya biomassa di hutan rawa gambut sangat berkaitan dengan kondisi tempat tumbuh gambut yang jenuh air dan miskin hara.

Secara umum, hasil-hasil penelitian pada Tabel 5

Tabel 3 Model pendugaan biomassa pohon berdiameter  $\geq 5$  cm untuk hutan gambut tropika di lokasi penelitian (jumlah pohon model adalah 52 pohon)

Bagian	Model pendugaan biomassa pohon berdiameter $\geq 5$ cm	$R^2$ (%)	S
Batang	$W = 0,088D^{2,485}$	97	0,13
Cabang	$W = 0,007D^{2,710}$	77	0,28
Ranting	$W = 0,211D^{1,470}$	59	0,35
Daun	$W = 0,143D^{1,190}$	63	0,26
Akar	$W = 0,064D^{2,252}$	89	0,23
Total	$W = 0,204D^{2,393}$	97	0,13

Keterangan:  $W$  = biomassa pohon (kg);  $D$  = diameter pohon setinggi dada (cm);  $R^2$  = koefisien determinasi; S = kesalahan baku

menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat degradasi hutan maka semakin tinggi tingkat penurunan simpanan biomassa di atas permukaan tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya simpanan biomassa yang hilang akibat proses dekomposisi bahan organik mati dan proses pengeluaran biomassa keluar hutan. Pada penelitian ini, pengurangan biomassa di atas permukaan tanah pada tegakan hutan dari kondisi hutan primer menjadi kondisi hutan bekas tebangan akibat kegiatan pemanenan hutan yaitu sebesar 62 ton ha<sup>-1</sup>. Hasil penelitian Tresnawan & Rosalina (2002) menyatakan bahwa pembukaan hutan dan perubahan dalam penggunaan lahan yang disebabkan oleh kegiatan pemanenan hutan mengakibatkan pengurangan biomassa dalam jumlah yang sangat besar, yaitu ± 100 ton ha<sup>-1</sup> di hutan alam dataran rendah (lahan kering).

Sumber karbon lain yang cukup besar di hutan alam produksi adalah bahan organik mati termasuk di dalamnya serasah dan *necromass* yang memiliki tingkat dekomposisi yang berbeda-beda. Walaupun dengan penerapan pembalakan berdampak rendah *necromass* di hutan bekas tebangan di areal hutan konsesi lebih besar 50% daripada di hutan primer (Palace *et al.* 2007). Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, bahwa *necromass* yang terdapat di hutan sekunder dan di hutan bekas tebangan adalah 50% dan 100% lebih besar daripada *necromass* di

hutan primer. Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian Dymond *et al.* (2010) yang menuliskan bahwa sumber utama biomassa kayu mati di hutan Kanada yang dikelola secara lestari adalah biomassa kayu mati akibat pemanenan hutan sebesar 12,23 ton ha<sup>-1</sup> dan akibat gangguan alam sebesar 31,37 ton ha<sup>-1</sup>. Dalam penelitian ini, biomassa kayu mati akibat pemanenan hutan sebesar 40,25 ton ha<sup>-1</sup> dan akibat gangguan alam sebesar 42,25 ton ha<sup>-1</sup>.

**Simpanan karbon di hutan gambut tropika** Model persamaan alometrik pendugaan massa karbon pohon disajikan pada Tabel 6. Model persamaan alometrik pendugaan massa karbon pohon berdiameter 5–63 cm di lokasi penelitian adalah  $C = 0,087 D^{2,470}$  dengan nilai  $R^2 = 96\%$  (Tabel 6). Dalam penelitian ini, rata-rata tertimbang kadar karbon yang tersimpan dalam 74 pohon contoh adalah 55,06% dengan simpangan baku 3,85%. Hasil ini berbeda bila dibandingkan dengan pendapat para ahli terdahulu bahwa 46% dari biomassa adalah karbon (Hairiah & Rahayu 2007), dan berbeda juga dengan pernyataan Brown (1997) bahwa 50% dari biomassa adalah karbon. Hal tersebut disebabkan adanya variasi konsentrasi karbon dalam pohon yang dipengaruhi oleh jenis tumbuhan, kondisi tanah, dan

Tabel 4 Rata-rata penyebaran biomassa pada 4 kondisi hutan gambut tropika (hutan primer, HP; hutan bekas tebangan, HBT; hutan sekunder, HS; dan hutan terdegradasi, HT; masing-masing 2 ha)

No.	Penyebaran biomassa	Potensi biomassa (ton ha <sup>-1</sup> )							
		HP	%	HBT	%	HS	%	HT	%
1	Biomassa di atas permukaan (a + b)	244,41	67,26	174,72	55,51	164,20	60,80	18,99	19,44
a	Pohon dan permudaan:	231,73	63,77	169,69	53,91	149,45	55,34	5,76	5,90
	Pohon :	154,80	42,60	114,31	36,31	109,91	40,70	0,29	0,30
	Batang	122,74	33,78	90,41	28,72	87,10	32,25	0,23	0,24
	Cabang	22,07	6,07	15,95	5,07	15,55	5,76	0,04	0,04
	Ranting	7,96	2,19	6,31	2,00	5,78	2,14	0,02	0,02
	Daun	2,03	0,56	1,64	0,52	1,48	0,55	0,00	0,00
	Tiang	52,76	14,52	35,14	11,16	27,17	10,06	1,24	1,27
	Pancang	23,99	6,60	20,00	6,35	12,09	4,48	4,17	4,27
	Semai	0,18	0,05	0,24	0,08	0,28	0,10	0,06	0,06
b	Tumbuhan non pohon:	12,68	3,49	5,03	1,60	14,75	5,46	13,23	13,55
	Herba	9,55	2,63	0,01	0,00	11,38	4,21	4,96	5,08
	Semak	0,77	0,21	0,98	0,31	2,41	0,89	2,11	2,16
	Tumbuhan bawah	2,36	0,65	4,04	1,28	0,96	0,36	6,16	6,31
2	Biomassa akar di bawah permukaan	63,83	17,57	46,86	14,89	40,51	15,00	1,70	1,74
3	Biomassa tumbuhan hidup (1 + 2)	308,24	84,83	221,58	70,39	204,71	75,80	20,69	21,18
4	Biomassa tumbuhan mati di lantai hutan	55,14	15,17	93,20	29,61	65,36	24,20	76,98	78,82
a	<i>Necromass</i>	42,38	11,66	82,05	26,07	59,41	22,00	68,92	70,56
b	Serasah	12,76	3,51	11,15	3,54	5,95	2,20	8,06	8,25
5	Total biomassa tumbuhan (3 + 4)	363,38	11,75	314,78	9,38	270,07	9,38	97,67	4,31
6	Total biomassa tanah gambut	2728,62	88,25	3041,85	90,62	2608,60	90,62	2167,34	95,69
7	Total biomassa hutan gambut tropika (5 + 6)	3092,00	100	3356,63	100	2878,67	100	2265,01	100

Tabel 5 Rata-rata penyebaran biomassa (ton ha<sup>-1</sup>) pada berbagai kondisi hutan tropika

Sumber data	Kondisi hutan alam tropika	Biomassa di atas permukaan (ton ha <sup>-1</sup> )				Biomassa di bawah permukaan (ton ha <sup>-1</sup> )		Total biomassa (ton ha <sup>-1</sup> )
		Tumbuhan hidup		Tumbuhan mati		Akar	Tanah	
		Pohon dan permudaan	Tumbuhan bawah	<i>Necromass</i>	Serasah			
Istomo (2006)	Hutan gambut primer (tebal gambut 2–7m)	247,50	4,50	-	10,60	66,90	5184,30	5514,10
Istomo <i>et al.</i> (2009)	Hutan gambut primer (tebal gambut 2–7m) Riau	247,50	-	-	-	-	-	-
	Hutan gambut bekas tebangan (Kalimantan Tengah)	111,40	-	-	-	-	-	-
	Hutan gambut sekunder (Kalimantan Tengah)	65,00	-	-	-	-	-	-
	Hutan gambut lahan kosong (Kalimantan Tengah)	6,95	-	-	-	-	-	-
Ludang & Jaya (2007)	Hutan gambut primer (Kalimantan Tengah)	591,00	-	30,67	-	-	-	-
	Hutan gambut bekas tebangan (Kalimantan Tengah)	300,00	-	36,33	-	-	-	-
	Hutan gambut bekas terbakar 1 (Kalimantan Tengah)	285,00	-	59,67	-	-	-	-
Kiyono <i>et al.</i> (2010)	Hutan lahan kering primer (Kamboja) ( <i>evergreen</i> )	365,27	16,03	22,13	42,20	60,40	-	506,03
	Hutan lahan kering primer (Kamboja) ( <i>deciduous</i> )	241,30	6,77	8,87	27,50	40,13	-	324,57
	Hutan lahan kering sekunder (Kamboja)	121,43	12,37	1,77	26,40	21,87	-	183,83
Lasco <i>et al.</i> (2006)	Hutan lahan kering primer Dipterokarpa Filipina	399,00	1,90	-	5,80	-	-	-
	Hutan lahan kering bekas tebangan 1–5 tahun	191,00	1,50	-	3,80	-	-	-
	Hutan lahan kering bekas tebangan 6–20 tahun	225,67	1,10	-	4,23	-	-	-
	Hutan lahan kering bekas tebangan > 21 tahun	287,00	1,00	-	4,70	-	-	-
Baisya <i>et al.</i> (2009)	Hutan alam hujan tropika semi <i>evergreen</i> India	323,90	-	-	-	-	-	-
Cairns <i>et al.</i> (2003)	Hutan alam hujan tropika semi <i>evergreen</i> Meksiko	225,00	-	-	-	-	-	-
Chave <i>et al.</i> (2008)	Hutan alam hujan tropika Amazon bagian timur	376,67	-	-	-	-	-	-

Tabel 6 Model pendugaan massa karbon pohon berdiameter ≥ 5 cm untuk hutan gambut tropika di lokasi penelitian (jumlah pohon model adalah 52 pohon)

Bagian	Model pendugaan massa karbon pohon berdiameter ≥ 5 cm	R <sup>2</sup> (%)	S
Batang	$C = 0,049D^{2,519}$	96	0,15
Cabang	$C = 0,003D^{2,747}$	75	0,31
Ranting	$C = 0,066D^{1,528}$	59	0,37
Daun	$C = 0,042D^{1,184}$	64	0,26
Akar	$C = 0,028D^{2,240}$	87	0,25
Total	$C = 0,087D^{2,470}$	96	0,15

Keterangan: C = massa karbon pohon (kg); D = diameter pohon setinggi dada (cm); R<sup>2</sup> = koefisien determinasi; S = kesalahan baku

kondisi iklim.

Hasil pendugaan massa karbon pohon dan permudaannya, semak, herba, tumbuhan bawah, serasah, *necromass* dan akar untuk rata-rata semua PCP pada 4 kondisi hutan gambut disajikan pada Tabel 7. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa karbon pohon dan permudaan adalah sebesar 133,43 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan primer, 97,19 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan bekas tebangan, dan 86,43 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan sekunder. Tabel 8 memperlihatkan adanya variasi hasil pendugaan simpanan karbon pada tumbuhan dan tanah hutan. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh faktor lingkungan tempat tumbuh, faktor tegakan hutan, dan perbedaan metode pengukuran, dan penghitungan biomassa dan kadar karbon.

Lasco (2002) menyatakan bahwa aktivitas pemanenan hutan berperan dalam menurunkan cadangan karbon di atas permukaan tanah minimal 50%. Hal tersebut tidak sesuai dengan data hasil penelitian ini bahwa penurunan cadangan karbon di atas permukaan tanah dari hutan primer ke hutan bekas tebangan mencapai 27%, dari hutan primer ke hutan sekunder mencapai 35%, dan dari hutan primer ke hutan yang telah terdegradasi mencapai 98%. Selain itu, Lasco *et al.*

(2006) menyebutkan bahwa hutan primer lahan kering Filipina memiliki simpanan karbon 258,30 ton C ha<sup>-1</sup> terdiri dari 66% sebagai karbon atas permukaan dan 34% sebagai karbon organik tanah. Hutan bekas tebangan menyimpan karbon atas permukaan sebesar 183 ton C ha<sup>-1</sup> lebih kecil daripada di hutan primer. Hutan produksi menghasilkan 40% kayu bulat dan sisanya (60%) merupakan limbah kayu akibat pemanenan hutan.

Pada penelitian ini, total biomassa dan simpanan karbon di hutan gambut tropika terdiri dari biomassa dan karbon tumbuhan sebesar 8% serta biomassa dan karbon tanah gambut sebesar 92% pada kedalaman 15 meter. Penelitian Istomo (2006) menunjukkan nilai rata-rata biomassa total 5.514,10 ton ha<sup>-1</sup>, terdiri dari 6% biomassa tumbuhan dan 94% biomassa tanah gambut pada kedalaman 27 m. Hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa simpanan karbon pada tanah gambut sangat besar jika dibandingkan dengan simpanan karbon pada tumbuhan.

Total simpanan karbon di hutan gambut tropika pada penelitian ini berkisar antara 1.249 ton C ha<sup>-1</sup> sampai 1.727 ton C ha<sup>-1</sup> pada ketebalan gambut 15 meter. Total simpanan

Tabel 7 Rata-rata penyebaran massa karbon pada 4 kondisi hutan gambut tropika (hutan primer, HP; hutan bekas tebangan, HBT; hutan sekunder, HS; dan hutan terdegradasi, HT; masing-masing 2 ha)

Penyebaran massa karbon	Potensi simpanan karbon (ton C ha <sup>-1</sup> )							
	HP	%	HBT	%	HS	%	HT	%
Massa karbon di atas permukaan (a + b)	137,81	72,74	98,87	61,12	91,17	65,57	7,08	16,43
a Pohon dan permudaan:	133,43	70,43	97,19	60,08	86,43	62,16	2,96	6,87
Pohon:	91,73	48,42	67,43	41,69	65,04	46,77	0,17	0,39
Batang	77,28	40,79	56,76	35,09	54,78	39,40	0,14	0,32
Cabang	10,82	5,71	7,79	4,82	7,62	5,48	0,02	0,05
Ranting	3,05	1,61	2,41	1,49	2,21	1,59	0,01	0,02
Daun	0,58	0,31	0,47	0,29	0,43	0,31	0,00	0,00
Tiang	29,30	15,47	19,46	12,03	15,09	10,85	0,68	1,58
Pancang	12,34	6,51	10,22	6,32	6,20	4,46	2,10	4,87
Semai	0,06	0,03	0,08	0,05	0,10	0,07	0,01	0,02
b Tumbuhan non pohon:	4,38	2,31	1,68	1,04	4,74	3,41	4,12	9,56
Herba	3,31	1,75	0,01	0,01	3,47	2,50	1,62	3,76
Semak	0,28	0,15	0,36	0,22	0,91	0,65	0,67	1,55
Tumbuhan bawah	0,79	0,42	1,31	0,81	0,36	0,26	1,83	4,25
Massa karbon akar di bawah permukaan	27,85	14,70	20,41	12,62	17,72	12,74	0,73	1,69
Massa karbon tumbuhan hidup (1 + 2)	165,66	87,44	119,28	73,74	108,89	78,31	7,81	18,12
Massa karbon tumbuhan mati di lantai hutan	23,79	12,56	42,48	26,26	30,16	21,69	35,28	81,88
a <i>Necromass</i>	19,79	10,45	38,75	23,96	28,02	20,15	32,43	75,26
b Serasah	4,00	2,11	3,73	2,31	2,14	1,54	2,85	6,61
Total massa karbon tumbuhan (3 + 4)	189,45	10,97	161,76	8,62	139,05	8,55	43,09	3,45
Total massa karbon tanah gambut	1537,37	89,03	1713,77	91,38	1486,39	91,45	1205,59	96,55
Total massa karbon hutan gambut tropika (5 + 6)	1726,82	100	1875,53	100	1625,44	100	1248,68	100



Tabel 8 Rata-rata penyebaran massa karbon (ton C ha<sup>-1</sup>) pada berbagai kondisi hutan tropika

Sumber data	Kondisi hutan alam tropika	Massa karbon di atas permukaan (ton C ha <sup>-1</sup> )				Massa karbon di bawah permukaan (ton C ha <sup>-1</sup> )		Total massa karbon (ton C ha <sup>-1</sup> )
		Tumbuhan hidup		Tumbuhan mati		Akar	Tanah	
		Pohon dan permudaan	Tumbuhan bawah	Necromass	Serasah			
Ludang & Jaya (2007)	Hutan gambut primer (Kalimantan Tengah)	351,33	-	17,33	-	-	-	-
	Hutan gambut bekas tebangan (Kalimantan Tengah)	173,33	-	16,33	-	-	-	-
	Hutan gambut bekas terbakar 1 kali (Kalimantan Tengah)	143,33	-	34,00	-	-	-	-
Lasco <i>et al.</i> (2006)	Hutan lahan kering primer Dipterokarpa Filipina	190,00	0,90	-	2,60	-	64,80	258,30
	Hutan lahan kering bekas tebangan 1–5 tahun	91,00	0,70	-	1,60	-	89,70	183,00
	Hutan lahan kering bekas tebangan 6–20 tahun	107,33	0,47	-	1,67	-	60,00	169,47
	Hutan lahan kering bekas tebangan > 21 tahun	136,00	0,40	-	1,80	-	60,10	198,30
Cuesta <i>et al.</i> (2011)	Hutan lahan kering montana primer (Peru)	69,20	-	23,10	-	14,80	54,10	161,20
	Hutan lahan kering montana bekas terbakar (Peru)	45,50	-	56,40	-	-	5,80	107,70
Djomo <i>et al.</i> (2010)	Hutan lahan kering lembap Kamerun (hutan konservasi)	171,00	3,80	2,50	-	41,00	60,00	278,30
	Hutan lahan kering lembap Kamerun (hutan produksi)	152,00	3,90	7,20	-	37,00	83,00	283,10
	Hutan lahan kering lembap Kamerun (hutan agroforestri)	141,00	2,70	2,20	-	34,00	51,00	230,90

karbon di hutan lahan kering tropika primer berkisar antara 169.258 ton C ha<sup>-1</sup> (Lasco *et al.* 2006), 107.161 ton C ha<sup>-1</sup> (Cuesta *et al.* 2011), 228.383 ton C ha<sup>-1</sup> (Sierra *et al.* 2007), dan 230.283 ton C ha<sup>-1</sup> (Djomo *et al.* 2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa hutan gambut tropika (lahan basah) menyimpan karbon 10 kali daripada hutan tropika lahan kering. Faktor utama yang menentukan besarnya simpanan karbon di hutan gambut adalah besarnya jumlah karbon yang tersimpan pada biomassa tanah gambut yang memiliki ketebalan gambut 15 m. Dengan demikian, hutan gambut tropika memiliki simpanan karbon terbesar di antara tipe hutan lainnya. Menurut Tomlinson (2005), simpanan karbon tanah gambut di hutan Irlandia mengalami penurunan dari 2.048 ton C ha<sup>-1</sup> tahun 1990 menjadi 2.021 ton C ha<sup>-1</sup> tahun 2000 akibat perubahan penggunaan lahan, dan diperkirakan laju penurunannya sekitar 0,02% per tahun.

### Kesimpulan

Simpanan karbon pada tumbuhan dan tanah gambut dengan ketebalan 15 m adalah 189,45 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.537,37 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan gambut primer, 161,76 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.713,77 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan gambut bekas tebangan, 139,05 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.486,39 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan gambut sekunder, dan 43,09 ton C ha<sup>-1</sup> dan 1.205,59 ton C ha<sup>-1</sup> di hutan gambut terdegradasi. Hasil-hasil penelitian menunjukkan

adanya variasi dalam nilai pendugaan simpanan karbon pada tumbuhan dan tanah hutan. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh faktor lingkungan tempat tumbuh, faktor tegakan hutan, dan perbedaan metode pengukuran dan penghitungan biomassa dan kadar karbon. Simpanan karbon pada vegetasi pohon dan permudaan di hutan gambut primer cenderung mengalami penurunan dengan adanya pemanenan kayu di hutan gambut bekas tebangan dan gangguan lanjutan di hutan gambut sekunder. Biomassa dan karbon tersimpan pada tanah gambut di hutan gambut primer adalah 8 kali lebih besar daripada biomassa dan karbon tersimpan pada tumbuhan, sedangkan di hutan gambut bekas tebangan dan di hutan gambut sekunder adalah 10 kali lebih besar. Walaupun demikian, vegetasi hutan gambut harus tetap dipelihara keberadaannya untuk menjaga keberadaan biomassa dan karbon yang tersimpan dalam tanah gambut.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Ditjen Dikti, Kemendiknas RI, Sekolah Pascasarjana IPB, dan LPPM IPB yang telah mendukung penelitian ini melalui kegiatan Penelitian Unggulan Strategis dengan judul Integrasi Pemanfaatan Karbon dalam PHPL dan Program REDD Indonesia.

## Daftar Pustaka

- [ASTM] American Society For Testing Materials. 2008a. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials. ASTM D 04442. 2008b. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials. ASTM D 2395-97a. 1990a. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon. ASTM D 2866-94.1990b. Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon. ASTM D 2866-94.1990b. Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon. ASTM D 5832-98.
- Baishya R, Barik SK, Upadhaya K. 2009. Distribution pattern of aboveground biomass in natural and plantation forest of humid tropics in northeast India. *Journal of Tropical Ecology* 50(2):295–304.
- [BAPPENAS] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2009. *Reducing Carbon Emissions From Indonesia's Peat Lands*. Interim Report of A Multi-disciplinary Study. Paper was presented at Wetlands International Side Event11 December 2009. COP 15, Copenhagen, Denmark.
- Basuki TM, Laakea PE, Skidmorea AK, Hussina YA. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Journal of Forest Ecology and Management* 257(8):1684–1694. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.027>
- Brassard BW, Chen HYH, Bergeron Y, Pare D. 2011. Coarse root biomass allometric equations for *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, and *Populus tremuloides* in the boreal forest of Ontario, Canada. *Journal of Biomass and Bioenergy* 35:4189–4196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.045>
- Brown S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forest*. A Primer. FAO Forestry Paper No. 134. USA: FAO.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1995. Standar Nasional Indonesia SNI 06-3730-1995. Arang Aktif Teknis. [http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni\\_main/sni/detail\\_sni/4156](http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/4156). [12 Maret 2011].
- Cairns MA, Olmsted I, Granados J, Argaez J. 2003. Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Journal of Forest Ecology and Management* 186:125–132.
- Chave J *et al.* 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Journal of Oecologia* 145:87–99. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.
- Chave J *et al.* 2008. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology* 24:355–366. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467408005075>.
- Chen D, *et al.* 2011. Subtropical plantations are large carbon sinks: evidence from two monoculture plantations in South China. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 151:1214–1225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.04.011>.
- Cuesta RMR *et al.* 2011. Implications of fires on carbon budgets in Andean cloud montane forest: the importance of peat soils and tree reprofiting. *Journal of Forest Ecology and Management* 186:125–132.
- Daryono H. 2009. Potensi, permasalahan dan kebijakan yang diperlukan dalam pengelolaan hutan dan lahan rawa gambut secara lestari. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 6(2):71–101.
- Djomo AN, Ibrahima A, Saborowski J, Gravenhorst G. 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Journal of Forest Ecology and Management* 186:125–132.
- Djomo AN, Knohl A, Gravenhorst G. 2011. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Journal of Forest Ecology and Management* 186:125–132.
- Ducey MJ, Zarin DJ, Vasconcelos SS, Araujo MM. 2009. Biomass equations for forest regrowth in the eastern Amazon using randomized branch sampling. *Journal of Acta Amazonica* 39(2):349–360. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000200013>.
- Dymond CC, Titus BD, Stinson G, Kurz WA. 2010. Future quantities and spatial distribution of harvesting residue and dead wood from natural disturbances in Canada. *Journal of Forest Ecology and Management* 260:181–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.015>.
- Elias, Wistara NJ. 2009. Metode estimasi massa karbon pohon jeunjing (*Paraserianthes falcataria* L Nielsen) di hutan rakyat. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 15(1):75–82.
- Elias, Wistara NJ. 2010. Innovation in the methods of forest carbon stocks estimation. Di dalam: XXIII IUFRO World Congress; Seoul, 23–28 Agustus 2010.
- Finer L, Ohashi M, Noguchi K, Hirano Y. 2010. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystem. *Journal of Forest Ecology and Management* 261:265–277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.016>.
- Istomo. 2006. Kandungan fosfor dan kalsium pada tanah dan

- biomassa hutan rawa gambut (studi kasus di wilayah HPH PT. Diamond Raya Timber, Bagan Siapi-Api, Provinsi Riau). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 12(3):40–57.
- Istomo, Wibowo C, Wibisono ITC. 2009. *Plant diversity and biomass content in relation to wise use of tropical peat land* Di dalam: Proceeding of Bogor Symposium and Workshop on Tropical Peatland Management; Bogor, 14–15 Juli 2009. hlm57–66.
- Jaya A, Siregar UJ, Daryono H, Suhartana S. 2007. Biomassa hutan rawa gambut tropika pada berbagai kondisi penutupan lahan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 4(4):341–352.
- Ketterings QM, Coe R, Noordwijk MV, Ambagu Y, Palm CA, 2001. Reducing uncertainty in use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Journal of Forest Ecology and Management* 146:199–202. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6).
- Kiyono Y *et al.* 2010. Carbon Stock Estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia. *JARQ* 44(1):81–92. <http://dx.doi.org/10.6090/jarq.44.81>.
- Lasco RD. 2002. Forest carbon budgets in southeast asia following harvesting and land cover change. In: Impacts of Land Use Change on the Terrestrial Carbon Cycle in the Asian Pacific Region. *Journal of Science in China* 45:76–86.
- Lasco RD *et al.* 2006. Carbon stocks assessment of a selectively logged Dipterocarp forest and wood processing mill in the Philippines. *Journal of Tropical Forest Science* 18(4):166–172.
- Ludang Y, Jaya HP. 2007. Biomass and carbon content in tropical forest of Central Kalimantan. *Journal of Applied Science in Environmental Sanitation* 2(1):7–12.
- Murdiyarso D *et al.* 2004. Petunjuk Lapangan: Pendugaan Karbon pada Lahan Gambut. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme (WIIP) dan Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Navar J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forest of northwestern Mexico. *Journal of Forest Ecology and Management* 257:427–434. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>.
- Niiyama K *et al.* 2010. Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology* 26:271–284. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467410000040>.
- Palace M, Keller M, Asner GP, Silva JNM, Passos C. 2007. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Journal of Forest Ecology and Management* 238:120–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.10.026>.
- Peichl M, Arain MA. 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forest. *Journal of Forest Ecology and Management* 253:68–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.003>.
- Sierra CA *et al.* 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porc region, Colombia. *Journal of Forest Ecology and Management* 243:299–309. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.026>.
- Tresnawan H, Rosalina U. 2002. Pendugaan biomassa di atas tanah pada ekosistem hutan primer dan hutan bekas tebangan (studi kasus Rutan Dusun Aro, Jambi). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 8(1):15–29.
- Tomlinson RW. 2005. Soil carbon stocks and changes in the Republic of Ireland. *Journal of Environmental Management* 76:77–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.02.001>.
- Wang X, Fang J, Zhu B. 2008. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. *Journal of Forest Ecology and Management* 243:299–309.