

Model Persamaan Massa Karbon Akar Pohon dan *Root-Shoot Ratio* Massa Karbon***Equation Models of Tree Root Carbon Mass and Root-Shoot Carbon Mass Ratio*****Elias^{1*}, Nyoman Jaya Wistara², Miranti Dewi¹, dan Hania Purwitasari¹**¹Departemen Manajemen Hutan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Lingkar Akademik, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680²Departemen Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Lingkar Akademik, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680**Abstract**

*The case study was conducted in the area of Acacia mangium plantation at BKPH Parung Panjang, KPH Bogor. The objective of the study was to formulate equation models of tree root carbon mass and root to shoot carbon mass ratio of the plantation. It was found that carbon content in the parts of tree biomass (stems, branches, twigs, leaves, and roots) was different, in which the highest and the lowest carbon content was in the main stem of the tree and in the leaves, respectively. The main stem and leaves of tree accounted for 70% of tree biomass. The root-shoot ratio of root biomass to tree biomass above the ground and the root-shoot ratio of root biomass to main stem biomass was 0.1443 and 0.25771, respectively, in which 75% of tree carbon mass was in the main stem and roots of tree. It was also found that the root-shoot ratio of root carbon mass to tree carbon mass above the ground and the root-shoot ratio of root carbon mass to tree main stem carbon mass was 0.1442 and 0.2034, respectively. All allometric equation models of tree root carbon mass of *A. mangium* have a high goodness-of-fit as indicated by its high adjusted R².*

Keywords: Acacia mangium, allometric, root-shoot ratio, biomass, carbon mass

**Penulis untuk korespondensi, email: elias2956@yahoo.com, telp. +62-251-8621244, faks. +62-251-8621244*

Pendahuluan

Ekosistem hutan berperan sangat penting dalam menjaga keseimbangan siklus karbon global. Dalam proses fotosintesis, CO₂ dari atmosfer diikat oleh vegetasi dan disimpan dalam bentuk biomassa. Penyerapan dan penyimpanan CO₂ oleh hutan berperan penting dalam menurunkan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Peranan hutan ini telah mendapat pengakuan Kyoto Protokol pada tahun 1997. Dalam *Convention on Parties* (COP) 13 yang diselenggarakan pada tanggal 7–14 Desember 2007 di Bali, Indonesia bersama dengan negara-negara yang memiliki hutan tropis mengusulkan agar program *Reduced Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD) diakui sebagai program yang dapat mengurangi emisi CO₂ di atmosfer. Salah satu aspek penting dalam menyukseskan program REDD adalah tersedianya metode estimasi stok karbon hutan yang akurat.

Massa karbon dalam pohon tersimpan di dalam komponen-komponen biomassa pohon yang terdiri dari biomassa akar, batang utama, batang cabang, ranting, dan daun. Berdasarkan pada kelima komponen biomassa pohon tersebut, biomassa akar merupakan bagian yang paling sulit diukur. Hal ini disebabkan oleh akar pohon terpendam di dalam lapisan tanah dengan penyebaran dan percabangan ke segala arah dan dalam jarak yang cukup jauh dari pohonnya. Selain itu, bagian akar yang berukuran kecil dan halus sulit dikumpulkan pada saat penggalan. Karakteristik akar pohon ini menyebabkan pengukuran biomassa akar pohon memerlukan waktu lama dan biaya yang lebih tinggi daripada

pengukuran komponen biomassa di atas tanah. Penelitian ini bertujuan mendapatkan model persamaan alometrik biomassa dan massa karbon serta *root-shoot ratio* massa karbon pohon *Acacia mangium*. Model persamaan tersebut diharapkan dapat dipergunakan untuk mengestimasi massa karbon akar dan batang pohon *A. mangium*.

Metode

Penelitian lapangan dilakukan di hutan tanaman industri (HTI) *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor, Jawa Barat. Pohon *A. mangium* yang dipilih sebagai pohon contoh berjumlah 40 yang merupakan pohon-pohon yang mewakili populasi setiap kelas diameter dari 8 kelas diameter pohon dalam tegakan. Metode pengukuran dan pengumpulan data pohon contoh mengikuti tahapan kerja yang telah dijelaskan oleh Elias dan Wistara (2009). Contoh bahan uji di laboratorium diambil dari batang utama, cabang, ranting, akar, dan daun pada tiap-tiap pohon contoh. Jumlah contoh yang diambil sebagai bahan uji laboratorium dari masing-masing bagian pohon contoh dengan 3 kali ulangan sebanyak 600 buah. Cara pengambilan contoh bahan uji di lapangan mengikuti cara yang diterapkan oleh Elias dan Wistara (2010). Pengujian parameter di laboratorium dilakukan berdasarkan standard *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang sesuai. Kadar air, zat terbang, kadar abu, dan kadar karbon masing-masing ditentukan dengan mengikuti metode standar ASTM D 4442-07 (ASTM 1990), ASTM D 5832-98

(ASTM 2008), ASTM D 2866-94 (ASTM 1999), dan SNI 06-3730-1995 (BSN 1995).

Pengolahan data Model persamaan alometrik massa karbon pohon diperoleh dari hubungan antara peubah tidak bebas (massa karbon pohon) dan peubah bebas (diamater dan tinggi pohon). Hubungan dinyatakan dalam persamaan:

$$Cp = aD^b \quad [1]$$

$$Cp = aD^bH^c \quad [2]$$

keterangan:

Cp = Bobot massa karbon dalam pohon (kg)

D = Diameter setinggi dada (cm)

H = Tinggi pohon (m)

a, b, c = Konstanta

Model persamaan alometrik massa karbon akar pohon diperoleh dari hubungan antara massa karbon akar pohon sebagai peubah tidak bebas dan diamater pohon sebagai peubah bebasnya. Hubungan dinyatakan dalam persamaan:

$$Ca = aD^b \quad [3]$$

keterangan:

Ca = Bobot massa karbon dalam akar pohon (kg)

D = Diameter setinggi dada (cm)

a, b = Konstanta

Model persamaan alometrik massa karbon akar pohon diperoleh dari hubungan antara massa karbon akar sebagai peubah tidak bebas dan massa karbon komponen pohon di atas tanah sebagai peubah bebasnya. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan:

$$Ca = aCkp^b \quad [4]$$

keterangan:

Ca = Bobot massa karbon dalam akar pohon (kg)

Ckp = Bobot massa karbon dalam komponen pohon di atas tanah (kg)

a, b = Konstanta

Root-shoot ratio biomassa pohon dan massa karbon pohon dihitung menggunakan persamaan:

$$Rb = Ba/Bat \quad [5]$$

$$Rc = Ca/Cat \quad [6]$$

keterangan:

Rb = *Root-shoot ratio* biomassa pohon

Ba = Biomassa akar pohon (kg atau ton)

Bat = Biomassa pohon di atas tanah (kg atau ton)

Rc = *Root-shoot ratio* massa karbon pohon

Ca = Bobot massa karbon akar pohon (kg atau ton)

Cat = Bobot massa karbon pohon di atas tanah (kg atau ton)

Hasil dan Pembahasan

Kadar karbon pohon Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar karbon rata-rata dalam komponen biomassa batang utama, cabang, akar, ranting, dan daun pohon *A. mangium* masing-masing sebesar 61,38%, 50,53%, 47,99%, 41,04%, dan 28,78%. Data ini menunjukkan adanya perbedaan kadar

karbon dalam biomassa komponen-komponen pohon. Kadar karbon tertinggi terdapat dalam biomassa batang utama dan kadar karbon terendah terdapat dalam biomassa daun. Hasil serupa telah ditemukan oleh Elias dan Wistara (2009, 2010) di hutan rakyat jeunjing (*Paraserienthes falcataria*), dan hasil penelitian Peichl dan Arain (2006, 2007) di hutan pinus di daerah subtropik.

Kadar karbon dalam biomassa komponen-komponen pohon *A. mangium* terlihat semakin tinggi seiring dengan semakin besarnya diameter pohon (Tabel 1). Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Peichl dan Arain (2007) terhadap pohon pinus di daerah subtropik, yang menunjukkan bahwa kadar karbon biomassa batang meningkat dengan meningkatnya umur pohon dan tegakan. Temuan para peneliti tersebut dapat menunjukkan bahwa model pendugaan massa karbon Brown (1997) dan Ketterings *et al.* (2001) yang mengasumsikan kadar karbon biomassa vegetasi rata-rata sebesar 50%, kemungkinan menghasilkan hasil perhitungan yang kurang akurat.

Sebagian besar batang utama pohon terdiri dari kayu yang mengandung 40–45% selulosa dan beberapa komponen berkarbon lainnya. Potensi kandungan selulosa dan zat penyusun kayu lainnya meningkat dengan meningkatnya diameter pohon (Achmadi 1990). Hal ini dapat menyebabkan kadar karbon yang tinggi dalam batang utama dan batang pohon berdiameter besar.

Biomassa dan massa karbon pohon Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proporsi komponen biomassa pohon *A. mangium* dari tertinggi ke terendah terdapat pada bagian batang utama, daun, akar, ranting, dan cabang, masing-masing sebesar 51,84%, 17,79%, 13,36%, 10,22%, dan 6,74%. Proporsi yang rendah dari biomassa cabang dapat disebabkan oleh belum terdapatnya cabang berukuran lebih dari 5 cm pada pohon berdiameter kurang dari 10 cm, sedangkan pohon berdiameter besar bercabang kecil-kecil sehingga sedikit jumlah cabang berdiameter lebih dari 5 cm. Hal serupa ditemukan untuk proporsi massa karbon dalam komponen-komponen biomassa pohon. Massa karbon tertinggi terdapat pada batang utama (62,00%) yang diikuti oleh bagian akar, daun, ranting, dan cabang dengan kadar masing-masing sebesar 112,61%, 10,32%, 8,34%, dan 6,77%. Kayu yang 97–99% merupakan polimer alami adalah komponen dominan dalam batang utama pohon. Komponen kimia terbesar dari polimer alami kayu adalah polisakarida yang kadarnya mencapai 65–75%. Kayu juga tersusun oleh komponen kimia berkarbon lain, seperti lignin dan ekstraktif. Kadar komponen berkarbon yang tinggi di dalam batang utama dapat menyebabkan tingginya kadar karbon dalam komponen batang tersebut.

Besarnya biomassa dan massa karbon komponen-komponen pohon *A. mangium* terlihat semakin meningkat seiring dengan peningkatan peningkatan diameter pohon (Tabel 2 dan Tabel 3). Besarnya massa karbon tiap komponen pohon dipengaruhi oleh besarnya biomassa dan kadar karbon biomassa komponen pohon yang bersangkutan.

Tabel 1 Rata-rata kadar karbon biomassa komponen-komponen pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

Kelas diameter (cm)	Kadar karbon (%)				
	Akar	Batang utama	Cabang	Ranting	Daun
0–5	43,42	58,45	-	36,57	28,14
5–10	42,61	58,93	-	40,99	27,85
10–15	46,31	64,94	50,30	39,97	28,25
15–20	43,05	62,56	49,00	39,97	27,57
20–25	54,25	58,11	52,25	44,87	30,10
25–30	49,42	63,42	48,18	41,32	30,20
30–35	53,76	63,03	49,00	38,54	29,55
35–40	51,13	61,57	54,47	46,12	28,59
Rata-rata	47,99	61,38	50,53	41,04	28,78

Tabel 2 Biomassa komponen-komponen pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

Kelas diameter (cm)	Biomassa (kg)					Total (kg)
	Akar	Batang utama	Cabang	Ranting	Daun	
0–5	0,230	1,481	-	0,155	0,511	2,376
5–10	2,762	5,453	-	2,593	3,852	14,661
10–15	12,378	57,272	0,809	10,774	8,943	90,177
15–20	25,679	114,826	1,112	13,754	26,561	181,933
20–25	47,636	134,691	28,392	20,783	25,136	256,638
25–30	36,850	154,350	17,260	37,210	52,130	297,790
30–35	33,970	181,850	22,010	34,000	60,970	332,790
35–40	59,840	201,290	41,030	48,460	124,020	465,640
Rata-rata	27,418	106,402	13,827	20,966	36,515	205,251

Tabel 3 Massa karbon komponen-komponen pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

Kelas diameter (cm)	Massa karbon (kg)					Total (kg)
	Akar	Batang utama	Cabang	Ranting	Daun	
0–5	0,100	0,865	-	0,057	0,144	1,166
5–10	1,177	3,214	-	1,061	1,073	6,525
10–15	5,732	37,192	0,407	4,307	2,527	50,165
15–20	11,055	71,846	0,545	5,498	7,323	96,267
20–25	25,843	78,269	14,835	9,324	7,566	135,837
25–30	18,211	97,889	8,316	15,375	15,740	155,531
30–35	19,280	114,670	10,785	13,104	18,017	175,859
35–40	25,990	123,934	22,349	22,350	35,457	230,008
Rata-rata	13,424	65,985	7,155	8,885	10,981	106,430

Root-shoot ratio biomassa dan massa karbon pohon *Root-shoot ratio* merupakan nisbah antara biomassa atau massa karbon akar pohon dan biomassa atau massa karbon pohon di atas tanah atau batang utama pohon. Hasil analisis *root-shoot ratio* dalam penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya *root-shoot ratio* biomassa akar terhadap biomassa pohon di atas permukaan tanah berada pada kisaran 0,0906–0,2071 (rata-rata 0,1443), dan *root-shoot ratio* biomassa akar terhadap batang utama berkisar antara 0,1324–0,4172 (rata-rata 0,2577), sedangkan *root-shoot ratio* massa karbon akar pohon terhadap massa karbon pohon di atas permukaan tanah berkisar antara 0,0794–0,2132 (rata-rata 0,1442) dan *root-shoot ratio* massa karbon akar pohon terhadap batang utama berkisar antara 0,0983–0,3017 (rata-rata 0,2034) (Tabel 4).

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa

biomassa maupun massa karbon pohon *A. mangium* yang terdapat di dalam akar adalah sekitar 15%. Hasil ini lebih tinggi dari biomassa yang tersimpan dalam akar pohon yang tumbuh di *moist lowland forest* yang berjumlah 12% dengan kisaran *root-shoot ratio* antara 0,04–0,33 (rata-rata 0,12), lebih rendah dibanding proporsi biomassa yang tersimpan dalam akar pohon *moist montane forest* yang berjumlah 22% dengan kisaran *root-shoot ratio* antara 0,11–0,33 (rata-rata 0,22) (Sanford & Cuevan 1996, diacu dalam Brown 1997). *Root-shoot ratio* biomassa hasil penelitian ini lebih rendah dari nisbah yang ditemukan oleh Wang *et al.* (2008) untuk areal hutan di daerah Timur Laut China yang menghasilkan *root-shoot ratio* biomassa rata-rata 0,27. Adapun untuk hutan primer, *root-shoot ratio* adalah 0,26, untuk hutan sekunder sebesar 0,31, dan untuk hutan tanaman sebesar 0,24.

Tabel 4 *Root-shoot ratio* biomassa dan massa karbon pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

Kelas diameter (cm)	<i>Root- shoot ratio</i> biomassa		<i>Root-shoot ratio</i> massa karbon	
	Batang utama	Pohon di atas tanah	Batang utama	Pohon di atas tanah
0–5	0,1324	0,0906	0,0983	0,0794
5–10	0,4172	0,1777	0,3017	0,1704
10–15	0,1794	0,1296	0,1280	0,1058
15–20	0,1955	0,1418	0,1345	0,1125
20–25	0,2270	0,2071	0,3013	0,2132
25–30	0,2387	0,1326	0,1860	0,1326
30–35	0,1868	0,1231	0,1681	0,1231
35–40	0,2973	0,1274	0,2097	0,1274
Rata-rata	0,2577	0,1443	0,2034	0,1442

Persamaan alometrik pohon Analisis data pengukuran biomassa pohon sampel dan kadar karbon dari sampel bagian-bagian pohon menghasilkan model persamaan alometrik biomassa dan masa karbon pohon *A. mangium* (Tabel 5). Hubungan biomassa dan massa karbon dengan diameter dan tinggi pohon dari persamaan alometrik yang dihasilkan menunjukkan adanya hubungan yang sangat erat. Hal ini berarti bahwa model persamaan-persamaan tersebut dapat dipergunakan untuk menduga biomassa dan massa karbon pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor.

Model persamaan alometrik massa karbon akar pohon Model persamaan alometrik massa karbon akar pohon pada penelitian ini diperoleh dari analisis persamaan regresi

sederhana yang menunjukkan hubungan yang erat antara massa karbon akar sebagai peubah tak bebas dengan massa karbon komponen pohon di atas tanah (batang utama, cabang, ranting, dan daun) atau diameter pohon setinggi dada dan tinggi pohon sebagai peubah bebasnya (Tabel 6).

Persamaan-persamaan alometrik massa akar pohon *A. mangium* hasil penelitian ini mempunyai koefisien determinasi ($R^2adj.$) sangat tinggi, kecuali koefisien determinasi persamaan alometrik hubungan massa akar pohon dengan massa karbon cabang yang memiliki nilai $R^2adj. = 66\%$. Hal ini diduga karena ukuran cabang-cabang pohon *A. mangium* umumnya kecil, terutama pada pohon-pohon berdiameter sedang, bahkan pada pohon kecil sering tidak terdapat cabang pohon karena diameter cabangnya < 5 cm.

Tabel 5 Model alometrik biomassa dan massa karbon pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

	Model persamaan alometrik	$R^2adj.$ (%)	s	p
Biomassa	$W = 0,154170D^{2,27}$	98,2	0,108813	0,000
	$W = 0,045708D^{1,51}H^{1,34}$	100,0	0,009044	0,000
	$W = 0,093325D^{2,16}Hb^{0,514}$	98,5	0,097927	0,000
Massa karbon	$C = 0,067608D^{2,33}$	97,7	0,128042	0,000
	$C = 0,016595D^{1,44}H^{1,56}$	99,9	0,025171	0,000
	$C = 0,038018D^{2,21}Hb^{0,599}$	98,1	0,115815	0,000

W : biomassa pohon (kg pohon⁻¹); C : massa karbon pohon (kg pohon⁻¹); D : diameter pohon setinggi dada (cm); H : tinggi total pohon sampai diameter batang < 10 cm; Hb : tinggi pohon bebas cabang (m); s : simpangan baku; p : taraf nyata; dan $R^2adj.$: koefisien determinasi.

Tabel 6 Persamaan alometrik massa akar karbon pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor

Persamaan alometrik massa akar pohon	$R^2adj.$ (%)	s	p
$Ca = 0,004570D^{2,60}$	97,8	0,137253	0,000
$Ca = 0,003981D^{2,52}H^{0,138}$	97,5	0,145685	0,000
$Ca = 0,006309D^{2,67}Hb^{-0,337}$	97,8	0,139259	0,000
$Ca = 0,0831764Cr^{1,10}$	95,5	0,198727	0,000
$Ca = 0,152054Cb^{1,07}$	88,7	0,313472	0,000
$Ca = 9,31108Cc^{0,465}$	66,0	0,229826	0,031
$Ca = 1,21619Cr^{1,08}$	95,5	0,198140	0,000
$Ca = 1,069301Cd^{1,32}$	97,8	0,139751	0,000

Ca : massa akar pohon (kg pohon⁻¹); D : diameter pohon setinggi dada (cm); H : tinggi total pohon sampai diameter batang < 10 cm; Hb : tinggi pohon bebas cabang (m); Cr : massa karbon pohon total (kg pohon⁻¹); Cb : massa karbon batang utama (kg pohon⁻¹); Cc : massa karbon cabang pohon (kg pohon⁻¹); Cr : massa karbon ranting (kg pohon⁻¹); Cd : massa karbon daun (kg pohon⁻¹); s : simpangan baku; p : taraf nyata; dan $R^2adj.$: koefisien determinasi.

Kesimpulan

Kadar karbon yang terdapat dalam biomassa komponen-komponen pohon *A. mangium* tidak sama besarnya. Kadar karbon tertinggi terdapat dalam biomassa batang utama dan terendah terdapat dalam biomassa daun. Semakin besar diameter pohon maka kadar karbon biomasanya juga semakin besar. Persamaan-persamaan alometrik biomassa dan massa karbon pohon maupun akar pohon yang diperoleh mempunyai koefisien determinasi yang tinggi, sehingga dapat dipergunakan untuk menduga potensi biomassa maupun massa karbon pohon *A. mangium* di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan salah satu hasil penelitian *Inovasi Metodologi dan Metode Estimasi Cadangan Karbon dalam Hutan dalam Rangka Program Reduced Emissions from Deforestation and Degradation (REDD) Indonesia*. Tim Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia, yang telah membiayai penelitian ini melalui Skema Hibah Penelitian Strategis Nasional Tahun Anggaran 2010 dan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor yang telah mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Achmadi SS. 1990. *Kimia Kayu*. Bogor: Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor.
- [ASTM] American Society for Testing Material. 1990. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon.
- [ASTM] American Society for Testing Material. 1999. Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon.
- [ASTM] American Society for Testing Material. 2008. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1995. SNI 06-3730-1995. Arang Aktif Teknis. http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/4156 [20 September 2010]
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: A Primer*. Rome: FAO.
- 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 Stock Estimation. Di dalam: *XXIII IUFRO WORLD CONGRESS*. Seoul, 23–28 August 2010.
- Ketterings QM, *et al.* 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 120:199–209.
- Peichl M, Arain MA. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 140:51–63.
- Peichl M, Arain MA. 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management* 253:68–80.
- Wang X, Fang J, Zhu B. 2008. Forest biomass and root-shoot allocation in Northeast China. *Forest Ecology and Management* 255:4007–4020.