

**EVALUASI PENGGUNAAN BEBERAPA METODE PENDUGA  
BIOMASSA PADA JENIS *Acacia mangium* Wild.  
(Evaluation of Some Methods of Measuring Biomass on *Acacia mangium* Wild.)\***

Muhammad Abdul Qirom<sup>1</sup>, M. Buce Saleh<sup>2</sup>, dan/and Budi Kuncahyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru; Jl. A.Yani Km 28,7 Landasan Ulin Banjarbaru;  
email:qirom\_ma@yahoo.co.id

<sup>2</sup>Institut Pertanian Bogor; Program Studi Manajemen Hutan-Fakultas Kehutanan

\*Diterima: 19 Agustus 2011; Disetujui: 25 juli 2012

**ABSTRACT**

*Methods of measuring biomass are very diverse in accuracy and precision. The accuracy and precision of such method measurement should be compared to obtain the best one. The purpose of this study was to obtain 1) the allocated content of biomass in each plant part, 2) the values of Biomass Expansion Factor (BEF) and Root to Shoot Ratio (R) for type *Acacia mangium* Wild., 3) the Allometric biomass equations of each plant part, and 4) the best method to estimate the biomass in the forest plant *Acacia mangium* Wild in South Kalimantan. Sampling was conducted in a destructive method to 30 sample tree representing the age of one, two, three, four, five, six, eight and nine years. From the sample trees, the data of biomass, Biomass Expansion Factor and Root to Shoot Ratio (R), were obtained. The allometric models were formulated using linear and non linear models. The research results found that the largest allocation of biomass was in the stem (> 50%) and the smallest in the twigs. At the age of 1-9 years, the amount of BEF (Mg.m<sup>-3</sup>) ranged from 0,44 to 0,71 Mg.m<sup>-3</sup> and the value of BEF (Mg.Mg) for type *Acacia mangium* Wild varied from 1.06 to 1.80. The average value of R was 0,16. On the surface the best allometric model is  $AGB = - 3.14 + 2.84 \ln D$  with a coefficient of determination  $R^2$  98.6%. The best method of biomass estimation was with the use of BEF (Mg.Mg) per age. The applicant of this method require alometric model to stem biomass estimation*

*Keywords: Biomass, Biomass Expansion Factor (BEF), methods, allometric model*

**ABSTRAK**

Metode pengukuran biomasa sangatlah beragam dengan akurasi dan ketepatan yang berbeda-beda. Keakuratan dan ketepatan metode pengukuran tersebut perlu dibandingkan untuk mendapatkan metode terbaik. Tujuan penelitian ini adalah 1) mendapatkan besarnya alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman, 2) mendapatkan nilai *Biomass Expansion Factor* (BEF) dan *Root to Shoot Ratio* (R) jenis *Acacia mangium* Willd., 3) mendapatkan persamaan alometrik biomasa masing-masing bagian tanaman, 4) mendapatkan metode terbaik untuk menduga biomasa di hutan tanaman *Acacia mangium* Wild. di Kalimantan Selatan. Pengambilan sampel pohon dilakukan secara *destructive* sebanyak 30 pohon contoh yang mewakili umur satu, dua, tiga, empat, lima, enam, delapan, dan sembilan tahun. Berdasarkan pohon contoh tersebut didapatkan data biomasa, *Biomass Expansion Factor* dan *Root to Shoot Ratio* (R). Penyusunan model alometrik menggunakan model linear dan non linear. Hasil penelitian menunjukkan alokasi biomasa terbesar pada bagian batang (> 50%) dan ranting menyimpan biomasa terkecil Pada umur 1-9 tahun, besarnya BEF (Mg.m<sup>-3</sup>) berkisar antara 0,44-0,71 Mg.m<sup>-3</sup> dan nilai BEF (Mg.) jenis *Acacia mangium* Wild. berkisar antara 1,06-1,80. Rata-rata nilai R yakni 0,16. Pada bagian permukaan tanah model alometrik terbaik yakni  $AGB = - 3.14 + 2.84 \ln D$  dengan koefisien determinasi  $R^2$  98,6%. Metode penduga biomasa terbaik menggunakan BEF (Mg.Mg) per umur. Penggunaan metode ini membutuhkan persamaan alometrik penduga biomassa batang.

Kata kunci: Biomassa, BEF, metode, model alometrik

## I. PENDAHULUAN

Secara umum, metode pengukuran persediaan karbon menggunakan pendekatan konversi biomasa menjadi simpanan karbon (Brown, 1997). Metode ini di-

kembangkan dengan pertimbangan kemudahan dan dapat digeneralisasikan untuk luasan yang cukup luas (Brown, 1997). Kemudahan tersebut menjadikan metode ini banyak digunakan dalam pendugaan

tegakan beberapa jenis tegakan, dan tipe tegakan di Indonesia. Penelitian yang menggunakan metode konversi biomasa antara lain: MacDicken, 1997; Hairiah *et al.*, 2001; Heriansyah *et al.*, 2003; dan Samsuudin *et al.*, 2009. Pengembangan metode ini menggunakan suatu persamaan alometrik untuk jenis dan tempat tertentu. Persamaan alometrik ini digunakan untuk mendapatkan nilai suatu biomasa hidup jenis tertentu dan kemudian dikalikan dengan faktor konversi (Brown, 1997; Losi, Siccama, Condit, and Morales, 2003). Besarnya faktor konversi ini ditentukan berdasarkan zona iklim seperti yang dikemukakan Brown (1997).

Perkembangan metode yang lain adalah metode penyusunan model alometrik dengan menambahkan berat jenis sebagai variabel bebas untuk mendapatkan nilai biomassa (Uhl, Buschbacher, and Serro, 1988; Ketterings, Coe, van Noordwijk, Ambagau, Palm, 2001) dan menggunakan faktor ekspansi biomasa (BEF : *Biomass Expansion Factor*) (Brown, 1997; Levy, Hale, and Nicoll, 2004; Lehtonen, Makipaa, Heikkinen, Sievanen, and Liski, 2004; Einnarson, Sigurdsson and Snorrason, 2005; Chaidez, 2009) yang didasarkan pada hubungan antara volume dan biomassa totalnya. Nilai karbon didapatkan dengan mengalikan faktor konversi sama halnya dengan metode yang dikemukakan Brown (1997).

Metode-metode pendugaan persediaan karbon yang bersifat umum memiliki beberapa kekurangan terutama terkait akurasi dan ketepatan hasil pendugaannya. Hal ini dikuatkan oleh pendapat bahwa potensi sekuestrasi karbon tergantung macam dan kondisi ekosistem, yaitu komposisi spesies, struktur, dan distribusi umur. Kondisi tempat tumbuh juga berpengaruh akibat perbedaan iklim dan tanah, gangguan alami, dan tindakan pengelolaan (Hairiah, Sitompul, van Noordwijk, Palm, 2001; Wauters, Coudert, Grallien, Jonard, and Ponette, 2008). Berdasarkan pendapat tersebut disimpulkan bahwa generalisasi terhadap penggunaan

metode yang digunakan akan mengakibatkan ketidaktepatan dalam pendugaan karbon suatu jenis pada tempat tertentu.

Keakuratan dan ketepatan dari beberapa metode tersebut perlu dibandingkan untuk mendapatkan besarnya bias, ketelitian, dan akurasi masing-masing metode pengukuran biomassa. Pengujian dilakukan dengan mencoba beberapa metode tersebut dalam menduga persediaan biomassa pada hutan tanaman *Acacia mangium* Wild. di Kalimantan Selatan. Tujuan dari penelitian ini yakni 1) mendapatkan besarnya alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman, 2) mendapatkan nilai *Biomass Expansion Factor (BEF)* dan *Root to Shoot Ratio (R)* jenis *Acacia mangium* Wild., 3) mendapatkan persamaan alometrik biomasa masing-masing bagian tanaman, 4) mendapatkan metode terbaik untuk menduga biomasa di hutan tanaman *Acacia mangium* Wild.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2010 sampai dengan Februari 2011 mulai dari kegiatan pengambilan data di lapangan, pengolahan dan analisis data. Lokasi penelitian pada hutan tanaman *Acacia mangium* di areal Inhutani II, Unit Pulau Laut Kalimantan Selatan. Luas total areal konsesi seluas 48.720 ha dengan topografi 90% datar (kelerengan 0-8%) dan 10% landai (kelerengan 8-15%). Hutan Tanaman Industri Inhutani II berada pada ketinggian 10-50 m dpl dengan jenis tanah podsolik merah kuning, latosol, dan alluvial (PT. Inhutani II, 2010). Secara operasional di lapangan Inhutani II ini terbagi ke dalam dua sub-unit yakni Semaras dan Tanjung Seloka.

### B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan adalah tegakan hutan *Acacia mangium* dengan umur satu, dua, tiga, empat, lima, enam, dela-

pan, dan sembilan tahun. Alat yang digunakan berupa *phiband meter*, *haga meter*, timbangan gantung, timbangan digital dan GPS (*Global Positioning System*) untuk pengambilan data di lapangan. Pengukuran biomassa kering (*oven dry weight*) di Laboratorium Penelitian Tanaman Rawa, Kalimantan Selatan.

**C. Metode Penelitian**

**1. Pengambilan Sampel Pohon di Lapangan**

Pengukuran biomasa dan simpanan karbon per pohon menggunakan pohon contoh. Pemilihan pohon contoh menggunakan *purposive sampling* dengan umur dan sebaran diameter pohon sebagai pertimbangan utama. Pertimbangan umur dan sebaran diameter digunakan untuk melihat perbedaan nilai biomasa antar umur satu dengan umur yang lain. Biomasa yang diukur yakni biomasa atas permukaan (*above ground biomass*) dan biomasa bawah permukaan (*below ground biomass*). Biomasa atas permukaan dibedakan menjadi empat bagian biomasa yakni biomasa batang, daun, cabang, dan ranting. Bagian bunga dan buah tidak diambil. Hal ini karena di lokasi penelitian ini tidak ditemukan bunga dan buah. Pengambilan biomasa bawah permukaan terutama untuk biomasa akar (akar-akar besar). Pohon sampel diambil sebanyak 30 pohon contoh yang terbagi 40% pohon contoh untuk umur 1-4 tahun (12 pohon) dan 60% pohon contoh untuk umur 5, 6, 8, dan 9 tahun. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa dimensi pohon yang lebih besar sangat mempengaruhi bio-massa suatu tegakan (Brown, 2002).

**2. Prosedur Kerja Pengambilan Sampel**

Pohon-pohon contoh ini digunakan untuk menyusun persamaan alometrik penduga biomasa dan faktor ekspansi biomassa (*Biomass Expansion Factor*, BEF) jenis *A. mangium*. Secara ringkas prose-

dur pengambilan sampel pohon secara *destructive* sebagai berikut:

- a. Pengukuran dimensi pohon yang telah ditentukan sebagai pohon contoh. Dimensi pohon yang diukur meliputi diameter batang (dbh), tinggi total, dan rata-rata diameter tajuk.
- b. Pengukuran biomasa atas permukaan:
  - 1) Penebangan dilakukan setelah semua pohon contoh diukur. Penimbangan dilakukan pada masing-masing bagian-bagian pohon sehingga akan mendapatkan berat basah masing-masing bagian pohon. Pada bagian batang, batang dibagi kedalam sortimen-sortimen dengan ukuran dua meter.
  - 2) Pengambilan sampel bagian-bagian pohon diambil untuk mendapatkan berat kering dan kadar air. Berat sampel yang diambil seberat 100 gram. Pengeringan dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Tanaman Rawa Kalimantan Selatan. Hubungan antara berat basah, berat kering, dan kadar air digunakan dalam menentukan total berat kering dari bagian pohon. Hubungan tersebut dirumuskan oleh (Haygreen and Bowyer, 1993) sebagai berikut:

$$KA_c (\%) = \frac{BB_c - BKT_c}{BKT_c} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Kadar air tersebut digunakan untuk menentukan berat kering total bagian pohon yang dirumuskan (Haygreen dan Bowyer, 1993) :

$$BKT = \frac{BB}{1 + \left( \frac{\%KA_c}{100} \right)} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan (*Remarks*):

- BB : Berat basah total bagian pohon (*fresh weight of trees*) (kg);
- BKT : Berat kering total bagian pohon (*dry weight of tress*) (kg);
- KA<sub>c</sub> : Kadar air sampel (*moisture content of tree samples*) (%);
- BB<sub>c</sub> : Berat basah contoh (*fresh weight of tree samples*) (gr);
- BK<sub>c</sub> : Berat kering contoh (*dry weight of tree samples*) (gr)

- c. Biomasa bawah permukaan (akar)
  - Pengambilan sampel dilakukan dengan menggali bagian akar. Bagian akar

yang digunakan yakni akar kasar (*coarse root*). Akar kasar adalah akar-akar yang masih dapat dibedakan dengan bahan organiknya (diameter > 5 mm). Akar-akar halus tidak diambil, hal ini dilakukan dengan pertimbangan akar halus hanya menyumbang besarnya biomassa kurang dari 2% (Kraenzel *et al.*, 2003). Selanjutnya, akar-akar tersebut ditimbang untuk mendapatkan berat basah dari akar. Seperti halnya pada biomassa permukaan, penentuan biomassa bawah permukaan dilakukan dengan mengukur berat kering dan kadar airnya.

### 3. Analisis Data

#### a. Model Alometrik Biomasa

Penyusunan model alometrik ini berdasarkan hasil pengukuran biomassa langsung di lapangan. Model alometrik yang digunakan yakni model *linear* dan model non *linear* (Tabel 1).

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan menggunakan beberapa kriteria yakni koefisien determinasi terkoreksi terbesar ( $R^2_{adj}$ ), simpangan baku terkecil (s) (Draper dan Smith, 1992), *Predicted Residual Sum of Square* terkecil (PRESS), Simpangan Agregatif (SA < 1%) dan Simpangan Relatif (SR < 10%) (Spurr, 1952).

#### b. Biomass Expansion Factor (BEF)

Biomass Expansion Factor ini digunakan untuk mengkonversi data inventarisasi (volume) menjadi biomassa yang dirumuskan sebagai berikut (Brown, 2002; Lehtonen *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2007; Chaidez, 2009):

$$B_i = \frac{W_i}{V} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan (*Remarks*):

$B_i$  = BEF ke i (batang, cabang, akar, bunga, buah);  
 $W_i$  = berat kering komponen ke-I (kg);  
 $V$  = volume batang ( $m^3$ ).

Penentuan biomassa total (biomassa atas dan bawah permukaan) berdasarkan nilai BEF ini diformulasikan sebagai berikut (Somogyi *et al.*, 2008):

$$C = V \cdot D \cdot \text{ExpF} \cdot (1+R) \cdot \text{CF} \text{ atau :}$$

$$B = V \cdot D \cdot \text{ExpF} \cdot (1+R) \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan (*Remarks*):

C = Karbon total (bawah dan atas permukaan: ton); B = Biomassa total (ton); V= volume pohon ( $m^3$ ); D = berat jenis (ton.  $m^{-3}$ ); ExpF= *Biomassa expansion factor*; R= *Root to shoot ratio*; CF= faktor konversi biomassa

**Tabel (Table) 1.** Model alometrik pendugaan biomasa (*Allometric model of biomass estimation*)

No. (No)	Persamaan (Equation)
1.	$Y = a + bD$
2.	$Y = a + bD^2$
3.	$Y = a + bD^{-1}$
4.	$Y = a + b/D^2$
5.	$\text{Ln}Y = a + bD$
6.	$Y = a + b\text{Ln}D$
7.	$\text{Ln}Y = a + b\text{Ln}D$
8.	$\text{Ln}Y = a + b/\text{Ln}D$
9.	$Y = a + bD + cD^2$
10.	$YD^2 = a + bD$
11.	$Y/D = a + b/D + cD$
12.	$Y = a + bD + cH$
13.	$\text{Ln}Y = a + b\text{Ln}D + c\text{Ln}H$
14.	$Y = a + b\text{Ln}D + c\text{Ln}H$
15.	$Y = a + bD^2H$
16.	$Y = a + bD^2 + cH + dD^2H$
17.	$Y = a + bD^2 + cDH + bD^2H$
18.	$Y/D^2 = a + bD^2 + bH^{-1}$
19.	$Y/D^2H = a + bD^2H^{-1}$
20.	$Y/D^2H = a + bD^{-2} + cD^2H + dH$
21.	$Y/D^2 = a + bD^{-2} + cD^{-1}H + dH$
22.	$Y/D^2H = a + bD^{-2}H^{-1} + cH^{-1} + dD^{-1}$
23.	$Y = b_0D^{b_1}$
24.	$Y = b_0D^{b_1}H^{b_2}$
25.	$Y = b_0 + (D^2H)^{b_1}$
26.	$Y = a + bD^{-1} + cH^{-1}$
27.	$\text{Ln}Y = a + bD + cH$

Sumber (*Source*):

*Akinnifesi dan Akinsami, 1995* (persamaan 1-24: dimodifikasi dari pendugaan volume pohon (*equation 1-24: modified from tree volum equation*); persamaan 9-10 juga digunakan oleh Brown & Lugo 1992 (*equation 9-10 was used by Brown & Lugo 1992*); persamaan 25-27 juga digunakan oleh Brown & Lugo 1992 dan Brown 1997 (*equation 25-27 was used by Brown & Lugo 1992 and Brown 1997*))

**Keterangan (Remarks):**

y = Dugaan biomassa (*Biomass estimation* (kg/pohon); D = Diameter pohon (*Tree diameter*) (cm); H = Tinggi pohon (*Tree heigh*) (m); a,b,c,d = Determinasi dari persamaan regresi linear transformasi B, D dan H (a,b,c,d = *Determination of transformed linear regression equation of V, D and H*).

Persamaan di atas mensyaratkan menghitung nilai R (*Root to shoot ratio*). Prinsip dari perhitungannya yakni ratio antara biomassa bawah permukaan dengan biomassa atas permukaan sehingga dapat dirumuskan (Levy *et al.*, 2004; Van de Walle *et al.*, 2005; Somogyi *et al.*, 2008):

$$R = \frac{B_{root}}{B_{agb}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan (*Remarks*):  
 R = Nisbah akar pucuk (*Root to shoot ratio*);  
 B<sub>root</sub> = biomassa akar (kg);  
 B<sub>agb</sub> = total biomassa bagian atas (kg)

*Biomass Expansion Factor* juga dapat digunakan untuk mengkonversi biomassa batang menjadi biomassa total atau biomassa permukaan. *BEF* ini dirumuskan sebagai perbandingan antara biomassa total atau biomassa permukaan dengan biomassa batang yang dirumuskan sebagai berikut (Brown, 1997; Einnarson *et al.*, 2005):

$$BEF_{agb} = \frac{M_{agb}}{M_{stem}} \text{ dan } BEF_{total} = \frac{M_{total}}{M_{stem}} \dots\dots (6)$$

Keterangan (*Remarks*):  
 BEF = Faktor Ekspansi Biomassa (*Biomass Expansion Factor*);  
 M<sub>agb</sub> = Biomassa di atas permukaan tanah (*Above ground biomass*) yang meliputi cabang, batang, daun;  
 M<sub>total</sub> = biomassa total (*Above ground biomass*) ditambah dengan biomassa akar;  
 M<sub>stem</sub> = biomassa batang (*Stem*).

**c. Kriteria Penentuan Metode Pendugaan Biomassa Terbaik**

Kriteria yang digunakan untuk menentukan metode pendugaan biomassa terbaik antara lain:

- 1) **Uji-t** : Uji ini dilakukan untuk melihat perbedaan atau persamaan hasil dugaan dengan pengukuran secara langsung. Jika hasil dugaannya sama maka metode tersebut dapat digunakan untuk menduga biomassa.
- 2) **Bias pendugaan** : Bias adalah simpangan atau kesalahan sistematis yang nilainya bisa positif atau negatif. Bias

disebabkan kesalahan pengukuran, pemilihan metode *sampling* dan teknik pendugaan parameter (Van Laar and Akca, 1997). Nilai bias yang negatif menunjukkan bahwa model penduga simpanan karbon yang digunakan menghasilkan nilai *underestimate* dan juga sebaliknya.

- 3) **Ketelitian pendugaan**: Ketelitian berkaitan dengan adanya pengulangan dan menggambarkan sejauh mana kedekatan nilai-nilai pengukuran terhadap nilai rata-ratanya (Van Laar dan Akca, 1997). Ketelitian ditunjukkan oleh besarnya nilai simpangan baku dari kesalahan dugaan karbon (s). Nilai simpangan baku yang kecil menunjukkan bahwa model pendugaan karbon tersebut memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi.
- 4) **Ketepatan pendugaan**: Ketepatan adalah kombinasi antara bias dengan ketelitian di dalam menggambarkan jauh dekatnya nilai-nilai pengamatan terhadap nilai yang sebenarnya (Van Laar dan Akca, 1997). Ketepatan model ditunjukkan oleh nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai RMSE yang kecil menunjukkan bahwa model pendugaan karbon itu lebih akurat dalam menduga karbon.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Sebaran Biomassa Masing-Masing Bagian Tanaman**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebaran biomassa antara umur satu dengan umur yang lain berbeda-beda. Jumlah biomassa daun akan cenderung mengalami penurunan pada umur tanaman yang lebih tua. Kondisi berbeda terjadi pada bagian batang dan cabang. Sebaran biomassa bagian cabang dan batang akan mempunyai kecenderungan lebih tinggi pada umur tanaman lebih tua seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Bagian tanaman yang lain seperti akar dan ranting mempunyai sebaran biomassa yang cenderung tetap.

Tabel (Table) 2. Rata-rata biomasa masing-masing bagian tanaman pada beberapa umur (*Biomass of each plant section on several age*)

Umur, Tahun (Age, Years)	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	Akar (Roots) (kg)	Batang (Stems) (kg)	Cabang (Branch) (kg)	Ranting (Twigs) (kg)	Daun (Leafs) (kg)	Total (Total) (kg)	R	VEF	BEF
1	3,4	4,8	0,003	0,2	1,0	0,1	-	0,4	1,6	0,22	0,60	1,60
2	6,6	6,2	0,014	1,8	5,1	0,9	0,2	1,9	9,9	0,17	0,57	1,45
3	10,8	9,5	0,051	8,2	23,6	4,0	1,3	6,9	44,1	0,22	0,63	1,54
4*	13,6	15,7	0,131		66,0	5,0	1,6	4,3	92,9	-	0,68	1,17
5	16,6	20,4	0,236	23,6	134,2	10,2	3,5	8,7	174,2	0,20	0,61	1,16
6*	19,9	23,4	0,382		174,8	13,2	5,2	7,3	231,7	-	0,60	1,07
8	24,6	26,5	0,604	46,4	295,1	16,4	6,0	9,0	373,0	0,13	0,55	1,10
9	21,3	27,8	0,542	32,3	289,8	9,4	4,8	7,8	344,1	0,18	0,50	1,16
Rataan	16,0	18,5	0,293	23,0	18,3	8,5	3,0	6,0		0,16	0,58	1,25

Keterangan (Remarks):

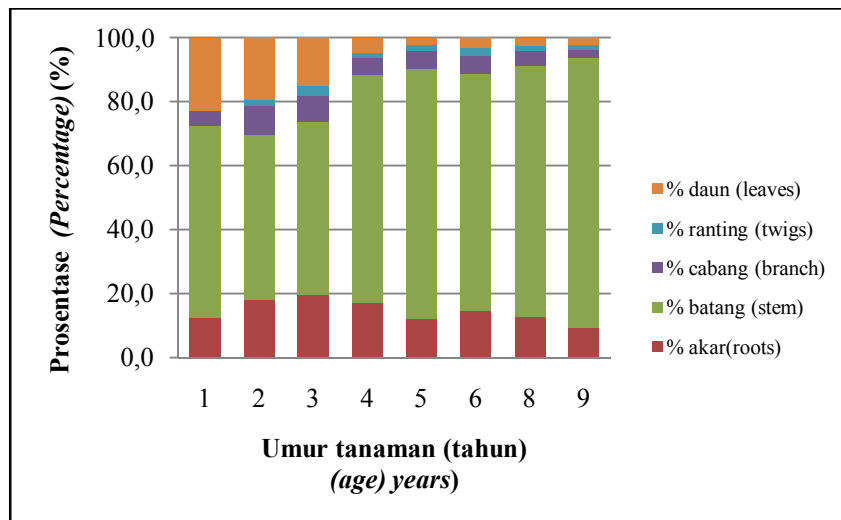
\*: umur 4 dan 6 tahun tidak dilakukan pengambilan biomassa akar karena hambatan tenaga dan alat (*age 4 and 6 wasn't taken because manpower and equipment is constrain*); D: diameter (cm); H: Tinggi (*height*: m); V: volume (*volume*: m<sup>3</sup>); R: Nisbah pucuk akar (*Root to shoot ratio*); VEF: Faktor ekspansi biomassa (*Biomass Expansion Factor based on volume*: Mg.m<sup>-3</sup>); BEF: Faktor ekspansi biomassa berdasarkan biomassa batang (*Biomass Expansion Factor based on stem biomass* : Mg.Mg<sup>-1</sup>)

Sebaran biomassa masing-masing bagian tanaman akan mempengaruhi alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman. Alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman berbeda-beda (Kirby and Potvin, 2007; Nath *et al.*, 2009; Navar, 2009). Berdasarkan hasil penelitian ini, alokasi biomassa terbesar tersimpan pada batang yakni antara 50-85%. Alokasi biomassa terkecil pada ranting (Gambar 1). Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian Ismail (2005). Hasil penelitian Ismail (2005) menunjukkan alokasi biomassa terkecil pada akar sebesar 11,7%. Berdasarkan kondisi tersebut, perbedaan lokasi mempengaruhi besarnya alokasi biomassa masing-masing bagian tanaman.

Hal ini sesuai dengan hasil studi Kraenzel *et al.* (2003); Nath *et al.* (2009); Navar (2009) menunjukkan alokasi biomassa terbesar tersimpan pada batang (> 60%). Alokasi biomasa terkecil tersimpan pada bagian daun (< 10%) (Nath *et al.*, 2009). Perbedaan alokasi biomassa antar bagian tanaman sangat tergantung dari jenis tanaman (Nath *et al.*, 2009) dan

kondisi iklim (Kraenzel *et al.*, 2003; Wauters *et al.*, 2008; Navar, 2009). Penelitian yang dilakukan Nath *et al.* (2009) dilakukan pada tanaman bambu dengan berbagai macam variasi umur. Perbedaan alokasi antara hasil penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh Nath *et al.* (2009) lebih terkait dengan perbedaan jenis.

Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan alokasi biomassa adalah umur tanaman. Pengaruh umur terhadap alokasi masing-masing bagian tanaman dapat diketahui dengan menggunakan Analisis Sidik Ragam (*Analysis of Variance, ANOVA*). Hasil *ANOVA* menunjukkan bahwa umur berpengaruh nyata terhadap alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman kecuali pada bagian ranting ( $P_{value} (0,319 > 0,05)$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa alokasi biomasa masing-masing bagian tanaman dipengaruhi oleh umur tanaman. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nath *et al.* (2009) yang menyatakan umur sangat berpengaruh terhadap besarnya alokasi biomasa pada masing-masing bagian tanaman.



Gambar (Figure) 1. Alokasi biomassa masing-masing bagian tanaman (*Biomass allocation on each plant section*)

## B. Faktor Ekspansi Biomasa (*Biomass Expansion Factor, BEF*)

### 1. Faktor Ekspansi Biomasa (BEF) ( $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Berdasarkan hasil penelitian ini nilai BEF rata-rata berkisar antara 0,44-0,71. Besarnya BEF tersebut hampir sama untuk jenis daun lebar (Lehtonen *et al.*, 2004; Lehtonen *et al.*, 2007). Besarnya BEF dipengaruhi oleh jenis tumbuhan. Jenis *Norway spruce* memiliki nilai BEF tertinggi (Fukuda *et al.*, 2003; Lehtonen *et al.*, 2004). Nilai BEF ini berbeda dari hasil penelitian dari Guo *et al.* (2010). Menurut Guo *et al.* (2010) besarnya BEF memiliki nilai lebih dari satu terutama untuk jenis-jenis konifer sedangkan untuk jenis-jenis lain kurang dari satu. Selain dipengaruhi oleh jenis, perbedaan BEF ini juga dipengaruhi oleh perbedaan tempat tumbuh (Joosten *et al.*, 2004). Faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap besarnya BEF adalah bagian tanaman (Lehtonen *et al.*, 2004). Pada jenis *Scot pine*, BEF bagian tanaman (batang dan daun) dipengaruhi oleh umur sedangkan bagian akar dan cabang mempunyai variasi BEF yang tinggi (Lehtonen *et al.*, 2004).

### 2. Faktor Ekspansi Biomasa (BEF) ( $\text{Mg}\cdot\text{Mg}^{-1}$ )

Hasil penelitian Segura and Kaninen (2005) mendapatkan nilai BEF berkisar

antara 1,4-1,8. Dari hasil penelitian tersebut, jenis tanaman tidak berpengaruh terhadap besarnya nilai BEF. Hasil penelitian ini mendapatkan nilai BEF berkisar antara 1,06-1,80. Berdasarkan hasil penelitian tersebut nilai BEF terbesar pada umur dua tahun dan paling kecil pada umur sembilan tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai BEF ini sangat dipengaruhi oleh umur. Nilai BEF ini juga terkait dengan besarnya diameter pohon. Hal ini sesuai dengan pendapat Brown (2002) yang menyatakan nilai BEF akan cenderung konstan pada diameter yang sangat besar.

## C. Nisbah Akar Pucuk (*Root to Shoot Ratio*) (R)

*Root to shoot ratio* (R) memiliki nilai yang bervariasi (Levy *et al.*, 2004; Kraenzel *et al.*, 2003; Vande Walle *et al.*, 2005). Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa nilai *Root to shoot ratio* (R) rata-rata berkisar antara 0,13-0,36 (Levy *et al.*, 2004; Kraenzel *et al.*, 2003; Van de Walle *et al.*, 2005). Levy *et al.* (2004) melakukan penelitian pada beberapa jenis daun jarum yang tumbuh di Inggris, nilai dari R terbesar pada jenis *Picea sitchensis* yakni 0,41. Hasil penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan hasil penelitian Kraenzel *et al.* (2003) pada tegakan jati di Panama. Hasil penelitian Kraenzel

*et al.* (2003) memperoleh R terbesar yakni 0,23. Penelitian ini menghasilkan nilai R terbesar yaitu 0,35 pada tegakan umur tiga tahun dan terkecil pada tegakan umur delapan tahun dengan nilai R= 0,09 (Tabel 3).

Nilai R dari hasil penelitian ini hampir sama dengan penelitian dari Kraenzel *et al.* (2003) dan Van de Walle *et al.* (2005) dengan nilai terbesar kurang dari 0,30. Hasil penelitian ini memiliki R rerata sebesar 0,16 (16%). Hal ini menandakan bahwa dalam satu pohon, 16% biomassa tersimpan di akar dan 84% biomassa tersimpan pada bagian atas tanaman (batang, cabang, ranting, dan daun). Menurut Kraenzel *et al.* (2003) besarnya nilai R tidak berkorelasi erat dengan besarnya dimensi pohon (diameter dan tinggi).

Berdasarkan Tabel 3 besarnya nilai R mempunyai kecenderungan tidak berkorelasi dengan kelas umur tegakan ( $r = 0,47$ ). Nilai R terbesar terutama pada tegakan-tegakan dengan umur yang lebih muda. Hasil *ANOVA* menunjukkan bahwa variasi kelas umur tidak berpengaruh nyata terhadap besarnya nilai R ( $F_{hitung} = 5,055$   $P_{value} = 0,06$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa kelas umur tidak mempengaruhi besarnya nilai R.

#### D. Model Alometrik Biomasa

Hasil pemilihan model terbaik menunjukkan model alometrik untuk masing-masing bagian tanaman berbeda-beda (Tabel 4). Model alometrik ini terdiri dari satu variabel bebas atau beberapa variabel bebas. Rata-rata koefisien determinasi model yang terpilih lebih dari > 60%. Hal ini berarti peubah bebas (diameter dan tinggi) model terpilih dapat menjelaskan lebih dari 60% variasi peubah tidak bebasnya (biomassa).

Model penduga biomasa pada bagian akar, batang, permukaan dapat menduga biomasa pada tingkat pohon dan tegakan ( $SA < 1\%$  dan  $SR < 10\%$ ). Pada bagian cabang, daun, dan ranting, persamaan model alometrik tidak dapat menduga biomassa pada tingkat pohon ( $SR > 10\%$ ) tetapi dapat menduga biomasa pada tingkat tegakan.

#### E. Pemilihan Metode Terbaik Pendugaan Biomasa Jenis *A. mangium*

Hasil perbandingan ini menunjukkan metode pendugaan biomasa kedua dan ketiga mempunyai dugaan yang sama dengan biomasa hasil pengukuran langsung. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji-t terhadap kedua metode dengan  $t_{hitung} < t_{tabel}$  pada taraf nyata 5% (Tabel 5).

Tabel (Table) 3. Root to shoot ratio (R) pada beberapa kelas umur (Root to shoot ratio on several on age)

Umur (Age)	Jumlah sampel (Number of sample)	Max (Max)	Min (Min)	Rerata (Average)	Standar deviasi (standard deviation)
1 tahun	3 pohon	0,27	0,19	0,22	0,045
2 tahun	3 pohon	0,26	0,13	0,17	0,074
3 tahun	3 pohon	0,35	0,15	0,22	0,109
4 tahun	-	0,22*	0,18*	0,21*	0,022*
5 tahun	4 pohon	0,22	0,18	0,20	0,029
6 tahun	-	0,27*	0,12*	0,18*	0,07*
8 tahun	5 pohon	0,18	0,09	0,13	0,037
9 tahun	5 pohon	0,27	0,12	0,18	0,064
Rerata				0,16	0,037

Keterangan (Remarks):

\* : Hasil interpolasi (Interpolation results) ; Max = Nilai maksimum (Maximum value); Min = Nilai minimum (Minimum value); stdev = Standar deviasi (Standard deviation); - = tidak dilakukan pengambilan contoh pohon di lapangan (age 4 and 6 years wasn't taken tre samples in field).



Tabel (Table) 4. Model alometrik biomassa beberapa bagian tanaman (*Biomass allometric model of various tree section*)

Bagian (Section)	Persamaan (Equation)	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> (%)	s	PRESS	SA (%)	SR (%)
Akar (Root)	$\ln y = -2,84 + 5,67 \ln D$	97,8	97,6	0,29	1,71	0,06	8,97
Batang (Stem)	$\ln y = -4,08 + 1,86 \ln D + 1,20 \ln H$	99,1	99,0	0,19	312,9	0,21	7,67
Cabang (Branch)	$\frac{y}{D^2H} = 0,0004 - 0,169D^{-2}H^{-1} + 0,0372H^{-1} - 0,0129D^{-1}$	75,4	72,5	0,00	6,28E-05	-0,06	22,97
Daun (Leafs)	$\frac{y}{D^2H} = -0,00113 - 0,131D^{-2}H^{-1} + 0,0917H^{-1} - 0,0368D^{-1}$	86,1	84,4	0,00	0,002	0,02	40,33
Ranting (Twig)	$y = -0,146 + 0,0270D^2 + 0,0917DH - 0,0368D^2H$	73,3	69,8	1,39	44,57	-0,22	37,44
AGB	$\ln y = -3,14 + 2,84 \ln D$	98,6	98,5	0,22	1,32	-0,09	3,49
Total (Total)	$\ln y = -2,92 + 2,80 \ln D$	98,6	98,5	0,21	1,25	0,09	3,61

Keterangan (Remarks):

R<sup>2</sup>= koefisien determinasi (*coefficient of determination*); R<sup>2</sup><sub>adj</sub>= koefisien determinasi terkoreksi (*coefficient of adjective determination*); s= simpangan baku (*standard deviation*); PRESS= *Predicted Residual sum of Square*; SA= Simpangan Agregat (*Agregative Deviation*); SR= Simpangan Relatif (*Relative Deviation*); AGB = Biomassa di atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass*)

Tabel (Table) 5. Hasil uji-t beberapa metode pendugaan biomasa (*t-test result on various of biomass estimation methods*)

No (No)	Metode (Method)	B_aktl	B_alo	BEF <sub>bumur</sub>	BEF <sub>brata</sub>	VEF <sub>umur</sub>	VEF <sub>rata</sub>
1	B_aktl	-	-0,287	-0,253	-4,828*	6,431*	6,45*
2	B_alo	-0,287	-	0,207	-1,803	5,607*	5,692*
3	BEF <sub>bumur</sub>	-0,253	0,207	-	-5,258*	6,246*	6,25*
4	BEF <sub>brata</sub>	-4,828*	-1,803	-5,258*	-	6,201*	6,241*
5	VEF <sub>umur</sub>	6,431*	5,607*	6,246*	6,201*	-	-2,821*
6	VEF <sub>rata</sub>	6,45*	5,692*	6,25*	6,241*	-2,821*	-

Keterangan (Remarks):

B\_aktl= hasil pengukuran langsung (*direct biomass*); B\_alo= pendugaan biomasa pohon menggunakan persamaan alometrik (*the result biomass estimation apply allometric equation*); BEF<sub>bumur</sub>= pendugaan biomasa pohon menggunakan BEF per kelas umur (*biomass estimation use every age of BEF*); BEF<sub>brata</sub>= pendugaan biomasa pohon menggunakan BEF (MgMg<sup>-1</sup>) rerata seluruh umur (*biomass estimation use average of BEF (MgMg<sup>-1</sup>)*); VEF<sub>umur</sub>= pendugaan biomasa pohon menggunakan BEF per kelas umur (*biomass estimation use every age of BEF (MgMg<sup>-3</sup>)*); VEF<sub>rata</sub>= pendugaan biomasa pohon menggunakan BEF rerata (*biomass estimation use average of BEF (Mg.m<sup>-3</sup>)*); t<sub>tabel(0,025,29)</sub>: 2,364

Metode-metode penduga biomasa yang lain mempunyai hasil dugaan berbeda dengan hasil pengukuran langsung. Hal ini dikarenakan hasil uji-t untuk metode lain (4. BEF<sub>b</sub> rata-rata (Mg.Mg<sup>-1</sup>) sebesar: 1,25; 5. VEF umur (Mg.m<sup>-3</sup>) dengan besar sesuai Tabel 2; dan 6. VEF umur (Mg.m<sup>-3</sup>) sebesar 0,58) menunjukkan t<sub>hitung</sub> > t<sub>tabel</sub> atau hasil dugaan ber-

beda dengan hasil pengukuran langsung. Hasil ini mempunyai implikasi bahwa pendugaan biomasa jenis *Acacia mangium* hanya dapat menggunakan metode dua (persamaan allometrik:  $\ln y = -2,92 + 2,80 \ln D$ ) dan metode tiga (BEF<sub>b</sub> umur (Mg-Mg<sup>-1</sup>) dengan besarnya sesuai Tabel 1 sebagai metode pendugaan biomasa.

Tabel (Table) 6. Bias, simpangan baku dan RMSE dari beberapa metode penduga biomasa (*Bias, standard deviation, RMSE (root mean square error from a number of biomass estimation methods)*)

No (number)	Metode (Methods)	Bias (Bias) (%)	Simpangan baku (Standard Deviation (s))	RMSE (Root Mean Square Errors (%))
1	B_alo	2,54	0,22	0,16
2	BEF <sub>umur</sub>	0,36	0,07	0,02

Keterangan (Remarks):

B\_alo= pendugaan biomassa pohon menggunakan persamaan alometrik (*the result biomass estimation apply allometric equation*); BEF<sub>umur</sub>= pendugaan biomassa pohon menggunakan BEF per kelas umur (*biomass estimation use every age of BEF*)

Berdasarkan hasil uji-t tersebut, pemilihan metode terbaik dilakukan pada metode dua (persamaan alometrik:  $\ln y = -2.92 + 2.80 \ln D$ ) dan metode tiga (BEF<sub>umur</sub> = Faktor Ekspansi Biomasa berdasarkan biomassa batang per umur dengan besarnya sesuai Tabel 1. Pemilihan metode terbaik menggunakan kriteria bias, simpangan baku, dan RMSE. Hasil pemilihan metode terbaik menunjukkan metode tiga adalah metode yang terbaik dalam menduga biomassa. Metode 3 ini memiliki nilai terbaik untuk keseluruhan kriteria. Nilai dari masing-masing kriteria tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil tersebut, metode tiga digunakan dalam penentuan biomassa pohon jenis *A. mangium*. Kekurangan metode tiga yakni mensyaratkan pengukuran biomassa batang secara langsung. Pengukuran biomassa batang secara langsung ini harus melakukan penebangan terhadap pohon yang akan diduga besarnya biomasanya sehingga metode tiga ini tidak dapat diterapkan untuk pendugaan biomassa dalam skala luas. Hal ini dapat diatasi dengan membentuk persamaan alometrik penduga biomassa batang yakni  $\ln y = -4,08 + 1,86 \ln D + 1,20 \ln H$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 99,1%.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Alokasi biomassa masing-masing bagian tanaman berbeda-beda. Alokasi biomassa terbesar pada bagian batang

yakni lebih dari 50% dan terkecil pada bagian ranting < 5%.

2. Besarnya BEF ( $Mg.m^{-3}$ ) jenis *Acacia mangium* Wild. pada umur 1-9 tahun berkisar antara 0,44-0,71  $Mg.m^{-3}$ .
3. Pada umur 1-9 tahun BEF ( $Mg.Mg^{-1}$ ) memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai BEF jenis *Acacia mangium* Wild. berkisar antara 1,06-1,80.
4. Rata-rata nilai *Root to shoot ratio* (R) yakni 0,16. Nilai tersebut tidak dipengaruhi oleh kelas umur.
5. Model alometrik yang digunakan untuk menduga beberapa bagian tanaman jenis *Acacia mangium* Wild. yakni:
  - a. Bagian akar :  
 $\ln \text{akar} = -2,84 + 5,67 \ln D$ , dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 97,8%
  - b. Bagian batang:  
 $\ln \text{batang} = -4,08 + 1,86 \ln D + 1,20 \ln H$  dengan  $R^2 = 99,1\%$
  - c. Bagian cabang:  
 $\frac{\text{cabang}}{D^2H} = \frac{0,0004 - 0,169D^{-2}H^{-1}}{+0,0372H^{-1} - 0,0129D^{-1}}$  dengan  $R^2 = 75,4\%$
  - d. Bagian daun:  
 $\frac{\text{daun}}{D^2H} = \frac{0,00113 - 0,131D^{-2}H^{-1}}{+0,0917H^{-1} - 0,0368D^{-1}}$  dengan  $R^2 = 86,1\%$
  - e. Bagian ranting:  
 $\text{Ranting} = -0,146 + 0,0270D^2 + 0,0917DH - 0,0368D^2H$  dengan  $R^2 = 73,3\%$
  - f. Bagian di atas permukaan tanah:  
 $AGB = -3,14 + 2,84 \ln D$  dengan  $R^2 = 98,6\%$
  - g. Biomasa total:  
 $\text{total} = -2,92 + 2,80 \ln D$  dengan  $R^2 = 98,6\%$ .

6. Metode pendugaan biomasa terbaik adalah menggunakan BEF ( $\text{Mg.Mg}^{-1}$ ) per kelas umur.

## B. Saran

1. Aplikasi metode penduga biomassa BEF ( $\text{Mg.Mg}^{-1}$ ) per kelas umur membutuhkan model alometrik:  $\ln \text{ batang} = -4,08 + 1,86 \ln D + 1,20 \ln H$  untuk menduga biomassa batang.
2. Model allometrik yang dihasilkan dapat digunakan pada kelas diameter antara 3,04-30,4 cm dan harus dilakukan validasi data data-data yang akan dilakukan pendugaan. Penggunaan model allometrik harus memperhatikan kondisi dari tegakan dari model ini dibuat yakni jenis tanah Podsolik Merah Kuning.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT.Inhutani II, Sub Unit Semaras Kalimantan Selatan atas kesempatan dan ijin lokasi penelitian serta Supriyadi dan Edy Suryanto (Teknisi Litkayasa Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru) atas bantuannya dalam pengambilan data di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akinnifesi, F. K., & Akinsami, F. A. (1995). Linear equation for estimating the merchantable wood volume of *Gmelina arborea* Roxb. in Southwest Nigeria. *Journal of Tropical Science*, 7(3), 391-397.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1992). Above-ground biomass estimate for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17, 8-18.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of Tropical Forest: a Primer*. Rome, Italy: FAO Forestry Paper 134.
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116, 363-372.
- Chaidez Jose de J.N. (2009). Allometric equation and expansion factor for tropical dry forest trees of Eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Sub-tropical Agroecosystem*, 10,45-52.
- Draper, N., & Smith, A. (1992). *Analisis regresi terapan*. (Terjemahan). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- Einnarson, S. T., Sigurdsson, B. D., & Snorrason, A. (2005). Estimating aboveground biomass for Norway Spruce (*Picea abies*) in Iceland. *Buvisindi*, (9), 53-63.
- Fukuda, M., Ieharaa, T., & Matsumoto, M. (2003). Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management*, 184(2003), 1-16.
- Guo, Z., Fang, J., Pan, Y., & Birdsey, R. (2010). Inventory-based estimates of forest biomass carbon stocks in China: A comparison of three methods. *Forest Ecology and Management*, 259,1225-1231.
- Hairiah, J., Sitompul, S. M., van Noordwijk, M., Palm, C. A. (2001). *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. Bogor: ICRAF.
- Haygreen, J. G., & Bowyer, J. L. (1993). *Hasil hutan dan ilmu kayu: suatu pengantar*. (Terjemahan). Jogjakarta: Gadjah Mada Press. (Forest product and wood science an introduction 1993).
- Heriansyah, I., Heriyanto, N. M., Siregar, C. A., & Kiyoshi, M. (2003). Estimating carbon fixation potential of plantation forests: case study on *Acacia mangium* plantations. *Buletin Penelitian Hutan*, 634, 1-14.
- Ismail, A. Y. (2005). *Dampak kebakaran hutan terhadap potensi kandungan karbon pada tanaman Acacia mangium Willd di Hutan Tanaman Industri*. (Tesis). Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol.4). Agriculture, forestry and other land use (AFLOLU). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C., & Schulte, A. (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189, 87–96.
- Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., & Potvin, C. (2003). Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantation, Panama. *Forest Ecology and Management* 173 : 213-225.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equation for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forest. *Forest Ecology Management*, 146: 199 - 209.
- Kirby, K. R., & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246, 208–221.
- Levy PE, Hale SE, and Nicoll BC. 2004. Biomass expansion factors and root : shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry*, 77,(5), 421-430.
- Lehtonen, A., Cienciala, E., Tatarinov, F., & Makipaa, R. (2007). Uncertainty estimation of biomass expansion factor for Norway spruce in the Czech Republic. *Ann. For.Sci* (2007),133-140.
- Lehtonen A, Makipaa R, Heikkinen J, Sievanen R, and Liski J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for scot pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forest. *Forest Ecology and Management*, 188,211-224.
- Losi CJ, Siccama TG, Condit R, and Morales JE. 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology Management*, (184), 355–368.
- MacDicken, K. (1997). *Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry project*. USA: Winrock A International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, VA. 22209.
- Nath, A. J., Das, G., & Das, A. K. (2009). Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1188–1196.
- Navar, J. (2009). Allometric equation for tree species and carbon stock for forest of northwest Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257, 427 – 434.
- Samsedin, I., Heriyanto, N. M., & Siregar, C. A. (2009). Biomassa karbon pada daerah aliran sungai (DAS) Batang Toru, Sumatera Utara. *Info Hutan*, VI (2), 111-124.
- PT (Persero) Inhutani II Pulau Laut. (2010). *Rencana Karya Tahunan-Usulan Pengelolaan Hasil Hutan Kayu Hutan Tanaman Industri 2010*. Jakarta. (Tidak diterbitkan).
- Segura, M., & Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, 37(1), 2-8.
- Somogyi, Z., Teobaldelli, M., Federici, G., Pagliari, V., Grassi, G., & Seufert, G. (2008). Allometric biomass and carbon factors database. *iForest*, 1,107 – 113.
- Spurr, S. H. (1952). *Forest inventory*. United States of America: The Ronald Press Company.
- Uhl, C., Buschbacher, R., & Serro, E. A. S. (1988). Abandoned pastures in Eastern Amazonia I. Pattern of

- plants succession. *J.Ecol* ,76, 663–681.
- Van Laar, A., & Akça, A. (1997). *Forest Mensuration* (p.418). Gottingen: Cuvillier Verlag.
- Vande, W. I., van Camp, N., Perrin, D., Lemeur, R., Verheyen, K., van We-semael, B., & Laitat, E. (2005). Growing Stock-based assessment of the carbon stock in the Belgian forest biomass. *Ann.For.Sci.*, 62, 853–864.
- Wauters, J. B., Coudert, S., Grallien, E., Jonard, M., & Ponette, Q. (2008). Carbon stock in rubber tree plantation in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 255, 2347-2361.