

**PERSAMAAN ALLOMETRIK GENERA *Intsia* sp.  
UNTUK PENDUGAAN BIOMASA ATAS TANAH  
PADA HUTAN TROPIS PAPUA BARAT**  
*(Allometric Equation of Intsia sp. Genera for Biomass Estimation on Tropical  
Forest in Papua)*

Oleh/By :

Sandhi Imam Maulana dan Jarot Pandu P. A.

Balai Penelitian Kehutanan Manokwari-Balitbang Kementerian Kehutanan

Jl. Inamberi, Susweni PO BOX 159, Manokwari 98313-Papua Barat

Telp. (0986) 213437, Fax (0986) 213441

**ABSTRACT**

*This research aims at producing allometric equations, specifically to site and genera, to estimate total above ground biomass of Intsia genera in West Papua tropical forest. In this research, allometric equations was build based on the relation between Diameter at Breast Height (DBH), Commercial Bole Height (CBH), and Wood Density (WD) against Total Above Ground Biomass (TAGB). Allometric equations was build following exponential growth basic equations. The final result shows that the most proper equation to estimate total above ground biomass for Intsia genera is  $\text{Log TAGB (Kg/tree)} = -0.762 + 2.51 \text{ Log DBH (cm)}$  (F statistic = 797.51; R-sq (adj) 98.50%; and Average deviation = 1.70%).*

**Keywords:** *Allometric, Intsia, TAGB, West Papua*

**ABSTRAK**

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan persamaan alometrik untuk menilai jumlah total kandungan biomassa *Intsia* sp. di hutan tropis Papua Barat. Persamaan alometrik disusun berdasarkan hubungan antara diameter pohon setinggi dada (Diameter atau Breast Height: DBH), tinggi batang komersil (Commercial Bole Height: CBH), dan kerapatan kayu dengan total biomassa di atas permukaan tanah (Total Above Ground Biomass: TAGB). Persamaan alometrik dibuat mengikuti persamaan dasar pertumbuhan secara eksponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persamaan yang tepat untuk menilai total biomassa *Intsia* sp. di atas permukaan tanah adalah  $\text{Log TAGB (kg/pohon)} = -0,762 + 2,51 \text{ Log DBH (cm)}$  (F statistic = 797,51; R-sq (adj) 98,50%; dan deviasi rata-rata = 1,70%).

**Kata kunci:** Alometrik, *Intsia*, TAGB, Papua Barat

**I. PENDAHULUAN**

Pendugaan biomassa yang akurat pada hutan tropis sangat berguna untuk berbagai aplikasi, mulai dari eksploitasi kayu komersial hingga siklus karbon global. Terutama pada konteks terbaru dimana pendugaan total biomassa atas tanah (TAGB) dengan tingkat akurasi yang cukup untuk menghadirkan dugaan kenaikan atau penurunan stok karbon yang tersimpan pada hutan dengan periode relatif singkat (2-10 tahun) menjadi penting. Di bawah *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), negara-negara harus melaporkan secara teratur kondisi sumberdaya hutannya melalui berbagai mekanisme yang

muncul seperti *Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries* (REDD), dan negara-negara tersebut akan membutuhkan suatu hasil pendugaan stok karbon baik temporal maupun spasial yang dapat diandalkan (UNFCCC, 2008).

Stok karbon pada umumnya diturunkan dari nilai biomassa atas tanah, dengan mengasumsikan bahwa 50% nilai biomassa tersebut tersusun atas karbon. Metode yang paling akurat untuk pendugaan biomassa adalah melalui pendekatan destruktif dengan penebangan pohon-pohon dan menimbang bobot keseluruhan bagian-bagiannya. Pendekatan destruktif tersebut sering digunakan untuk memvalidasi berbagai metode lainnya, yang cenderung kurang mengganggu dan tidak berbiaya tinggi, seperti pendugaan stok karbon dengan pengukuran *nondestructive in-situ* dan *remote sensing* (Clark *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2003).

Berbagai persamaan allometrik yang dibangun berdasarkan pengukuran-pengukuran contoh secara destruktif memudahkan dalam pengumpulan komponen biofisik, seperti diameter setinggi dada (DBH) dan tinggi kayu komersial (CBH). Pendugaan stok karbon pada area yang luas menggunakan *remote sensing* memerlukan dukungan hubungan antara refleksi kanopi yang terekam pada sensor dengan stok karbon yang diukur secara langsung atau ditaksir secara tidak langsung di lapangan (Chiesi *et al.*, 2005; Gibbs *et al.*, 2007; Myeong *et al.*, 2006; Tan *et al.*, 2007).

Hingga saat ini, berbagai persamaan allometrik untuk multi-spesies pada hutan tropis di Indonesia telah dipublikasikan dalam Basuki *et al.* (2009), Brown (1997), Hashimoto *et al.* (2000), Ketterings *et al.* (2001), dan Yamakura *et al.* (1986), dimana berbagai persamaan allometrik tersebut dibangun berdasarkan hubungan antara DBH, tinggi pohon, dan berat jenis kayu terhadap nilai biomassa atas tanah.

Dalam rangka mengurangi ketidakpastian (*uncertainty*), diperlukan suatu metode perhitungan stok karbon yang akurat. Pembangunan suatu persamaan allometrik spesifik spesies dan *site* yang baru diperlukan untuk memperoleh tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan persamaan-persamaan allometrik spesifik genera dan lokasi untuk pendugaan biomassa atas tanah genera *Intsia* pada hutan tropis Papua Barat.

## II. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada wilayah konsesi Ijin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu-Hutan Alam (IUPHHK-HA) PT. Arfak Indra yang ada di Kabupaten Fak-Fak Provinsi Papua Barat pada bulan Mei 2010 dengan genera dominan *Intsia*. Pada lokasi tersebut 13 pohon dengan selang diameter 5-40 cm ditebang sebagai dasar pengukuran parameter pohon yang dijadikan sebagai predictors dalam penyusunan persamaan.

Pemilihan pohon yang ditebang dilaksanakan berdasarkan data inventarisasi yang dimiliki pemegang IUPHHK-HA serta hasil *ground check*. Dalam rangka memperoleh sampel pohon-pohon yang representatif, distribusi diameter dan pengelompokan genera dilaksanakan pada saat pemilihan pohon.

Set data yang dikumpulkan adalah berupa satu set data genera *Intsia*, dimana set data tersebut terdiri atas data parameter pohon yang diukur dengan selang diameter 5-40 cm. Set data tersebut dihasilkan dari penarikan contoh destruktif pada pohon-pohon terpilih. Sebelum melaksanakan penebangan, DBH diukur terlebih dulu. Setelah penebangan, tinggi

pohon diukur. Diameter pohon diukur tiap interval 2 m untuk batang dan cabang utama. Sebagai tambahan, tinggi dan diameter tunggak juga diukur. Pengukuran tersebut digunakan untuk menaksir volume dan berat kering. Volume tiap seksi dihitung berdasarkan rumus Smalian seperti yang disarankan oleh De Gier (2003), yaitu:

$$v = [(g_1 + g_2)/2] * l$$

Dimana:  $v$  = volume sortimen tiap seksi ( $m^3$ )  
 $g_1$  = luas penampang lintang batang bagian pangkal ( $m^2$ )  
 $g_2$  = luas penampang lintang batang bagian ujung ( $m^2$ )  
 $l$  = panjang sortimen yang diukur (m)

Timbangan meja dengan kapasitas 2000 g digunakan untuk menimbang specimen yang lebih kecil. Sampel yang diambil dikumpulkan dengan ulangan dua kali dan disimpan dalam kantong plastik bersegel untuk dibawa ke laboratorium dalam rangka pengukuran kadar air.

Berat kering didapatkan melalui pengeringan sampel pada temperatur  $105^\circ C$  hingga berat konstan diperoleh (Ketterings *et al.*, 2001; Stewart *et al.*, 1992). Untuk menentukan berat jenis kayu, beberapa sampel diambil dari bagian terbawah, tengah dan teratas dari batang. Sampel-sampel tersebut diambil dalam bentuk silinder, sehingga bagian luar dan dalam batang tercakup hingga kulit kayu (Nelson *et al.*, 1999). Berat jenis kayu dihitung berdasarkan metode *water replacement*. Berat jenis kayu merupakan berat kering oven dibagi volume saturasi.

Berat kering ranting, cabang dan batang dengan diameter  $\geq 15$  cm dihitung dengan mengalikan volume basah tiap seksi dengan berat jenis kayu. Untuk bagian-bagian pohon lainnya, berat kering dihitung dengan mengalikan berat basah terhadap rasio berat kering/berat basah dari sampel-sampel yang diambil. Berat kering total suatu pohon didapatkan dari penjumlahan berat kering batang, cabang, ranting dan dedaunan. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, persamaan-persamaan allometrik dibangun berdasarkan model dasar persamaan seperti yang telah disarankan Basuki *et al.* (2009), yaitu  $TAG = c + \alpha(DBH)$ ;  $TAGB = c + \alpha(DBH) + \beta(CBH)$ ; dan  $TAGB = c + \alpha(DBH) + \beta(WD)$ .

Se $\hat{Y}_i$ ; lum persamaan allometrik disusun, hubungan antara variabel independen dan dependen diperiksa menggunakan *scatter plot*, apakah kedua variabel tersebut berhubungan secara eksponensial. Variabel independen mencakup diameter setinggi dada (DBH), tinggi bebas cabang (CBH) dan berat jenis kayu (WD), sedangkan variabel dependen adalah total biomassa atas tanah (TAGB). Perbandingan dan seleksi model dilaksanakan berdasarkan nilai F hitung, R-sq, R-sq (adj) dan simpangan rata-ratanya yang dinyatakan dalam satuan persen (%) dan dihitung berdasarkan rumus

$$\bar{S}(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{Y}_i - Y_i|}{Y_i}$$

oleh Basuki *et al.* (2009), yaitu:

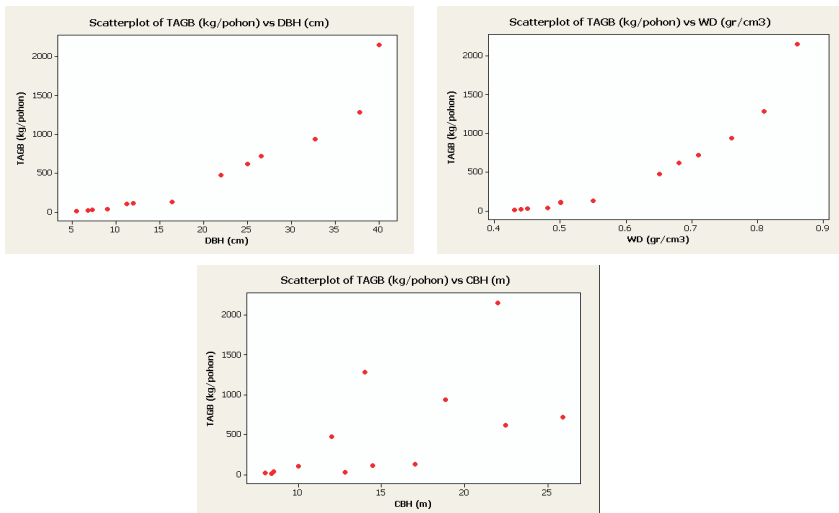
Dimana: = simpangan rata-rata (%)  
= bobot kering (biomasa) prediksi (kg)  
 $Y_i$  = bobot kering (biomasa) aktual (kg)  
 $n$  = jumlah sampel

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *scatter plot* yang telah dibangun dari data perhitungan yang tersaji pada Tabel 1, terlihat bahwa variabel independen diameter setinggi dada (DBH) dan berat jenis kayu (WD) membentuk hubungan *exponential growth* terhadap variabel dependen total biomassa atas tanah (TAGB) seperti yang tersaji pada Gambar 1. Pola hubungan exponential growth tersebut menunjukkan bahwa sampel pohon dengan selang diameter 5-40 cm masih berada pada masa pertumbuhan. Karena apabila sampel telah mencapai puncak pertumbuhan, maka hubungan yang terbentuk berupa pola sigmoid.

Tabel (Table) 1. Parameter Dasar Penyusunan Persamaan Penduga Biomassa Atas Tanah

No.	DBH (cm)	CBH (m)	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Biomassa (kg/pohon)
1	5.5	8.37	0.43	12.422
2	6.8	8	0.44	19.050
3	7.3	12.8	0.45	26.313
4	9	8.5	0.48	35.658
5	11.2	10	0.50	100.760
6	12	14.45	0.50	111.486
7	16.4	17	0.55	129.900
8	22	12	0.65	473.711
9	25	22.45	0.68	618.499
10	26.6	25.9	0.71	721.133
11	32.7	18.86	0.76	935.837
12	37.8	14	0.81	1283.200
13	40	22	0.86	2148.831



Gambar (Figure) 1. *Scatter Plot* Hubungan Antara Variabel Independen Terhadap Variabel Dependennya (*Scatter plot of relationship between independent variable and dependent variable*)

Seperti yang tersaji pada Gambar 1, terlihat bahwa variabel independen tinggi bebas cabang (CBH) membentuk pola tidak tentu terhadap variabel dependen total biomassa atas tanah, sehingga variabel CBH tidak dapat digunakan sebagai *predictor* dalam model persamaan. berdasarkan pola hubungan *exponential growth* disusunlah berbagai persamaan allometrik seperti yang tersaji pada Tabel 2.

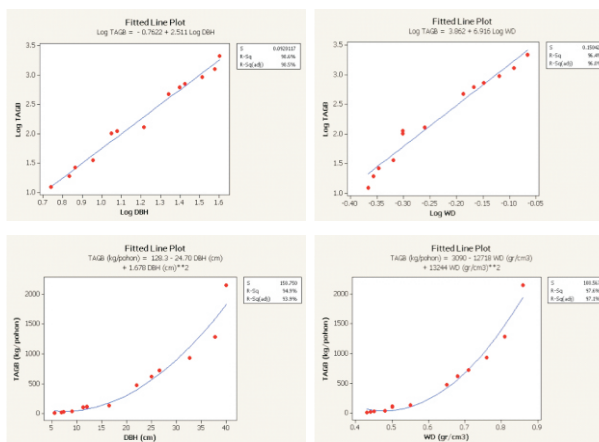
Tabel (Table) 2. Hasil Penyusunan Persamaan Penduga Biomassa Atas Tanah (*Result of Equation Assessment of above ground biomass*)

No.	Persamaan Penduga	R-sq	R-sq (adj)	F Hitung	Simpangan Rata-rata (%)
1	$\text{Log TAGB} = -0.762 + 2.51 \text{ Log DBH}$	98.60%	98.50%	797.51	1.70
2	$\text{Log TAGB} = 3.86 + 6.92 \text{ Log WD}$	96.40%	96.00%	291.52	3.90
3	$\text{TAGB} = 3090 - 12718 \text{ WD} + 13244 \text{ WD}^2$	97.60%	97.10%	204.6	46.06
4	$\text{TAGB} = 128 - 24.7 \text{ DBH} + 1.68 \text{ DBH}^2$	94.90%	93.90%	93.03	27.65

Keterangan: TAGB = Total Above Ground Biomass (Kg/Pohon); DBH=Diameter at Breast Height (cm); WD = Wood Density (gr/cm<sup>3</sup>)

Untuk memperjelas hubungan antar variabel dalam masing masing persamaan yang telah dibangun, maka dibangunlah *fitted line plot* seperti yang tersaji pada Gambar 2. Berdasarkan hasil yang termuat dalam Tabel 2, maka model persamaan yang dipilih berdasarkan ukuran kedekatan variabel independen terhadap variabel dependennya adalah persamaan pertama, yakni  $\text{Log TAGB} = -0.762 + 2.51 \text{ Log DBH}$ . Nilai F hitung persamaan pertama sebesar 797.51, melebihi nilai F tabel pada selang kepercayaan 99% sebesar 3.51, yang berarti sisi penduga/*predictor* berpengaruh sangat nyata terhadap sisi *response*/hasil dugaan. Selain itu nilai R-sq (adj) persamaan pertama tersebut menunjukkan bahwa hasil pendugaan berdasarkan variabel DBH mampu mendekati nilai nyata 98.50%.

Nilai tersebut lebih besar daripada tiga persamaan lainnya yang hanya mencapai 97.10%. Nilai simpangan rata-rata yang hanya sebesar 1.70%, menunjukkan bahwa nilai biomassa hasil pendugaan persamaan pertama hanya menyimpang rata-rata sebesar 1.70% dari nilai aktual hasil pengukuran untuk seluruh pohon pada selang 5-40 cm. Selain itu, kemudahan dalam pengukuran variabel independen DBH juga menjadi dasar pertimbangan penentuan persamaan pertama sebagai persamaan yang terpilih.

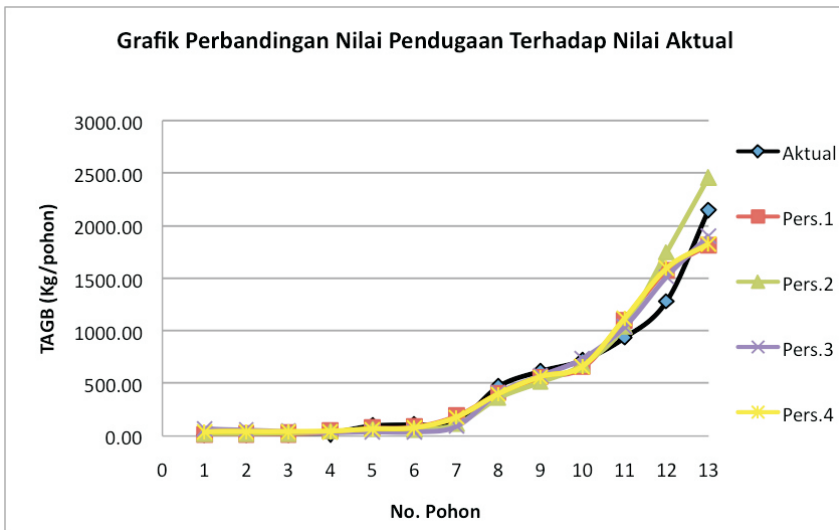


Gambar (Figure) 2. *Fitted Line Plot* Untuk Masing-masing Persamaan Penduga (*Fitted Line Plot for estimated equation respectively*)

Adapun hasil perbandingan nilai pendugaan total biomassa atas tanah pada pohon genera *Intsia* terhadap nilai aktualnya dapat dilihat dalam Tabel 3. Data pada Tabel 3 kemudian divisualkan dalam suatu grafik perbandingan untuk memperjelas hasil perbandingan, seperti yang tersaji pada Gambar 3.

Tabel (Table) 3. Hasil Perbandingan Nilai Pendugaan TAGB Terhadap Nilai Aktualnya (*Ratio of TAGB estimated on actual value*)

No.	DBH (cm)	WD (gr/cm <sup>3</sup> )	Total Above Ground Biomass (Kg/tree)				
			Aktual	Pers.1	Pers.2	Pers.3	Pers.4
1	5.5	0.43	12.42	12.48	21.70	67.67	42.97
2	6.8	0.44	19.05	21.26	24.01	60.09	37.72
3	7.3	0.45	26.31	25.41	29.87	47.08	37.22
4	9	0.48	35.66	42.97	42.37	37.04	41.78
5	11.2	0.50	100.76	74.39	63.06	44.21	62.10
6	12	0.50	111.49	88.46	61.03	42.78	73.52
7	16.4	0.55	129.90	193.76	111.12	95.63	174.77
8	22	0.65	473.71	405.02	360.70	410.95	397.72
9	25	0.68	618.50	558.25	511.52	575.30	560.50
10	26.6	0.71	721.13	652.31	679.08	738.27	659.68
11	32.7	0.76	935.84	1095.25	1040.14	1040.43	1116.72
12	37.8	0.81	1283.20	1575.81	1746.10	1514.28	1594.79
13	40	0.86	2148.83	1816.23	2460.40	1902.90	1828.00



Gambar (Figure) 3. Grafik Perbandingan Nilai Pendugaan Terhadap Nilai Aktual (*Ratio graph of estimated value on actual value*)

## Perbandingan Dengan Hasil Penelitian Yang Telah Dipublikasikan Sebelumnya

Dari segi aplikasi model, persamaan allometrik bersifat spesifik terhadap spesies dan lokasi. Sehingga persamaan-persamaan allometrik tidak dapat dibandingkan untuk spesies dan lokasi yang berlainan. Akan tetapi dari segi susunan variabel dan bentuk persamaan, berbagai persamaan allometrik dapat dibandingkan sebagai tolak ukur efisiensi pengukuran. Adapun dalam penelitian ini, hasil pemilihan model diujikan terhadap tiga model persamaan allometrik untuk hutan tropis multi spesies di Indonesia yang telah dipublikasikan sebelumnya, yaitu oleh Basuki *et al.* (2009), Brown (1997), dan Ketterings *et al.* (2001).

Basuki *et al.* (2009) telah membangun persamaan allometrik untuk multi-spesies kayu komersial berdasarkan data yang dikumpulkan dari hutan tropis dipterocarp di daerah Kalimantan Timur. Brown (1997) telah membangun berbagai persamaan allometrik untuk hutan tropis berdasarkan data yang sebagian besar dikumpulkan dari Kalimantan. Ketterings *et al.* (2001) telah membangun persamaan allometrik pada hutan sekunder campuran di Sumatra. Perbandingan susunan variabel dan bentuk berbagai model persamaan allometrik tersebut tersaji pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel (Table) 4. Perbandingan Persamaan Terpilih Dengan Berbagai Persamaan Allometrik yang Telah Dipublikasikan Sebelumnya (*Ratio between selected equation and several published equation*)

No.	Persamaan	Selang Diameter	R <sup>2</sup> adj
1	$\text{Log (TAGB)} = -0.762 + 2.51 \text{ Log (DBH)}$ {persamaan terpilih penelitian ini}	5-40 cm	98.50%
2	$\text{Ln (TAGB)} = -1.498 + 2.234 \text{ Ln (DBH)}$ {Basuki <i>et al.</i> (2009)}	6-200 cm	98.10%
3	$\text{TAGB} = 0.139 \text{ DBH}^{2.32}$ {Brown (1997)}	5-40 cm	89.00%
4	$\text{TAGB} = 0.066 \text{ DBH}^{2.59}$ {Ketterings <i>et al.</i> (2001)}	8-48 cm	95.40%

Keterangan: TAGB = *Total Above Ground Biomass* (Kg/Pohon); DBH=*Diameter at Breast Height* (cm).

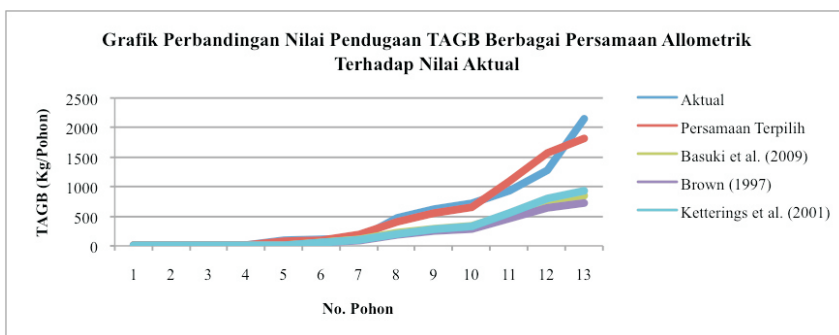
Berdasarkan perbandingan pada Tabel 4 di atas terlihat bahwa persamaan terpilih pada penelitian ini memiliki bentuk persamaan dasar yang sama dengan tiga persamaan allometrik yang telah dipublikasikan sebelumnya, yaitu  $\text{TAGB} = a \text{ DBH}^b$ , yang dapat juga dinyatakan dalam bentuk logaritma (apabila kurva hubungan antara TAGB dan DBH membentuk pola pertumbuhan eksponensial)  $\text{Log (TAGB)} = \text{Log (a)} + b \text{ Log (DBH)}$ , atau dalam bentuk logaritma natural (apabila kurva hubungan antara TAGB dan DBH membentuk pola sigmoid)  $\text{Ln (TAGB)} = \text{Ln (a)} + b \text{ Ln (DBH)}$ .

Menurut Ketterings *et al.* (2001), pemilihan variabel DBH akan meningkatkan efisiensi pengukuran dan mengurangi ketidakpastian pada hasil pengukuran berdasarkan persamaan yang telah dibentuk. Sedangkan pemilihan variabel tinggi pohon cenderung akan menurunkan efisiensi pengukuran karena variabel tinggi pohon lebih sulit diukur dari pada DBH. Perbandingan hasil pendugaan total biomasa pohon di atas permukaan tanah (TAGB) masing-masing persamaan allometrik terhadap hasil pengukuran aktual di lapangan tersaji pada Tabel 5.

Tabel (Table) 5. Perbandingan Hasil Pendugaan Nilai TAGB Berdasarkan Persamaan Allometrik yang telah Dipublikasikan Sebelumnya (*The Ratio of TAGB estimated based on published allometric equation*)

No. Pohon	DBH (cm)	TAGB (Kg/Pohon)				
		Aktual	Persamaan Terpilih	Basuki <i>et al.</i> (2009)	Brown (1997)	Ketterings <i>et al.</i> (2001)
1	5.5	12.42	12.48	10.08	7.26	5.46
2	6.8	19.05	21.26	16.19	11.87	9.46
3	7.3	26.31	25.41	18.97	13.99	11.36
4	9	35.66	42.97	30.28	22.74	19.54
5	11.2	100.76	74.39	49.36	37.77	34.44
6	12	111.49	88.46	57.59	44.33	41.17
7	16.4	129.9	193.76	115.71	91.51	92.47
8	22	473.71	405.02	223.05	180.90	197.89
9	25	618.5	558.25	296.77	243.35	275.56
10	26.6	721.13	652.31	340.89	281.02	323.58
11	32.7	935.84	1095.25	540.66	453.70	552.36
12	37.8	1283.2	1575.81	747.38	635.03	803.98
13	40	2148.83	1816.23	848.06	724.09	930.85

Untuk memperjelas hasil perbandingan nilai TAGB berdasarkan berbagai persamaan allometrik tersebut, data pada Tabel 5 divisualisasikan dalam sebuah grafik seperti yang tersaji pada Gambar 4. Berdasarkan grafik pada Gambar 4, jelas terlihat bahwa hasil pendugaan berdasarkan persamaan allometrik yang disusun oleh Basuki *et al.* (2009), Brown (1997) dan Ketterings *et al.*, (2001) cenderung *underestimate* terhadap hasil pengukuran aktual di lapangan. Kondisi tersebut dapat terjadi karena sifat spesifik dari persamaan allometrik yang terbatas penggunaannya pada spesies dan lokasi tertentu. Persamaan allometrik yang paling sesuai untuk menduga TAGB pada kawasan hutan tropis Papua Barat, adalah persamaan yang disusun berdasarkan data yang dikumpulkan dari dalam kawasan hutan tropis Papua Barat.



Gambar (Figure) 4. Grafik Perbandingan Nilai Pendugaan TAGB Berbagai Persamaan Allometrik Terhadap Nilai Aktual (*The ratio graph of TAGB estimated value of several allometric equation on actual value*)



#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, telah tersusun empat persamaan penduga biomassa atas tanah yakni  $\text{Log TAGB} = -0.762 + 2.51 \text{ Log DBH}$ ;  $\text{Log TAGB} = 3.86 + 6.92 \text{ Log WD}$ ;  $\text{TAGB} = 3090 - 12718 \text{ WD} + 13244 \text{ WD}^2$ ;  $\text{TAGB} = 128 - 24.7 \text{ DBH} + 1.68 \text{ DBH}^2$ . Persamaan yang terpilih adalah persamaan pertama, yakni  $\text{Log TAGB} = -0.762 + 2.51 \text{ Log DBH}$  dengan F hitung sebesar 797.51 dan R-sq (adj) mencapai 98.50% dan simpangan rata-rata sebesar 1.70%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Thomas Nifinluri selaku penanggung jawab penelitian, Ir. Djunaedi selaku Kepala Perwakilan Wilayah PT. Arfak Indra di Fak-fak, Ricardo selaku staf PUHH PT. Arfak Indra, Bpk. Masri dan tim pendukung lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. *Forest Ecology and Management* 257, 1684-1694.
- Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO. *Forestry Paper* 134, Rome, 87 pp.
- Chiesi, M., Maselli, F., Bindi, M., Fibbi, L., Cherubini, P., Arlotta, E., Tirone, G., Matteucci, G., Seufert, G., 2005. Modelling carbon budget of Mediterranean forests using ground and remote sensing measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 136, 2234.
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R., Ni, J., Holland, E.A., 2001. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Application* 11 (2), 371-384.
- De Gier, A., 2003. In: Roy, P. (Ed.), A New Approach to Woody Biomass Assessment in Woodlands and Shrublands. *Geoinformatics for Tropical Ecosystems*, India pp. 161-198.
- Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2, 13.
- Hashimoto, T., Kojima, K., Tange, T., Sasaki, S., 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *Forest Ecology and Management* 126, 331-337.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146, 199-209.
- Myeong, S., Nowak, D.J., Duggin, M.J., 2006. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 101, 277-282.

- Nelson, B.W., Mesquita, R., Pereira, J.L.G., de Souza, S.G.A., Batista, G.T., Couta, L.B., 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the Central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117, 149167.
- Stewart, J.L., Dunsdon, A.J., Hellin, J.J., Hughes, C.E., 1992. Wood biomass estimation of Central American dry zone species. *Tropical Forestry Papers* 26. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford.
- Tan, K., Piao, S., Peng, C., Fang, J., 2007. Sattellite-based estimation of biomass carbon stocks for northeast China's forests between 1982 and 1999. *Forest Ecology and Management* 240, 114121.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2008. Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. Addendum, Part 2. *Document FCCC/CP/2007/6/Add.1*. UNFCCC, Bonn, Germany.
- Wang, H., Hall, C.A.S., Scatena, F.N., Fetcher, N., Wu, W., 2003. Modeling the Spatial and temporal variability in climate and primary productivity across the Luquillo mountains, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management* 179, 6994.
- Yamakura, T., Hagihara, A., Sukardjo, S., Ogawa, H., 1986. Above ground biomass of tropical rainforest stands in Indonesian Borneo. *Plant Ecology* 68 (2), 7182.