

APLIKASI CITRA ALOS PALSAR UNTUK PENDUGAAN SIMPANAN KARBON DI HUTAN TANAMAN AKASIA

(Application of alos palsar image for estimation of carbon stock in acacia forest)

Muhammad Abdul Qirom¹, M. Buce Saleh², dan Budi Kuncahyo²

¹Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru
Jl. Ahmad Yani Km 28,7 Landasan Ulin, Banjarbaru, Telp./Fax. 0511-4707872
Email: qirom_ma@yahoo.co.id

²Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga, Bogor

Naskah masuk : 23 September 2011; Naskah diterima : 14 Agustus 2012

ABSTRACT

*Estimation of carbon stock has direct limitations related to the speed of obtaining results, area coverage and high cost. Remote sensing can be used to estimate carbon stocks with an adequate level of accuracy. The objectives of this study are 1) to obtain the potential carbon storage of *A. mangium*, 2) to estimate model of carbon stocks based on a radar image (backscatter value of Alos Palsar), and 3) to map potential carbon stock distribution of *A. mangium* at PT. Inhutani II, South Kalimantan. The method used was a direct inventory of carbon stocks by making 69 measuring plots (0.1 ha area of each plot) spread across several age. The field inventory results were used to formulate a relationship with the polarization values of the Alos Palsar. The results showed that the potential surface carbon deposit varied from 32.03 to 46.10 tons/ha with an average value of 39.06 tons/ha. The total potential carbon stock per ha ranged from 35.48 to 51.01 tons/ha with an average of 43.24 tons/ha. The best allometric relationship between carbon stock and the polarization values HH and HV of the Alos Palsar image was $\text{Carbon Deposit} = 292 + 2.00 \text{ HH}^2 + 27.1 \text{ HV}$ with the $R^2 = 40.9\%$. Potential carbon storage based on Alos Palsar image ranged between 40 - 80 tons/ha. The result of Alos Palsar prediction is accurate so the technology can be used for measuring or monitoring of carbon stocks in plantation forest.*

Keywords: Estimation, carbon, Alos Palsar image, polarization, radar

ABSTRAK

Pendugaan persediaan karbon secara langsung mempunyai keterbatasan terkait dengan kecepatan memperoleh hasil, cakupan luasan yang terbatas dan biaya yang mahal. Penginderaan jarak jauh dapat dimanfaatkan untuk menduga persediaan karbon dengan akurasi yang cukup memadai. Tujuan penelitian ini yakni: 1) mendapatkan potensi simpanan karbon jenis *A. mangium*, 2) mendapatkan model penduga simpanan karbon berdasarkan citra Radar (nilai *backscatter* citra Alos Palsar), 3) mendapatkan peta sebaran potensi simpanan karbon jenis *A. mangium* di PT. Inhutani II, Kalimantan Selatan. Metode yang digunakan dengan melakukan inventarisasi persediaan karbon secara langsung yakni pembuatan plot pengukuran sebanyak 69 plot dengan luas masing-masing plot seluas 0,1 Ha tersebar pada beberapa umur. Hasil inventarisasi tersebut digunakan untuk membentuk hubungan dengan nilai polarisasi dari citra Alos Palsar. Hasil penelitian menunjukkan potensi simpanan karbon permukaan sebesar 32,03 - 46,10 ton/ha dengan rata-rata 39,06 ton/ha. Potensi simpanan karbon total per Ha berkisar antara 35,48 - 51,01 ton/ha dengan rata-rata 43,24 ton/ha. Model alometrik terbaik hubungan antara simpanan karbon dan nilai polarisasi HH dan HV dari citra Alos Palsar adalah $\text{Simpanan karbon} = 292 + 2,00 \text{ HH}^2 + 27,1 \text{ HV}$ dengan koefisien determinasi sebesar 40,9%. Potensi sebaran simpanan karbon total terbesar berdasarkan aplikasi citra Alos Palsar yakni berkisar antara 40 - 80 ton/ha. Penggunaan Alos Palsar untuk menduga simpanan karbon menghasilkan dugaan yang cukup akurat sehingga teknologi ini dapat digunakan untuk mengukur atau monitoring persediaan karbon pada tegakan hutan tanaman.

Kata kunci : Pendugaan, karbon, citra Alos Palsar, polarisasi, radar

I. PENDAHULUAN

Luas hutan tanaman di dunia diperkirakan 130 juta ha, dengan laju pertumbuhan rata-rata mencapai 10,5 juta ha/tahun yang menyebar di 124 negara. Secara global, potensi hutan tanaman menyimpan karbon sebesar 11,8 Pg (Penta gram) (Winjum and Schroeder, 1997). Berdasarkan hal tersebut, hutan tanaman menjadi salah satu opsi mitigasi dalam mengurangi kenaikan karbon dioksida dan perubahan iklim global (Kraenzel *et al.*, 2003).

Potensi hutan tanaman sebagai opsi mitigasi dapat dipelajari dengan melihat dinamika siklus karbonnya melalui pengukuran persediaan karbonnya (Jepsen, 2006). Pengukuran simpanan karbon ini dapat dilakukan baik secara langsung maupun tidak langsung (Nath *et al.*, 2009). Pengukuran simpanan karbon secara langsung dilakukan dengan melakukan penebangan terhadap bagian tanaman yang akan diukur simpanan karbonnya. Pengukuran simpanan karbon secara tidak langsung membangun suatu persamaan alometrik (Brown, 1997; Wang, 2006; Somogyi, 2008; Navar, 2009). Kekurangan dari penggunaan metode langsung (*destructive technique*) yakni membutuhkan waktu yang relatif lama dan biaya yang sangat mahal untuk dimensi yang besar (Nath *et al.*, 2009). Kelebihan dari metode pendugaan tidak langsung yakni waktu dan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan metode secara langsung sehingga lebih banyak disukai untuk digunakan (St Clair, 1993). Saat ini, perkembangan pendugaan persediaan karbon menggunakan aplikasi teknologi penginderaan jarak jauh. Aplikasi ini dilakukan dengan menggabungkan parameter tegakan (tinggi, diameter, dan kerapatan) dengan data penginderaan jarak jauh (Morel *et al.*, 2011).

Aplikasi ini telah dapat menggambarkan kondisi tegakan pada beberapa tipe lahan seperti perkebunan sawit (Morel *et al.*, 2011); hutan konservasi (Berry *et al.*, 2008); dan pendugaan simpanan karbon pada tingkat *landscape* (Saatchi *et al.*, 2007) dengan akurasi yang cukup tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut, penggunaan teknologi penginderaan jarak jauh menjadi syarat dalam pengelolaan hutan (Brown, 2002; Sritakae, 2006). Teknologi ini digunakan menduga parameter tegakan seperti biomassa batang, rata-rata diameter, kerapatan bidang dasar, kerapatan pohon, dan tinggi rata-rata (Sritakae, 2006). Keuntungan utama dari penggunaan teknologi ini adalah mudah diperkirakan

persediaan karbon dengan melakukan pengamatan secara visual (Gibbs *et al.*, 2007). Saat ini, perkembangan teknologi penginderaan jauh dapat menduga kandungan karbon baik secara global (Rokhmatullah, 2007; Gibbs *et al.*, 2007), *landscape* (Sulistiyawati, 2006) maupun pada tingkat spesies (Dahlan *et al.*, 2005). Citra optik dapat digunakan untuk menduga persediaan karbon. Secara umum, metode yang biasa digunakan (terutama untuk citra optik) yakni menggunakan NDVI (indeks vegetasi) sebagai variabel bebas dalam menduga persediaan karbon. Kekurangan penggunaan citra ini terkait kualitas citra yang digunakan sebagai sumber analisis datanya. Secara umum, kualitas citra optik sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pada saat peliputan seperti tutupan awan. Kekurangan ini dapat dihindarkan dengan menggunakan citra berbasis radar yang tidak terpengaruh oleh tutupan awan sehingga kualitas data yang digunakan lebih baik.

Penelitian ini dilakukan pada areal hutan tanaman *A. mangium* dengan beberapa tingkat umur untuk mendapatkan simpanan karbon secara langsung dan menghubungkannya dengan parameter spasial pada citra Alos Palsar. Tujuan penelitian ini yakni 1) mendapatkan potensi simpanan karbon jenis *A. mangium*; 2) mendapatkan model penduga simpanan karbon berdasarkan citra Radar (nilai *backscatter* citra Alos Palsar); 3) mendapatkan peta sebaran potensi simpanan karbon jenis *A. mangium* di PT. Inhutani II, Kalimantan Selatan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Inhutani II Unit Semaras Kalimantan Selatan (Gambar 1). Lokasi penelitian ini didominasi oleh tanah podsolik merah kuning dan memiliki lereng yang relatif datar.

Pada saat ini, hutan tanaman ini memasuki rotasi kedua. Pembangunan hutan tanaman ini menggunakan beberapa persiapan lahan yakni dobrak (persiapan lahan mekanis), Tanpa Olah Tanah (TOT), dan sistem tumpangsari. Jarak tanam yang digunakan dalam penanaman *A. mangium* yakni 4 m x 2 m dan 3 m x 3 m, tetapi pada rotasi kedua penggunaan jarak tanam 4 x 2 m tidak digunakan. Hasil penelitian Lazuardi (2009) menunjukkan bahwa lokasi ini mempunyai kualitas tapak yang sedang.



Sumber (Source) : www.banjarmasin.bpk.go.id

Gambar (Figure) 1. Lokasi penelitian (Site of study)

B. Pengukuran Karakteristik Tegakan

Karakteristik tegakan yang diukur antara lain: umur tanaman, tinggi dan diameter (rata-rata maksimum dan minimum) dan kerapatan

tanaman. Karakteristik tegakan yang diukur tercantum pada Tabel 1. Dari hasil pengukuran lapangan diketahui bahwa pada umur yang lebih tua, daya hidup tanaman cenderung mengalami penurunan. Hal ini akan berpengaruh terhadap

Tabel (Table) 1. Karakteristik tegakan di lokasi penelitian (Stand characteristic at study sites)

Parameter	Umur (Age)	Maximum	Minimum	Rataan (Average)	Standar Deviasi (Standard Deviation)
Daya hidup (%) (Survival rate %)	1	92,4	76,0	82,9	6,2
	2	94,8	55,2	76,0	10,1
	3	75,5	34,4	54,5	11,2
	4	63,9	38,9	49,2	7,5
	5	47,9	31,9	38,9	4,8
	6	61,8	44,4	51,9	5,3
Diameter (cm)	1	8,9	1,6	3,4	1,14
	2	13,4	3,5	6,4	1,95
	3	18,2	4,5	10,1	1,67
	4	31,5	5,9	16,3	3,76
	5	29,6	5,1	17,8	4,59
	6	31,2	6,4	19,0	4,32
Tinggi (Height) (m)	1	5,35	3,12	3,61	0,829
	2	8,10	6,00	6,10	0,860
	3	12,00	6,60	9,33	1,353
	4	27,30	13,60	20,40	2,087
	5	27,00	15,00	20,02	2,787
	6	29,00	18,50	24,89	1,750
Kerapatan tegakan (pohon/ha) (Stand density (trees/ha))	1	1.003	694	823	114,8
	2	1.498	535	881	306,1
	3	989	366	599	168,1
	4	684	386	526	92,5
	5	380	234	311	50,8
	6	1.137	383	644	267,1

Sumber (Source): Hasil pengukuran plot-plot penelitian (Result of study plot measurement)

kerapatan tanaman tersebut. Pada umur 5 tahun daya hidup tanaman merupakan titik terendah yang mencapai 31%. Kematian tanaman tersebut disebabkan oleh tingginya intensitas serangan penyakit penggerek tanaman dan rebahnya tanaman akibat angin. Hal ini ditandai dengan patahnya batang-batang tanaman *A. mangium*. Berdasarkan informasi dari pengelola HTI, intensitas serangan hama meningkat terutama pada rotasi kedua. Hal ini menyebabkan kerapatan pada umur 6 tahun lebih tinggi daripada kerapatan tanaman umur 3 tahun sampai dengan 5 tahun.

C. Metode Penelitian

1. Inventarisasi persediaan karbon

Pengukuran persediaan karbon dilakukan dengan menggunakan metode sampling dengan variasi plot pengukuran untuk mengetahui persediaan karbon biomassa hidup (pohon: *above* dan *below ground*-biomass). Penelitian ini menggunakan ukuran plot 50 m x 20 m (0,1 Ha). Data inventarisasi yang kemudian digunakan dalam membangun model hubungan dengan citra Alos Palsar.

Perhitungan intensitas sampling didasarkan pada besarnya koefisien variasi hasil survey pendahuluan yang telah dilakukan. Survey pendahuluan dilakukan pada tegakan *A. mangium* umur 4 tahun (luas 914 Ha). Hasil survey ini menghasilkan CV sebesar 18,1 % (Lampiran 1). Koefisien variasi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$CV = \frac{S_y}{y} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan (*Remarks*): CV: Koefisien variasi (%); S_y : Simpangan baku rata-rata; \bar{y} : rata-rata luas bidang dasar pada masing-masing plot survey pendahuluan (m²)

Dengan menggunakan asumsi bahwa variasi tegakan umur 4 tahun mewakili kondisi seluruh tegakan *A. mangium* maka dapat ditentukan jumlah keseluruhan plot contoh berdasarkan hasil survey pendahuluan. Penentuan plot berdasarkan nilai koefisien variasi dirumuskan sebagai berikut: (Shiver and Borders 1996)

$$n = \frac{4N(CV)^2}{(AE)^2 N + 4(CV)^2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan (*Remarks*): n = jumlah PU ukuran tertentu; CV = koefisien variasi; AE = kesalahan sampling maksimum yang diijinkan (5 %); N : Jumlah total plot populasi.

Penentuan sampel sebanyak 69 plot (ukuran plot 0,1 ha atau 6,9 Ha) untuk keseluruhan areal penelitian. Banyaknya plot tersebut dijadikan dasar dalam menentukan banyaknya plot pada masing-masing strata (umur). Pengukuran persediaan karbon ini menggunakan *double sampling dengan stratifikasi* karena ukuran populasi yang besar dan tersebar dalam beberapa umur. Penentuan banyaknya plot pada masing-masing umur dirumuskan sebagai berikut:

$$n_h = \frac{L_h}{L_N} \times n = P_h \times n \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan (*Remarks*): n_h : banyaknya plot pada masing-masing umur; L_h : Luas masing-masing umur; L_N : Luas seluruh populasi; n : banyaknya plot total

$$\bar{y}_{dss} = \sum_{h=1}^L \frac{\hat{N}_h \bar{y}_h}{N} = \sum_{h=1}^L P_h \bar{y}_h \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan (*Remarks*): \bar{y}_{dss} : Rata-rata keseluruhan dari *double sampling* dengan stratifikasi; P_h : proporsi masing-masing umur; \hat{N}_h : populasi/luas masing-masing umur; \bar{y}_h : Rata-rata masing-masing strata (umur).

Pendugaan persediaan karbon permukaan dan total dengan menggunakan persamaan alometrik hubungan dimensi dengan simpanan karbon. Model alometrik tersebut yakni simpanan karbon permukaan:

$$\ln \text{ permukaan} = -3,85 + 2,79 \ln \text{ Diameter} \dots\dots\dots(5) \text{ (Qirom 2011)}$$

$$\ln \text{ total} = -3,62 + 2,74 \ln \text{ Diameter} \dots\dots\dots(6) \text{ (Qirom 2011)}$$

Dugaan persediaan karbon permukaan dan total dengan menggunakan rumus:

$$\hat{T}_{dss} = N \bar{y}_{dss} \dots\dots\dots(7)$$

$$S_{\bar{y}_{dss}}^2 = \sum_{h=1}^L \left(P_h^2 - \frac{P_h}{n} \right) \frac{S_h^2}{n_h} + \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{h=1}^L P_h \bar{y}_h \right)^2 - (\bar{y}_{dss})^2 \right] \dots\dots(8)$$

$$S_{\bar{y}_{dss}} = \sqrt{S_{\bar{y}_{dss}}^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$S_{\hat{T}_{dss}} = N S_{\bar{y}_{dss}} \dots\dots\dots(10)$$

$$\bar{y}_{dss} \pm 2 S_{\bar{y}_{dss}}$$

Keterangan (*Remarks*): \hat{T}_{dss} : total persediaan karbon; \bar{y}_{dss} : Rata-rata keseluruhan persediaan karbon dari *double sampling* dengan stratifikasi; P_h : proporsi masing-masing umur; \hat{N}_h : populasi/luas masing-masing umur; \bar{y}_h : Rata-rata masing-masing strata (umur); $S_{\bar{y}_{dss}}$: simpangan baku dari metode *double sampling*.

Tabel 2. Sebaran plot pengukuran masing-masing umur untuk penyusunan model penduga simpanan karbon (*Distribution of measurement plot on each age class for carbon storage model construction*)

Umur (Age)	Jumlah Plot (Number of Plot)	Umur (Age)	Jumlah Plot (Number of Plot)
1 tahun	5 plot	6 tahun	10 plot
2 tahun	14 plot	7 tahun	12 plot
3 tahun	21 plot	8 tahun	13 plot
4 tahun	11 plot	9 tahun	4 plot
5 tahun	8 plot	10 tahun	9 plot

Keterangan (*Remarks*): Umur 7- 10 tahun tidak memungkinkan untuk dibuat plot penelitian (*Age 7-10 years is not possible to compose of research plot*); 8-10 ditebang untuk RKT 2010: 8-10 was harvested); 7 tahun terserang hama penyakit yang sangat parah dan terbakar (*7 years was attacked by pest and disease and burned*)

Plot inventarisasi ini diambil pada beberapa tingkat umur. Hasil inventarisasi ini digunakan dalam penyusunan dan validasi model pendugaan karbon berdasarkan hubungan antara persediaan karbon dan parameter spektral (nilai *backscatter*). Sebaran banyaknya plot pada masing-masing umur untuk pembuatan model simpanan karbon pada Tabel 2.

2. Aplikasi penginderaan jarak jauh dalam pendugaan simpanan karbon

Pendugaan simpanan karbon dengan aplikasi teknologi penginderaan jarak jauh merupakan analisis lanjutan setelah citra tersebut dilakukan sejumlah proses analisis citra. Pada dasarnya dalam analisis citra ini terdapat beberapa tahapan yakni: koreksi geometrik dan radiometrik, dan ekstraksi karakteristik spasial. Citra yang digunakan telah dikoreksi baik geometrik dan radiometrik sehingga proses selanjutnya yakni ekstraksi karakteristik spasial.

Ekstraksi karakteristik spasial dilakukan pada setiap plot pengukuran. Karakteristik spasial berupa nilai digital number pada masing-masing layer citra. Nilai *Backscatter* masing-masing layer digunakan dalam pembuatan model. Hasil ekstraksi ini digunakan sebagai input dalam analisis statistik. Citra radar hanya memiliki dua band yakni layer HV dan HH sehingga untuk interpretasi perlu menambahkan satu band sintetis pada citra Alos Palsar band-band sintetis yang ditambahkan yakni :

$$Ratio = \frac{HH}{HV} \dots\dots\dots(12)$$

Parameter-parameter di atas digunakan dalam penyusunan model penduga persediaan karbon. Model yang akan digunakan yakni

Model linear: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots\dots\dots + b_iX_i \dots\dots\dots (13)$

Model power (kuadrat): $Y = b_0X_1^{b_1} X_2^{b_2} \dots\dots\dots X_i^{b_i} \dots\dots\dots (14)$

Model eksponensial: $Y = e^{b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots\dots\dots + b_iX_i} \dots\dots\dots (15)$

keterangan: $b_0, b_1, b_2 \dots b_i$: parameter regresi; $X_1, X_2 \dots X_i$: nilai *backscatter*

Model terbaik dipilih dari seluruh model yang telah disusun berdasarkan persamaan 13 - 15. Model terbaik dipilih berdasarkan beberapa kriteria pemilihan model terbaik yakni koefisien determinasi maksimum (R^2 maksimum), simpangan baku minimum (s), dan koefisien determinasi terkoreksi maksimum (R^2_{adj} maksimum) (Draper dan Smith, 1992) dan PRESS serta analisis sisaan. Model terbaik digunakan dalam menduga persediaan karbon secara keseluruhan. Model terbaik ini harus dilakukan validasi model. Validasi ini berguna untuk mendapatkan model yang mempunyai tingkat akurasi tinggi dalam menduga simpanan karbon tegakan *A mangium*. Validasi model ini menggunakan uji-t.

Berdasarkan uji t, model penduga simpanan karbon dapat digunakan, jika $t_{hitung} < t_{tabel}$. Hal ini berarti hasil dugaan simpanan karbon tidak berbeda dengan hasil pengukuran simpanan karbon di lapangan. Namun, apabila hasil uji berbeda nyata ($t_{hitung} > t_{tabel}$) maka model penduga simpanan karbon tersebut tidak dapat digunakan menduga simpanan karbon tegakan *A. mangium*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Simpanan Karbon pada Tegakan *A. mangium*

1. Potensi simpanan karbon per ha

Potensi persediaan karbon permukaan dan total dihitung berdasarkan model alometrik simpanan karbon. Hasil persediaan karbon terbesar pada umur 6 tahun (Tabel 3). Hal ini me-

nunjukkan persediaan karbon akan bertambah besar seiring dengan pertambahan umur (dimensi tanaman semakin besar). Fakta yang berbeda ditunjukkan oleh umur 5 tahun dengan persediaan karbon lebih kecil daripada umur 4 tahun. Hal ini karena tingkat kematian pada umur 5 tahun sangat besar yang ditunjukkan oleh daya hidup yang rendah sebesar 31,9% (Tabel 1). Hal ini diakibatkan tingginya serangan hama penggerek batang pada umur 5 tahun. Serangan hama ini terjadi pada keseluruhan tanaman pada umur tersebut.

Potensi persediaan karbon yang dihasilkan penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang lain untuk jenis yang sama. Dahlan *et al.* (2005) mendapatkan rata-

rata persediaan karbon pada umur 6 tahun sebesar 25,63 ton/ha. Jika dibandingkan dengan jenis yang berbeda (jenis Jati) hasil penelitian ini lebih rendah (Kraenzel *et al.*, 2003). Besarnya potensi karbon pada beberapa jenis dan tempat tumbuh mempunyai potensi yang berbeda-beda (Tabel 4).

2. Potensi persediaan karbon di lokasi penelitian

Lokasi penelitian di PT. Inhutani II, Sub Unit Semaras Kalimantan Selatan ini didominasi oleh tanaman muda dengan luasan yang sangat besar. Hasil perhitungan potensi karbon untuk karbon permukaan mempunyai rata-rata 39,06 ton/ha. Selang dugaan potensi simpanan karbon

Tabel (Table) 3. Persediaan karbon permukaan dan total pada beberapa umur (*Above ground and total carbon stock on various age*)

Umur (Age) Tahun (Year)	Persediaan Karbon Permukaan (<i>Above Ground Carbon Stock</i>) (ton/ha)				Persediaan Karbon Total (<i>Total Carbon Stock</i>) (ton/ha)			
	Min	Max	Rataan	Stdev	Min	Max	Rataan	Stdev
1	0,67	1,33	1,01	0,293	0,79	1,56	1,19	0,34
2	2,44	8,28	5,02	1,736	2,84	9,43	5,76	1,97
3	4,83	17,87	10,70	3,770	5,50	20,19	12,12	4,24
4	32,96	56,53	41,77	7,898	36,79	62,36	46,33	8,61
5	24,07	39,15	34,63	4,748	26,60	43,27	38,26	5,24
6	49,88	140,10	77,76	29,566	55,02	154,56	85,78	32,65

Keterangan (Remarks): Min: nilai minimum (*Minimum value*); Max: nilai maximum (*Maximum value*); Stdev: standar deviasi (*standard deviation*)

Tabel (Table) 4. Potensi simpanan karbon pada beberapa jenis dan lokasi yang berbeda (*Carbon stock potential on varied of species and site*)

Jenis (<i>Species</i>)	Lokasi (<i>Site</i>)	Umur (Age) Tahun (Year)	Potensi Karbon (<i>Carbon Stock</i>) (ton/ha)	Sumber (<i>Source</i>)
<i>A. mangium</i>	Kalsel	1-6	43,2	Hasil penelitian
<i>A. mangium</i>	BPKH Parung Panjang	1-10	53,89*	Dahlan <i>et al.</i> (2005)
<i>A. mangium</i>	Musi Hutan Persada Palembang	9	189,5*	Hardiyanto <i>et al.</i> (2000)
<i>A. mangium</i>	BKPH Maribaya dan Tenjo, Bogor	8	64,02*	Heriansyah (2005)
<i>Pinus merkusii</i>	BKPH Leuwiliang	11	126,55*	Heriansyah (2005)
<i>Tectona Grandis</i>	Panama	20	130	Kraenzel <i>et al.</i> (2003)
<i>Hevea brasiliensis</i>	Brasil	14 - 25	41,7	Wauters <i>et al.</i> (2008)
<i>Hevea brasiliensis</i>	Ghana	2-14	76,3	Wauters <i>et al.</i> (2008)
<i>Bamboo spp.</i>	India	-	61,07	Nath <i>et al.</i> (2009)
Areal bera dan pertanian	Malaysia	6	47,0*	Jepsen (2006)

Keterangan (Remarks):*: Simpanan karbon dalam bentuk biomasa (*Carbon stock in the form biomass*)

permukaan yakni 32,03 - 46,10 ton/ha. Pendugaan simpanan karbon permukaan seluruh lokasi penelitian yakni 112.549,75 ton dengan pendugaan selang pada selang kepercayaan 95% adalah 92.280,98 - 132.828,51 ton dengan luas areal 2.881,1 hektar.

Pendugaan simpanan karbon juga dilakukan dengan menduga simpanan karbon total termasuk akar. Hasil dugaan simpanan karbon total menghasilkan rata-rata simpanan karbon total untuk seluruh areal lokasi penelitian yakni 43,24 ton/ha dengan selang dugaannya 35,48 - 51,01 ton/ha (selang kepercayaan 95%). Pendugaan simpanan karbon total seluruh lokasi penelitian menghasilkan dugaan sebesar 124.591,21 ton dengan selang dugaannya 102.208,56 - 146.973,86 ton pada selang kepercayaan 95%.

Hasil dugaan simpanan karbon permukaan ini jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil dugaan simpanan karbon permukaan yang dilakukan oleh Dahlan *et al.* (2005). Dahlan *et al.* (2005) menduga simpanan karbon jenis *A. mangium* pada areal yang luasnya 3.398,04 Ha. Hasil dugaan mencapai 56.139 ton karbon pada luasan tersebut (Dahlan *et al.*, 2005). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal yakni terkait dengan tempat tumbuhnya dan jenis *A. mangium* yang ditanam (seperti asal benih: keturunan F-1, provenan atau klon).

B. Aplikasi Citra Alos Palsar untuk Pendugaan simpanan karbon

Citra Alos Palsar yang digunakan untuk pendugaan simpanan karbon memiliki perbedaan terkait dengan waktu peliputan (2009) dan inventarisasi simpanan karbon (2010). Perbedaan waktu ini tentunya akan mengakibatkan perbedaan

dimensi tanaman (diameter) *A. mangium* hasil inventarisasi tahun 2009 dan tahun 2010. Hal ini akan menyebabkan perbedaan simpanan karbon masing-masing umur pada periode tersebut. Perbedaan diameter tersebut harus dilakukan koreksi dimensi tanaman yakni selisih antara pengukuran tahun 2010 dengan tahun 2009 ($\phi_{2009} < \phi_{2010}$).

Idealnya koreksi tersebut dilakukan pada setiap pohon pada setiap plot inventarisasi sehingga selisih diameter pohon pada periode tersebut diketahui. Namun, data inventarisasi pohon pada tahun 2009 tidak tersedia sehingga koreksi dilakukan secara sistematis artinya setiap ukuran dimensi per umur pada tahun 2010 dikurangi dengan besaran nilai dimensi tahun 2009 (pada citra) sehingga koreksi terhadap diameter (simpanan karbon) tidak mempengaruhi bentuk hubungan antara simpanan karbon dengan nilai polarisasi citra Alos Palsar.

1. Pola hubungan polarisasi Horizontal-Horizontal (HH) dan Horizontal-Vertikal (HV)

Tahap awal dalam menduga simpanan karbon dengan menggunakan citra ini yakni membentuk hubungan antara karakteristik tegakan (besarnya simpanan karbon hasil inventarisasi) dengan karakteristik yang ter-kandung dalam citra (nilai *backscatter*). Hasil ekstraksi citra didapatkan besarnya nilai polarisasi oleh sensor HH dan HV yang ditunjukkan oleh Tabel 5.

Secara umum, nilai HH lebih besar dibandingkan dengan nilai HV dengan selang yang relatif sempit. Nilai-nilai HH dan HV memiliki kecenderungan homogen yakni mempunyai koefisien variasi yang kecil kurang dari 10%. Bentuk hubungan antara simpanan karbon dengan polarisasi HH dan HV hampir

Tabel (Table) 5. Hasil ekstraksi nilai polarisasi HH dan HV (*Extraction of HH and HV polaroization value*)

Umur/Age (Tahun/Year)	HH					HV				
	Min	Max	Rataan	Stdev	CV	Min	Max	Rataan	Stdev	CV
1	-7,03	-5,77	-6,31	0,46	-7,27	-14,12	-13,24	-13,54	0,40	-2,98
2	-8,86	-7,53	-8,32	0,49	-5,91	-16,83	-14,35	-15,90	0,76	-4,80
3	-7,92	-7,11	-7,67	0,22	-2,81	-14,57	-13,23	-14,00	0,44	-3,16
4	-7,69	-6,99	-7,45	0,22	-2,89	-13,49	-12,89	-13,28	0,19	-1,43
5	-7,03	-6,51	-6,69	0,19	-2,85	-13,21	-12,98	-13,07	0,08	-0,59
6	-7,74	-7,27	-7,50	0,20	-2,66	-13,99	-12,91	-13,32	0,40	-2,97

Keterangan (Remarks): Min: nilai minimum (*Minimum value*); Max: nilai maksimum (*Maximum value*); Stdev: Standar deviasi (*Standard deviation*); CV: Koefisien variasi (%) (*Coefficient of variation*)

sama yakni pada suatu titik tertentu penambahan simpanan karbon tidak merubah nilai HH dan HV (Gambar 2 dan 3).

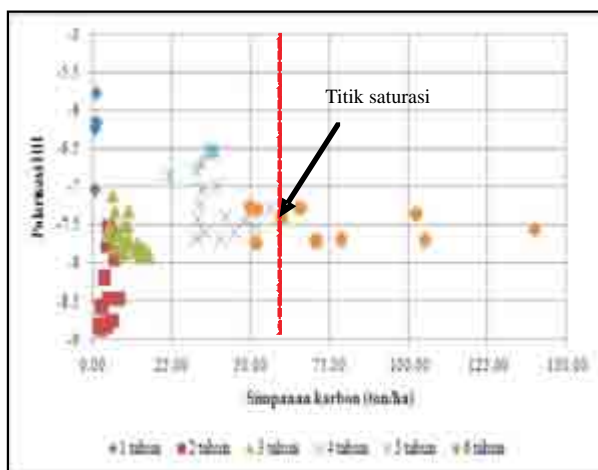
Secara umum, pola hubungan polarisasi HH dengan simpanan karbon menunjukkan keeratan hubungan yang positif artinya kenaikan simpanan karbon diikuti oleh kenaikan polarisasi HH. Pada umur 1 tahun, simpanan karbon yang kecil mempunyai polarisasi HH yang besar. Kondisi ini diduga disebabkan oleh adanya pengaruh kerapatan cabang dan ranting. Umumnya tegakan umur 1 tahun adalah tegakan yang tidak teratur jarak tanamnya. Ketidakteraturan ini disebabkan oleh tanaman yang tumbuh tidak pada jalur tanamnya (pertumbuhan semai yang tidak terkendali). Kondisi lokasi penelitian terutama umur 1 tahun memasuki rotasi kedua. Pada rotasi kedua, umumnya banyak semai yang tumbuh secara mengelompok dan menyebabkan kerapatan cabang menjadi sangat tinggi. Selain itu, kondisi tersebut diduga disebabkan oleh kondisi pada saat perekaman berbeda dengan kondisi inventarisasi. Pada saat perekaman, kemungkinan tegakan tersebut belum ditebang sehingga kondisi tersebut menyebabkan polarisasi HH menjadi tinggi.

Pada titik tertentu, pola polarisasi HH ini memiliki kecenderungan tetap. Kondisi ini terjadi pada tegakan umur 6 tahun dengan simpanan karbon lebih dari 60 ton/ha atau setara 120 ton/ha biomassa. Hal ini menunjukkan penambahan simpan-

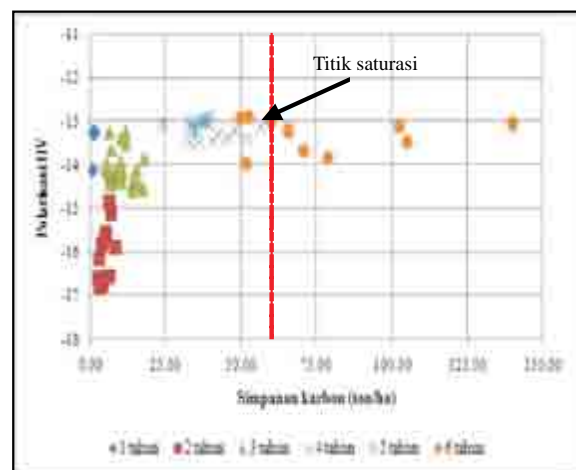
an karbon lebih dari 60 ton/ha tidak akan mempengaruhi polarisasi HH. Kondisi ini biasa dikenal saturasi. Titik saturasi ini tidak jauh berbeda dengan yang dihasilkan Rauste (2006) pada hutan sekunder di Finlandia.

Pola hubungan antara simpanan karbon dengan polarisasi HV mempunyai kesamaan pola hubungan polarisasi HH (Gambar 2). Nilai polarisasi HV akan meningkat sebanding dengan peningkatan simpanan karbon. Namun kondisi sebaliknya terjadi pada umur 1 tahun, nilai polarisasi HV lebih tinggi dibandingkan umur yang lain (2, 3, dan 5 tahun). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi pada saat perekaman oleh citra berbeda dengan kondisi inventarisasi. Pada saat perekaman sebenarnya obyek mempunyai biomassa yang tinggi karena tegakan tua dan tegakan tersebut telah ditebang setelah perekaman terjadi. Hal ini berakibat pada tingginya nilai HV yang terekam oleh citra dan rendahnya biomassa hasil inventarisasi.

Pola hubungan antara polarisasi HV dengan simpanan karbon menunjukkan kejenuhan atau titik saturasi pada umur 6 tahun dengan simpanan karbon lebih dari 60 ton/ha atau setara 120 ton/ha biomassa. Titik saturasi yang didapatkan dalam penelitian berbeda yang didapatkan oleh Rauste (2006). Titik saturasi tercapai pada biomassa 150 ton/ha (Rauste 2006). Penelitian ini dilakukan di hutan sekunder Finlandia.



Gambar (Figure) 2. Pola polarisasi HH
(HH polarization trend)



Gambar (Figure) 3. Pola polarisasi HV
(HV polarization trend)

2. Model penduga simpanan karbon berdasarkan polarisasi HH dan HV

Penyusunan model ini didasarkan pada pola hubungan antara simpanan karbon hasil inventarisasi dengan polarisasi HH dan HV hasil ekstraksi citra. Model yang disusun merupakan gabungan dari keseluruhan umur di lokasi penelitian. Hal ini didasarkan pada *scatter* plot antara simpanan karbon dan polarisasi HH dan HV (Gambar 2 dan 3). Berdasarkan Gambar 2 dan 3 diketahui bahwa data-data yang ada cenderung mengelompok dan tidak ada yang terpisah sehingga penggunaan data gabungan dilakukan dalam penyusunan model penduga simpanan karbon berdasarkan polarisasi HH dan HV.

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa penggunaan polarisasi HV dan kombinasinya sebagai variabel bebas memiliki koefisien determinasi (R^2) yang cenderung lebih tinggi dibandingkan polarisasi HH sebagai variabel bebas dalam menduga simpanan karbon (Tabel 6). Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Nurhayati (2010) dan Pandey *et al.* (2010) yang menyatakan polarisasi HV lebih sensitif terhadap biomassa.

Secara umum, model yang disusun mempunyai variabel bebas yang berpengaruh terhadap variabel tidak bebasnya. Hal ini ditunjukkan oleh $F_{hitung} > F_{tabel}$ artinya secara bersama-sama variabel bebasnya berpengaruh terhadap variabel tidak bebas kecuali model 1 dan 2 (Tabel 6).

Calon model terbaik ditentukan berdasarkan kriteria pemilihan model terbaik (R^2_{adj} ; simpangan baku, dan PRESS). Hasil skoring menunjukkan model 11 adalah model terbaik. Model ini mempunyai R^2 sebesar 40,9% artinya 40,9 % variasi dari simpanan karbon dapat dijelaskan oleh variasi polarisasi HV dan HH sebagai variabel selebihnya dipengaruhi oleh faktor lain. Jika dilihat koefisien determinasinya model ini mempunyai koefisien determinasi yang kecil $< 50\%$ tetapi model ini dapat digunakan karena semua variabel bebasnya berpengaruh terhadap variabel tidak bebasnya. Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian Pandey *et al.* (2010) dan Nurhayati (2010). model alometrik terbaik untuk menduga simpanan karbon menggunakan polarisasi HV sebagai peubah bebas dari model tersebut (Pandey *et al.*, 2010; Nurhayati, 2010).

Tabel (Table) 6. Model penduga simpanan karbon jenis *A. mangium* berdasarkan polarisasi HH dan HV (Carbon storage model of *A. mangium* based on HH and HV polarization)

No (No)	Model Regresi (Regression Model)	R^2 (%)	R^2 adj(%)	s	PRESS	F_{hitung} (F_{cale})	P_{value}
1.	$Cs = 78,4 + 6,92 HH$	2,5	1,1	27,84	54604,1	1,75	0,190
2.	$Cs = 56,5 - 0,529 HH^2$	3,3	1,9	27,72	54022,8	2,32	0,132
3.	$Cs = 205 + 12,7 HV$	25,2	24,1	24,39	41740,8	22,56	0,000
4.	$Cs = 111 - 0,426 HV^2$	24,3	23,2	24,54	42232,8	21,49	0,000
5.	$Cs = 177 - 27,4 HH + 25,5 HV$	40,2	38,4	21,97	34263,8	22,20	0,000
6.	$Cs = - 784 - 226 HH - 15,6 HH^2$	15,3	12,7	26,15	47455,9	5,96	0,004
7.	$Cs = 1414 + 179 HV + 5,65 HV^2$	30,9	28,8	23,62	38969,4	14,76	0,000
8.	$Cs = 61,0 + 0,0428 HH^2HV$	9,3	8,0	26,85	50403,4	6,88	0,011
9.	$Cs = 71,7 + 0,0301 HV^2HH$	16,1	14,9	25,83	46600,8	12,86	0,001
10.	$Cs = - 5,4 - 0,838 HV^2 - 26,3HH$	38,2	36,3	22,34	35389,5	20,38	0,000
11.	$Cs = 292 + 2,00 HH^2 + 27,1 HV$	40,9	39,1	21,84	33934,4	22,84	0,000
12.	$Cs = 193,485 (Abs (HH))^{-0,991}$	1,1	0,0	28,04	52686,2	30,71	0,000
13.	$Cs = 7 * 10^9 (Abs (HV))^{-7,366}$	28,1	27,0	23,92	1,17E+09	54,78	0,000
14.	$Cs = 9,076 e^{0,162HH}$	0,16	0,13	27,97	91574,6	31,02	0,000
15.	$Cs = 5385065 e^{0,895HV}$	30,9	30,0	23,44	36810,38	58,40	0,000
16.	$Cs = 7567568 e^{1,735HH - 1,486HV}$	53,6	52,1	19,36	1,7E+11	67,77	0,000
17.	$Cs = 3480,804 e^{0,229(HH+HV)}$	12,9	11,6	26,32	46410,57	39,40	0,000
18.	$Cs = 4 * 10^9 (HH/HV)^{23,745}$	38,4	37,5	22,14	7,82E+08	69,52	0,000

Keterangan (Remarks): Cs: Simpanan karbon (ton/ha) (Carbon storage)

3. Validasi model penduga simpanan karbon terbaik

Validasi model ini dilakukan sebelum menggunakan model-model yang terpilih. Pada dasarnya validasi dilakukan dengan membandingkan hasil dugaan berdasarkan model terbaik dengan simpanan karbon hasil inventarisasi. Validasi ini sebagai dasar untuk menentukan model yang digunakan untuk pendugaan simpanan karbon berdasarkan polarisasi HH dan HV. Jika hasil dugaan berbeda dengan simpanan karbon hasil inventarisasi maka model penduga tersebut tidak dapat digunakan untuk menduga simpanan karbon. Uji-t digunakan untuk membandingkan hasil dugaan berdasarkan dengan simpanan karbon aktual (Tabel 7). Model yang digunakan dalam uji validasi ini adalah semua model yang memenuhi kriteria keberartian model kecuali model 1 dan 2.

Sebagian besar, model alometrik yang disusun memiliki kemampuan untuk menduga simpanan karbon yang ditunjukkan oleh $t_{hitung} < t_{tabel}$. Hasil uji-t menunjukkan semua model linear dapat menduga dengan baik simpanan karbon sedangkan model non linear tidak dapat digunakan untuk

menduga simpanan karbon (model 13, 14, 16, dan 18). Model 16 mempunyai koefisien determinasi yang tinggi (lebih dari 50%) tetapi model ini mempunyai hasil dugaan yang berbeda dengan simpanan karbon hasil inventarisasi. Pada tahap sebelumnya model yang terpilih adalah model 11. Berdasarkan hasil uji-t (Tabel 7) model ini dapat digunakan dalam menduga simpanan karbon dengan menggunakan polarisasi HH dan HV secara bersama-sama.

Model terbaik yang dihasilkan mempunyai R^2 lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian Pandey *et al.* (2010) yang dilakukan pada hutan tanaman jati ($R^2=23\%$) dan hutan campuran (5%). Pada tegakan hutan tanaman eukaliptus, hubungan polarisasi HV dengan biomassa eukaliptus memperoleh $R^2=68\%$ (Pandey *et al.* 2010). Menurut Pandey *et al.* (2010) umumnya besarnya koefisien determinasi hubungan antara polarisasi dengan biomassa sangat dipengaruhi tinggi dan rendahnya potensi biomassa di lokasi tersebut. Besarnya koefisien determinasi lebih tinggi pada areal dengan potensi biomassa < 115 ton/ha (Tabel 8). Koefisien determinasi pada lokasi tersebut mencapai lebih dari $> 70\%$ (Pandey *et al.*, 2010).

Tabel 7. Hasil uji-t terhadap dugaan model alometrik dengan simpanan karbon aktual (*Result of t-test for estimation allometric model with actual of carbon storage*)

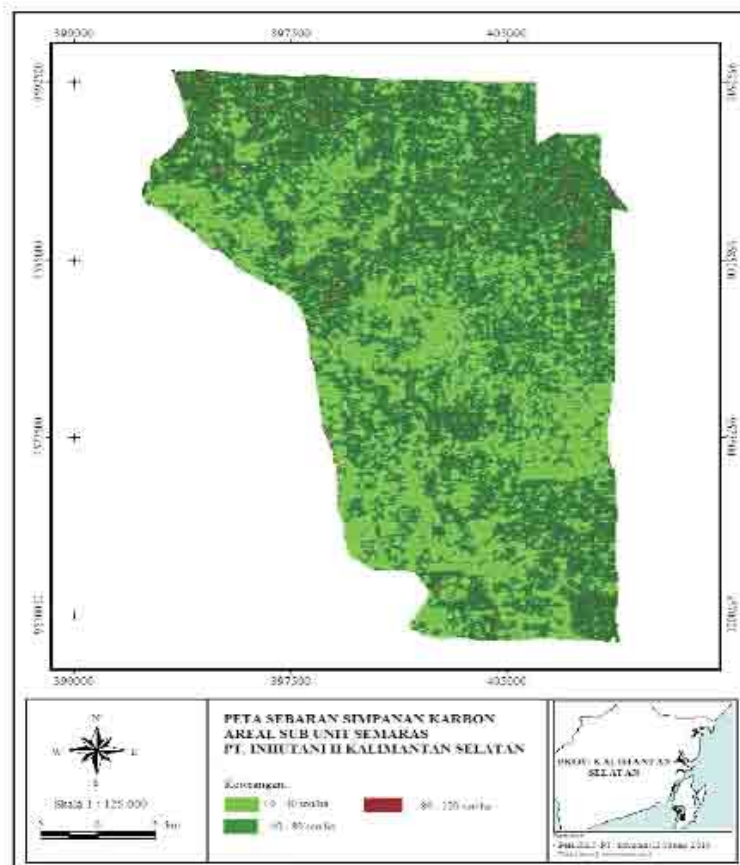
No	Model	$R^2(\%)$	t_{hitung}	Sig	$t_{tabel(0,025,68)}$
3.	$Cs = 205 + 12,7 HV$	25,2	-0,172	0,864	2,292
4.	$Cs = 111 - 0,426 HV^2$	24,3	-0,109	0,914	2,292
5.	$Cs = 177 - 27,4 HH + 25,5 HV$	40,2	0,299	0,766	2,292
6.	$Cs = - 784 - 226 HH - 15,6 HH^2$	15,3	-0,172	0,864	2,292
7.	$Cs = 1414 + 179 HV + 5,65 HV^2$	30,9	1,707	0,092	2,292
8.	$Cs = 61,0 + 0,0428 HH^2HV$	9,3	-0,011	0,991	2,292
9.	$Cs = 71,7 + 0,0301 HV^2HH$	16,1	-0,005	0,996	2,292
10.	$Cs = - 5,4 - 0,838 HV^2 - 26,3 HH$	38,2	-0,132	0,896	2,292
11.	$Cs = 292 + 2,00 HH^2 + 27,1 HV$	40,9	0,126	0,900	2,292
12.	$Cs = 193,485 (Abs (HH))^{-0,991}$	1,1	-0,020	0,984	2,292
13.	$Cs = 7 \cdot 10^9 (Abs (HV))^{-7,366}$	28,1	-9,605	0,000	2,292
14.	$Cs = 9,076 e^{0,162HH}$	0,16	7,012	0,000	2,292
15.	$Cs = 5385065 e^{0,895HV}$	30,9	0,032	0,974	2,292
16.	$Cs = 7567568 e^{1,735HH - 1,486HV}$	53,6	-6,882	0,000	2,292
17.	$Cs = 3480,804 e^{0,229(HH+HV)}$	12,9	-0,093	0,927	2,292
18.	$Cs = 4 \cdot 10^9 (HH/HV)^{23,745}$	38,4	-9,919	0,000	2,292

Keterangan (*Remarks*): Cs: Simpanan karbon (*Carbon storage*) (ton/ha)

Tabel 8. Model hubungan polarisasi HH dan HV dengan biomassa pada beberapa tipe tegakan (*Biomass and HH, HV correlation on various stand type*)

No	Tipe tegakan (<i>stand type</i>)	N	Range (t/ha)	Model	R ² (%)
1.	Hutan Sal India (<i>Sal forest</i>)	92	116 - 520	AGB = 8,152HH + 381,4 AGB = 11.65HV + 467.9	1,0 2,0
2.	Hutan campuran Sal (<i>Sal Mixed Forest</i>)	8	230 - 519	AGB = 45.525HH + 836.01 AGB = -40.314HV - 151.97	7,0 14,0
3.	Hutan campuran (<i>Mixed Forest</i>)	30	45 - 228	AGB = -3.191HH + 70.307 AGB = -5.9337HV + 14.499	2,0 5,0
4.	Hutan Jamun di India (<i>Jamun forest</i>)	6	47 - 168	AGB = 37.416HH + 480.81 AGB = 51.244HV + 886.44	53,0 49,0
5.	Hutan Khair-Sisham (<i>Khadi India</i>)	3	84 - 250	AGB = 14.593 HH + 308.46 AGB = -57.801HV - 826.36	11,0 86,0
6.	Hutan tanaman jati (<i>teak plantation</i>) India	30	63 - 410	AGB = -20.62HH - 12.71 AGB = 25.27HV + 542.7	13,0 23,0
7.	Hutan tanaman eukaliptus (<i>eucalyptus plantation</i>) India	10	4 -162	AGB = -13.114HH - 44.768 AGB = 32.857HV + 634.76	11,0 68,0
8.	Hutan tanaman shisam (<i>Shisam plantation</i>)	12	15 -114	AGB = -9.787HH - 37.47 AGB = 7.139 HV + 173.5	70,0 6,0
9.	Total tegakan (<i>all</i>)	191	4 -520	AGB = -4.638HH + 173.3 AGB = 37.85HV + 769.2	0,2 20,0
10.	Kelapa sawit (<i>palm oil</i>)	37	88 - 250	$AGB = \exp\left(\frac{HV - 0,013196}{0,0080139}\right)$	35,0

Keterangan (*Remarks*): AGB: biomassa permukaan (*above ground biomass*) (ton/ha); N: jumlah plot (*plot number*); R²: koefisien determinasi (*coefficient of determination*) (%); No 1 - 9: hasil penelitian oleh Pandey *et al.*, 2010 (*result of Pandey et al. 2010*); No 10: hasil penelitian Morel *et al.* 2011 (*result of Morel et al.*, 2011)



Gambar (Figure) 4. Peta sebaran simpanan karbon (*Distribution of carbon stock storage site*)

Pada areal kelapa sawit dengan potensi 88 ton/ha, polarisasi HV dapat diduga dari potensi biomassa dengan R^2 sebesar 63% (Morel *et al.*, 2011). Pada tegakan dengan potensi biomassa antara 150 - 250 ton/ha dan > 250 ton/ha, hubungan polarisasi HV dengan biomassa menghasilkan R^2 35%. Hal ini karena signal dari sensor Alos Palsar sudah tidak dapat membedakan biomassa >80 ton/ha atau titik saturasi sensor pada biomassa 80 ton/ha (Morel *et al.*, 2011).

Model terpilih tersebut digunakan untuk menduga sebaran simpanan karbon di lokasi penelitian. Hasil pendugaan simpanan karbon menunjukkan simpanan karbon yang terkecil di lokasi penelitian yakni pada kisaran 80 - 120 ton/ha (Gambar 4).

IV. KESIMPULAN

1. Potensi simpanan karbon permukaan per Ha berkisar antara 32,03 - 46,10 ton/ha dengan rata-rata 39,06 ton/ha. Potensi simpanan karbon total per Ha berkisar antara 35,48 - 51,01 ton/ha dengan rata-rata 43,24 ton/ha.
2. Model alometrik terbaik hubungan antara simpanan karbon dan nilai polarisasi HH dan HV dari citra Alos Palsar adalah Simpanan karbon = $292 + 2,00 HH^2 + 27,1 HV$ dengan koefisien determinasi sebesar 40,9%.
3. Potensi sebaran simpanan karbon total terbesar berdasarkan aplikasi citra Alos Palsar yakni berkisar antara 40 - 80 ton/ha.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Manajemen PT. Inhutani II Sub Unit Semaras atas kesediaan sebagai lokasi penelitian. Laboratorium Inventarisasi Hutan IPB atas bantuannya dalam memberikan data citra Alos Palsar. Supriyadi dan Edy Suryanto (Teknisi Litkayasa Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru) atas bantuannya dalam pengambilan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Berry, N.J., Phillips, O.L., Ong, R.C., Hamer, K.C. 2008. *Impacts of Selective Logging on Tree Diversity Across a Rainforest Landscape: the Importance of Spatial Scale*. Landscape Ecology 23, 915 - 929.
- 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 (2002) 363 - 372.
- Chaidez, Jose de J.N. 2009. *Allometric Equation and Expansion Factor for Tropical Dry Forest Trees of Eastern Sinaloa, Mexico*. Tropical and Subtropical Agroecosystem 10 (2009): 45 - 52.
- Dahlan, Jaya I.N.S. dan Istomo. 2005. Estimasi Karbon Tegakan *Acacia mangium* Willd Menggunakan Citra Landsat ETM+ dan Spot-5: Studi kasus di BKPH Parung Panjang KPH Bogor. Pertemuan Ilmiah Tahunan Mapin XIV: Pemanfaatan Efektif Penginderaan Jarak Jauh untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa. Surabaya, 14 - 15 September 2005.
- dos Santos, J.R., de Araujo L.S., Kuplich T.M., Freitas C.C., Dutra L.V., Ant'Anna S.J.S., and Gama F.F. 2006. *Tropical Forest Biomass and Its Relationship with P-Band SAR Data*. Revista Brasileira de Cartografia No 58 (01).
- Draper, N. dan Smith A. 1992. Analisis Regresi Terapan. (terjemahan). PT. Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Gibbs, H.K., Brown S., Niles J.O., and Foley J.A. 2007. *Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks: Making REDD a Reality*. Environ. Res. Lett. 2 (2007) 045023 (13pp).
- Hardiyanto, E.B., Ryantoko A. and Anshori S. 2000. *Effect of Site Management in Acacia mangium Plantations at PT Musi Hutan Persada, South Sumatra, Indonesia*. Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests. CIFOR : 41-49.
- Heriansyah, I. 2005. Potensi Hutan Tanaman Industri dalam Mensequester Karbon: Studi Kasus di Hutan Tanaman Akasia dan Pinus. INOVASI Vol.3/XVII/Maret 2005.
- Jepsen, M.R. 2006. *Above-Ground Carbon Stocks in Tropical Fallows, Sarawak, Malaysia*. Forest Ecology and Management 225 (2006) 287 - 295.
- Kraenzel, M., Castillo A., Moore T., and Potvin C. 2003. *Carbon Storage of Harvest-Age Teak (Tectona grandis) Plantation, Panama*. Forest Ecology and Management 173 (2003): 213-225.
- Lazuardi, D. 2009. Model pertumbuhan dan hasil tegakan *Acacia mangium* Willd. tanpa penjarangan di Pulau Laut Kalimantan Selatan. [Thesis]. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Morel, C.A., Saatchi S.S., Malhi Y., Berry N.J., Banin, L. Burslem D., Nilus R., and Ong R.C. 2011. *Estimating Aboveground Biomass in Forest and Oil Palm Plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR Data*. Forest Ecology and Management (262) 9: 1786 - 1798.
- Nath, A.J., Das G., and Das A.K. 2009. *Above Ground Standing Biomass and Carbon Storage in Village Bamboos in North East India*. Biomass and Bioenergy 33 (2009) 1188 - 1196.
- Navar, J. 2009. *Allometric Equation for Tree Species and Carbon Stock for Forest of Northwest Mexico*. Forest Ecology and Management 257 (2009): 427 - 434.
- Pandey, U., Kushwaha S.P.S, Kachhwaha T.S, and Dadhwal V.K. 2010. *Potential of Envisat ASAR Data for Woody Biomass Assessment*. Tropical Ecology 51(1): 117-124.
- Qirom, M.A. 2011. *Pendugaan Persediaan Karbon dan Aplikasi Alos Palsar pada Hutan Tanaman Akasia*. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Nurhayati. 2010. *Pendugaan Biomassa Pohon di Atas Permukaan Tanah dan Indeks Luas Daun Menggunakan Citra Landsat TM dan Alos Palsar*. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Rauste, R. 2006. *Techniques for Wide-Area Mapping of Forest Biomass using Radar Data*. [Dissertation]. Helsinki University of Technology.
- Rokhmatuloh. 2007. *Estimation of Carbon Stock Using Remote Sensing: A Case Study of Indonesia*.
- Saatchi, S., Houghton R.A., Dos Santos Alvala, R.C., Soares J.V., Yu Y. 2007. *Distribution of Above-ground Live Biomass in the Amazon Basin*. Global Change Biology 13, 816 -837.
- Somogyi, Z., Teobaldelli M., Federici G., Pagliari V., Grassi G., and Seufert G. 2008. *Allometric Biomass and Carbon Factors Database*. iForest 1: 107 - 113.
- Shiver, B.D. and Borders B.E. 1996. *Sampling Techniques for Forest Resource Inventory*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sritakae, A. 2006. *Predictive Relation of Forest Stand Parameters from Hyperspectral Remote Sensing at Thetford-Forest the UK*. Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- St. Clair JB. 1993. *Family Differences in Equation for Predicting Biomass and Leaf area in Douglas-Fir (*Psoudotsuga menziesii* var. *menziesii*)*. Forest Science 39 (4): 743 - 755.
- Sulistiyawati, E., Ulumuddin Y.I., Hakim D.M., Harto A.B., and Ramdhan M. 2006. *Estimation of Carbon Stock at Landscape Level using Remote Sensing: a Case Study in Mount Papandayan*. Environmental Technology and Management Conference. West Java: 7 - 8 September 2006.
- Wang, C. 2006. *Biomass Allometric Equations for 10 Co-Occuring Tree Species in Chinese temperate Forest*. Forest Ecology and Management 222: 9 - 16.
- Wauters, J.B., Coudert S., Grallien E, Jonard M, and Ponette Q. 2008. *Carbon Stock in Rubber Tree Plantation in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil)*. Forest Ecology and Management 255 (2008): 2347 - 2361.
- Winjum, J.K. and Schroeder P.E. 1997. *Forest Plantations of the World: Their Extent, Ecological Attributes, and Carbon Storage*. Agric. For. Meteorol (84): 153 - 167.
- www.banjarmasin.bpk.go.id. Peta Wilayah Provinsi Kalimantan Selatan. Diunduh tanggal: 25 Mei 2012.

Lampiran (*Appendix*) 1. Luas bidang dasar masing-masing plot hasil survey pendahuluan (*Basal area on each plot of preminalary survey*)

Plot	LBDS (cm ²)	Plot	LBDS	Plot	LBDS
1	7.840,7	12	5.636,1	23	6.987,2
2	7.001,1	13	7.012,7	24	8.060,2
3	8.079,0	14	8.022,2	25	5.565,8
4	8.232,5	15	5.953,3	26	3.997,9
5	8.224,7	16	6.414,7	27	5.813,6
6	7.789,7	17	7.035,9	28	6.121,6
7	8.447,3	18	7.998,3	29	5.373,3
8	7.644,4	19	8.428,0	30	7.167,0
9	5.337,9	20	7.537,5	31	5.972,1
10	4.182,4	21	7.122,2	32	7.856,6
11	5.915,5	22	8.556,7		
Rataan (<i>average</i>)	6.916,5				
Stdev	1.252,4				
CV	18,1				

Keterangan (*Remarks*): LBDS: Luas bidang dasar (*Basal area*) (cm²); CV: Koefisien variasi (*Coefficient of variation*:%); Stdev: Standar deviasi (*Standard deviation*)